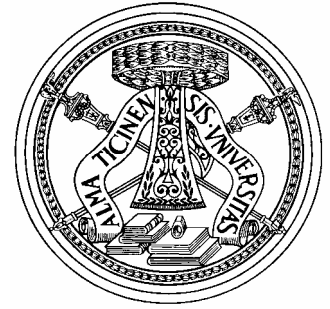


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PAVIA



DIPARTIMENTO DI
SCIENZE
D E L L A
TERRA

VIA FERRATA, 1 - 27100 PAVIA (ITALY)
TEL. 0382.505889 FAX 0382.505890



CONVENZIONE
FRA ARPA PIEMONTE
e il
DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA
DELL'UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PAVIA

**INTERPRETAZIONE DI DATI SATELLITARI
PS-INSAR
IN REGIONE PIEMONTE**

Relazione Conclusiva

Responsabili della convenzione
Dott.ssa Claudia Meisina
Dott. Francesco Zucca

Collaboratori
Dott.ssa Barbara Bocca (borsista)
Dott. Davide Notti (dottorando)
Dott.ssa Francesca Zorzoli (borsista)

Febbraio 2008

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. DATI CONSEGNATI	5
3. LINEE GUIDA PER L'INTERPRETAZIONE DEI DATI PSInSAR	15
3.1. 1° FASE: IDENTIFICAZIONE DELLE AREE IN MOVIMENTO	17
3.1.1. Analisi dei dati PSInSAR	18
3.1.1.1. <i>Analisi di conformità tra le metadescrizioni e i singoli datasets</i>	18
3.1.1.2. <i>Analisi di corretta (o meglio verosimile) geocodifica</i>	30
3.1.1.3. <i>Altre operazioni</i>	33
3.1.1.4. <i>Metadocumentazione relativa alla consegna del dato</i>	33
3.1.2. Visualizzazione e classificazione dei PS	34
3.1.3. Sviluppo di metodi per l'identificazione di aree in movimento	36
3.1.3.1. <i>Metodo visivo-manuale</i>	36
3.1.3.2. <i>Metodo informatico</i>	39
3.1.3.3. <i>Confronto tra i due metodi</i>	46
3.1.3.4. <i>Criteri di selezione delle aree anomale</i>	47
3.2. 2° FASE: INTERPRETAZIONE PRELIMINARE DEI RISULTATI PSInSAR	62
3.2.1. <i>Analisi della tipologia dei movimenti possibili nei vari contesti geologici e geomorfologici della Regione Piemonte</i>	63
3.2.3. Sviluppo di un metodo di interpretazione preliminare a scala regionale	79
3.2.3.1. <i>Aree anomale ubicate in corrispondenza dei versanti in zona collinare e montana</i>	82
3.2.3.2. <i>Aree anomale ubicate in pianura e nei fondovalle</i>	90
3.2.2. Sviluppo e compilazione di un database riguardante le aree anomale	98
3.2.3. Identificazione dei fenomeni franosi	103
3.2.3.1. <i>Numero e densità dei PS in frana</i>	103
3.2.3.2. <i>Determinazione dello stato di attività</i>	107
3.2.3.3. <i>Contributo della tecnica PSInSAR all'identificazione e allo studio dei fenomeni franosi in relazione alla tipologia di frana e all'ambiente geologico</i>	108
3.3. 3° FASE: INTERPRETAZIONE DI DETTAGLIO	117
3.3.1. Monitoraggio di fenomeni franosi	119
4. RISULTATI	134
4.1. Interpretazione preliminare delle aree anomale	134
5. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	138
6. BIBLIOGRAFIA	140

Allegato 1 – Report datasets

DVD

1. INTRODUZIONE

Il presente elaborato costituisce la relazione conclusiva della convenzione stipulata tra ARPA Piemonte e il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pavia e della successiva integrazione (Maggio 2007), per lo sviluppo di attività legate all'interpretazione di dati satellitari InSAR.

Scopo della ricerca è la qualificazione geologica dei PS-Piemonte al fine di identificare, qualificare (separare) e quantificare (spazialmente e temporalmente) fenomeni deformativi in senso lato manifestatisi nell'arco temporale campionato dai PS attraverso lo sviluppo di procedure di analisi, raccolta ed interpretazione del dato SAR.

In relazione agli obiettivi della ricerca e al programma previsto dalla convenzione il lavoro svolto ha riguardato:

- l'assistenza generale tecnico-scientifica al progetto;
- la messa a punto di linee guida per la validazione e l'interpretazione delle risultanze del metodo PSInSAR, e della documentazione necessaria per la gestione ed interpretazione del dato PS;
- l'interpretazione geologica dei dati PSinSAR in Regione Piemonte

In particolare la ricerca si è articolata nelle seguenti attività:

- 1) disamina dello stato dell'arte della tecnica PSInSAR nello studio dei fenomeni geologici attraverso l'analisi dei risultati di studi riportati nella letteratura specifica;
- 2) analisi dei dati PSInSAR in Regione Piemonte;
- 3) sviluppo di un sistema di processamento per il trattamento automatico del seminato PS capace di individuare e perimetrare ambiti con comportamento anomalo, verosimilmente in movimento per motivi geologico-geofisici;
- 4) individuazione di aree anomale secondo la metodologia sviluppata;
- 5) definizione del modello di una base-dati geografica per l'inserimento di tutti i settori "anomali" risultanti dall'indagine *InSAR* dell'intero territorio piemontese;
- 6) interpretazione geologica delle aree anomale;
- 7) selezione preliminare di aree campione su cui testare, validare e collaudare la metodologia proposta;
- 8) sopralluoghi congiunti con i tecnici di Arpa Piemonte in alcune aree campione;
- 9) Confronto tra le risultanze derivanti dalla tecnica PSInSAR e quelle derivanti dalla rete regionale di controllo sui movimenti franosi gestita da Arpa, congiuntamente con i tecnici di ARPA Piemonte;

10) Stesura di linee guida per la validazione e l'interpretazione delle risultanze del metodo PSInSAR.

L'analisi dei dati PSInSAR (punto 2) ha tuttavia richiesto più tempo di quello originariamente previsto dalla convenzione a seguito di alcune problematiche riscontrate nei datasets e descritte nel capitolo 2. Tali problematiche hanno reso necessario un riprocessamento di alcuni datasets da parte di Tele-Rilevamento Europa che ha comportato la rielaborazione dei dati e la reinterpretazione geologica, con conseguente modifica del cronoprogramma previsto originariamente dal contratto.

La relazione si articola in tre parti:

- una prima parte (capitolo 2) in cui vengono descritti i dati PSInSAR forniti da ARPA Piemonte;
- una seconda parte (capitolo 3) in cui viene illustrata la metodologia di interpretazione dei dati PSInSAR proposta ed utilizzata;
- una terza parte (capitoli 4 e 5) in cui vengono illustrati i risultati ottenuti, ovvero le aree anomale individuate nell'intero territorio regionale e l'interpretazione geologica preliminare dei datasets.

2. DATI CONSEGNATI

In conformità all'art. 5 della convenzione ARPA Piemonte ha fornito i dati riportati in Tab.2.1.

PRODOTTO	FORMATO	DATA DI CONSEGNA
Copertura dati PSInSAR	dbf	Vd. Tab. 2.2.
Carta Tecnica Regionale (scala 1:10.000)	tiff	26/09/2006
Carta Tecnica Regionale (scala 1:10.000)	E00 e/o DXF	26/09/2006
Ortofoto IT2000	MRSID	7/08/2007
DEM (10 m)	Grid arcinfo	26/09/2006
Inventario frane (IFFI)	Shape - geodatabase	26/09/2006
Unità litologiche (scala 1:100.000)	shape	1/02/2007
Bacini idrografici	shape	Gennaio 2007
Ambiti geografici	shape	Gennaio 2007
Catasto delle cave cessate	shape	31/07/2007

Tab. 2. 1- Elenco dei dati forniti da ARPA Piemonte.

I risultati dell'elaborazione svolta mediante la tecnica PS sono contenuti nei files .dbf descritti in Tab.2.2. consegnati in fasi successive.

I dati interferometrici sono stati elaborati da Tele-Rilevamento Europa mediante un approccio di tipo "standard" (SPSA – Standard PS Analysis). Questa tecnica, utilizzata per elaborare un numero elevato di immagini, permette il riconoscimento di capisaldi radar e la stima della media delle velocità durante il periodo di monitoraggio attraverso una procedura automatica che assume linearità negli spostamenti.

Il dato interferometrico è stato ricavato sulla base delle immagini SAR delle missioni ERS1 ed ERS2 provenienti dagli archivi ESA sia su orbite ascendenti che discendenti e acquisite nel periodo maggio 1992 - gennaio 2001:

- Dataset discendente: Track 22, Track 251
- Dataset ascendente: Track 301, Track 29, Track 258

Nelle Figure 2.1. e 2.2. è riportata la copertura geografica dei datasets ascendenti e discendenti.

Le analisi standard PS svolte hanno prodotto 3 tipologie di datasets. Due datasets sono relativi all'analisi PS standard di tutto l'archivio interferometrico del periodo 1992-2001 rispettivamente in modalità ascendente e discendente. Per il dataset discendente nelle aree contraddistinte da acclività e da quote elevate si è operata un'ulteriore analisi "filtrata" prendendo in considerazione solamente l'archivio di immagini estive (SPSA apr-nov) per ovviare al problema ben noto della copertura nevosa in area montana. L'analisi estiva risulta generalmente più ricca di punti di misura sui versanti ma incorre in problemi di robustezza del dato a causa del numero esiguo di immagini utilizzate.

Il sistema di proiezione utilizzato è ED50-UTM32; è stata inoltre consegnata anche una copia dei datasets in sistema di riferimento geografico WGS84, identificata nel nome del file con il suffisso GEO.

In totale l'analisi fornita da TRE Europa ha individuato 2.163.869 Permanent Scatterers, suddivisi in 117 dbf, derivanti dall'analisi di 614 immagini SAR che ricoprono una superficie totale di territorio di circa 25000 Km².

La prima elaborazione (analisi statistica) dei datasets consegnati ha tuttavia portato ad identificare alcune problematiche quali:

- punto di riferimento localizzato in corrispondenza di frane (Pragelato full);
- velocità media del dataset caratterizzata da trend decisamente negativi (Argentera full, Novara) o positivi (Arona full);
- non corrispondenza tra dati full e summer (Biella);
- aree in sollevamento in corrispondenza di rilievi alpini e appenninici (Alagna, Torino, Demonte, Fossano, Ormea, Ovada, Locana).

Tali datasets sono stati rielaborati dalla TRE (Tab.2.2. e files *ascendenti.dbf* e *discendenti.dbf*).

Tab. 2. 2. Elenco dei datasets consegnati. D: dataset discendente, A: dataset ascendente.

DATASET	TRACK	Mode	Data di consegna	Tipo e data di modifica	NUOVO DATASET
ALAGNA_ERS_D_T251_2678_ARPAP_summer_dataset_UTM32_Vel.dbf	251	D	26/09/2006	Rip 6/11/2007	ALAGNA_REPROC_ERS_D_T251_2678_ARPAP_Summer_Dataset_UTM32_VEL
ALAGNA_ERS_D_T251_2678_ARPAP_summer_dataset_UTM32_TS.dbf	251	D	26/09/2006	Rip 6/11/2007	ALAGNA_REPROC_ERS_D_T251_2678_ARPAP_Summer_Dataset_UTM32_TS
ALAGNA_ERS_D_T251_2678_ARPAP_summer_dataset_UTM32_REF.dbf	251	D	26/09/2006	Rip 6/11/2007	ALAGNA_REPROC_ERS_D_T251_2678_ARPAP_Summer_Dataset_UTM32_REF
ALAGNA_ERS_D_T251_2678_ARPAP_full-dataset_UTM32_Vel.dbf	251	D	26/09/2006	Rip 6/11/2007	ALAGNA_reproc_ERS_D_T251_2678_ARPAP_full-dataset_UTM32_Vel
ALAGNA_ERS_D_T251_2678_ARPAP_full-dataset_UTM32_TS.dbf	251	D	26/09/2006	Rip 6/11/2007	ALAGNA_reproc_ERS_D_T251_2678_ARPAP_full-dataset_UTM32_TS
ALAGNA_ERS_D_T251_2678_ARPAP_full-dataset_UTM32_REF.dbf	251	D	26/09/2006	Rip 6/11/2007	ALAGNA_reproc_ERS_D_T251_2678_ARPAP_full-dataset_UTM32_REF
Argentera_ERS_D_T22_2709_ARPAP_full-dataset_UTM32_Vel.dbf	22	D	26/09/2006		
Argentera_ERS_D_T22_2709_ARPAP_full-dataset_UTM32_TS.dbf	22	D	26/09/2006		
Argentera_ERS_D_T22_2709_ARPAP_full-dataset_UTM32_REF.dbf	22	D	26/09/2006		
Argentera_ERS_D_T22_2709_ARPAP_summer-dataset_UTM32_Vel.dbf	22	D	26/09/2006		
Argentera_ERS_D_T22_2709_ARPAP_summer-dataset_UTM32_TS.dbf	22	D	26/09/2006		
Argentera_ERS_D_T22_2709_ARPAP_summer-dataset_UTM32_REF.dbf	22	D	26/09/2006		
ARONA_ERS_D_T251_2678_ARPAP_full-dataset_UTM32_REF.dbf	22	D	26/09/2006		
ARONA_ERS_D_T251_2678_ARPAP_full-dataset_UTM32_TS.dbf	22	D	26/09/2006	S 16/07/2007	ARONA_ERS_D_T251_2678_ARPAP_full-dataset_UTM32_TS_menocost.dbf
ARONA_ERS_D_T251_2678_ARPAP_full-dataset_UTM32_Vel.dbf	22	D	26/09/2006	S 16/07/2007	ARONA_ERS_D_T251_2678_ARPAP_full-dataset_UTM32_Vel_menocost.dbf
ARONA_ERS_D_T251_2678_ARPAP_summer_dataset_UTM32_REF.dbf	22	D	26/09/2006		
ARONA_ERS_D_T251_2678_ARPAP_summer_dataset_UTM32_TS.dbf	22	D	26/09/2006		
ARONA_ERS_D_T251_2678_ARPAP_summer_dataset_UTM32_Vel.dbf	22	D	26/09/2006		
ASTI_ERS_D_T251_2696_ARPAP_full-dataset_UTM32_Vel.dbf	251	D	26/09/2006	Spian. 6/11/2007	ASTI_ERS_D_T251_2696_ARPAP_Spianato.dbf
ASTI_ERS_D_T251_2696_ARPAP_full-dataset_UTM32_TS.dbf	251	D	26/09/2006		

ASTI ERS D T251_2696_ARPAP_full-dataset_UTM32_REF.dbf	251	D	26/09/2006		
BIELLA ERS D T251_2678_ARPAP_full-dataset_UTM32_REF.dbf	251	D	26/09/2006		
BIELLA ERS D T251_2678_ARPAP_full-dataset_UTM32_TS.dbf	251	D	26/09/2006		
BIELLA ERS D T251_2678_ARPAP_full-dataset_UTM32_VEL.dbf	251	D	26/09/2006		
BIELLA ERS D T251_2678_ARPAP_summer_dataset_UTM32_REF.dbf	251	D	26/09/2006	Rip 31/07/2007	BIELLA_ERS_D_T251_2696_ARPAP_summer- dataset_UTM32_REF_CORRETTO.dbf
BIELLA ERS D T251_2678_ARPAP_summer_dataset_UTM32_TS.dbf	251	D	26/09/2006	Rip 31/07/2007	BIELLA_ERS_D_T251_2696_ARPAP_summer- dataset_UTM32_TS_CORRETTO.dbf
BIELLA ERS D T251_2678_ARPAP_summer_dataset_UTM32_Vel.dbf	251	D	26/09/2006	Rip 31/07/2007	BIELLA_ERS_D_T251_2696_ARPAP_summer- dataset_UTM32_Vel_CORRETTO.dbf
CANELLI ERS D T251_F2696Append2714_ARPAP_UTM32_REF.dbf	251	D	09/11/2006		
CANELLI ERS D T251_F2696Append2714_ARPAP_UTM32_TF.dbf	251	D	09/11/2006		
CANELLI ERS D T251_F2696Append2714_ARPAP_UTM32_Vel.dbf	251	D	09/11/2006		
CARISIO ERS A T258_ARPAP_UTM32_REF.dbf	258	A	26/09/2006		
CARISIO ERS A T258_ARPAP_UTM32_TS.dbf	258	A	26/09/2006		
CARISIO ERS A T258_ARPAP_UTM32_Vel.dbf	258	A	26/09/2006		
CORTEMILIA ERS D T251_F2714_ARPAP_UTM32_REF.dbf	251	D	09/11/2006		
CORTEMILIA ERS D T251_F2714_ARPAP_UTM32_TS.dbf	252	D	09/11/2006		
CORTEMILIA ERS D T251_F2714_ARPAP_UTM32_Vel.dbf	253	D	09/11/2006		
DEMONTE ERS D T22_2709_ARPAP_full-dataset_UTM32_Vel.dbf	22	D	26/09/2006	Rip 28/09/2007	DEMONTE_REPROC_ERS_D_T22_2709_ARPAP_full- dataset_UTM32_TS.dbf
DEMONTE ERS D T22_2709_ARPAP_full-dataset_UTM32_TS.dbf	22	D	26/09/2006	Rip 28/09/2007	DEMONTE_REPROC_ERS_D_T22_2709_ARPAP_full- dataset_UTM32_VEL.dbf
DEMONTE ERS D T22_2709_ARPAP_full-dataset_UTM32_REF.dbf	22	D	26/09/2006	Rip 28/09/2007	DEMONTE_REPROC_ERS_D_T22_2709_ARPAP_full- dataset_UTM32_REF.dbf
DEMONTE ERS D T22_2709_ARPAP_summer-dataset_UTM32_Vel.dbf	22	D	26/09/2006	Rip 28/09/2007	DEMONTE_REPROC_ERS_D_T22_2709_ARPAP_summe- r-dataset_UTM32_TS.dbf
DEMONTE ERS D T22_2709_ARPAP_summer-dataset_UTM32_TS.dbf	22	D	26/09/2006	Rip 28/09/2007	DEMONTE_REPROC_ERS_D_T22_2709_ARPAP_summe- r-dataset_UTM32_VEL.dbf
DEMONTE ERS D T22_2709_ARPAP_summer-dataset_UTM32_REF.dbf	22	D	26/09/2006	Rip 28/09/2007	DEMONTE_REPROC_ERS_D_T22_2709_ARPAP_summe- r-dataset_UTM32_REF.dbf
FENESTRELLE ERS T301_F891_A_ARPAP_UTM32N_REF.dbf	301	A	26/09/2006		
FENESTRELLE ERS T301_F891_A_ARPAP_UTM32N_TS.dbf	301	A	26/09/2006		

FENESTRELLE ERS T301 F891 A ARPAP UTM32N Vel.dbf	302	A	26/09/2006		
Formazza ERS D T251 2678 ARPAP full-dataset UTM32 REF.dbf	251	D	26/09/2006		
Formazza ERS D T251 2678 ARPAP full-dataset UTM32 TS.dbf	251	D	26/09/2006		
Formazza ERS D T251 2678 ARPAP full-dataset UTM32 VEL.dbf	251	D	26/09/2006		
Formazza ERS D T251 2678 ARPAP summer dataset UTM32 REF.dbf	251	D	26/09/2006		
Formazza ERS D T251 2678 ARPAP summer dataset UTM32 TS.dbf	251	D	26/09/2006		
Formazza ERS D T251 2678 ARPAP summer dataset UTM32 Vel.dbf	251	D	26/09/2006		
FOSSANO ERS D T22 2709 ARPAP full-dataset UTM32 Vel.dbf	22	D	26/09/2006	Rip 28/09/2007	FOSSANO_REPROC_ERS_D_T22_2709_ ARPAP_full-dataset UTM32 VEL.dbf
FOSSANO ERS D T22 2709 ARPAP full-dataset UTM32 TS.dbf	22	D	26/09/2006	Rip 28/09/2007	FOSSANO_REPROC_ERS_D_T22_2709_ ARPAP_full-dataset UTM32 TS.dbf
FOSSANO ERS D T22 2709 ARPAP full-dataset UTM32 REF.dbf	22	D	26/09/2006	Rip 28/09/2007	FOSSANO_REPROC_ERS_D_T22_2709_ ARPAP_full-dataset UTM32 REF.dbf
FOSSANO ERS D T22 2709 ARPAP summer-dataset UTM32 Vel.dbf	22	D	26/09/2006	Rip 28/09/2007	FOSSANO_REPROC_ERS_D_T22_2709_ ARPAP_summer-dataset UTM32 VEL.dbf
FOSSANO ERS D T22 2709 ARPAP summer-dataset UTM32 TS.dbf	22	D	26/09/2006	Rip 28/09/2007	FOSSANO_REPROC_ERS_D_T22_2709_ ARPAP_summer-dataset UTM32 TS.dbf
FOSSANO ERS D T22 2709 ARPAP summer-dataset UTM32 REF.dbf	22	D	26/09/2006	Rip 28/09/2007	FOSSANO_REPROC_ERS_D_T22_2709_ ARPAP_summer-dataset UTM32 REF.dbf
IVREA ERS T29 F909 A ARPAP UTM32N REF.dbf	29	A	26/09/2006		
IVREA ERS T29 F909 A ARPAP UTM32N Vel.dbf	29	A	26/09/2006		
IVREA ERS T29 F909 A ARPAP UTM32N TS.dbf	29	A	26/09/2006		
LOCANA ERS D T22 2691 ARPAP summer - dataset UTM32 Vel.dbf	22	D	26/09/2006		
LOCANA ERS D T22 2691 ARPAP summer - dataset UTM32 TS.dbf	22	D	26/09/2006		
LOCANA ERS D T22 2691 ARPAP summer - dataset UTM32 REF.dbf	22	D	26/09/2006		
LOCANA ERS D T22 2691 ARPAP full - dataset UTM32 Vel.dbf	22	D	26/09/2006	Rip 25/09/2007	LOCANA_REPROC_ERS_D_T22_2691_ ARPAP_full-dataset UTM32 MET.dbf
LOCANA ERS D T22 2691 ARPAP full - dataset UTM32 TS.dbf	22	D	26/09/2006	Rip 25/09/2007	LOCANA_REPROC_ERS_D_T22_2691_ ARPAP_full-dataset UTM32 TSR.dbf
LOCANA ERS D T22 2691 ARPAP full - dataset UTM32 REF.dbf	22	D	26/09/2006	Rip 25/09/2007	LOCANA_REPROC_ERS_D_T22_2691_ ARPAP_full-dataset UTM32 REF.dbf
LOCANA ERS T301 F909 A ARPAP UTM32N Vel	22	A	26/09/2006	Rip 25/09/2007	LOCANA_REPROC_ERS_D_T22_2691_ ARPAP_summer-dataset UTM32 VEL.dbf
LOCANA ERS T301 F909 A ARPAP UTM32N REF	22	A	26/09/2006	Rip	LOCANA_REPROC_ERS_D_T22_2691_ ARPAP_summer-

				25/09/2007	dataset_UTM32_REF.dbf
LOCANA ERS T301 F909 A ARPAP UTM32N TS	22	A	26/09/2006	Rip 25/09/2007	LOCANA_REPROC_ERS_D_T22_2691_ARPAP_summer- dataset_UTM32_TS.dbf
NOVARA ERS D T251 2696 ARPAP full-dataset UTM32 Vel.dbf	251	D	26/09/2006		
NOVARA ERS D T251 2696 ARPAP full-dataset UTM32 TS.dbf	251	D	26/09/2006		
NOVARA ERS D T251 2696 ARPAP full-dataset UTM32 REF.dbf	251	D	26/09/2006		
ORMEA ERS D T251 F2714 ARPAP UTM33 Vel	251	D	09/11/2006		
ORMEA ERS D T251 F2714 ARPAP UTM33 TS	251	D	09/11/2006		
ORMEA ERS D T251 F2714 ARPAP UTM33 REF	251	D	09/11/2006		
OVADA ERS D T480 F2709 ARPAP UTM32N Vel V2	480	D	14/12/2006	Rip 8/08/2007	OVADA_REPROC_ERS_D_T480_2709_ARPAP_UTM32 N_VEL.dbf
OVADA ERS D T480 F2709 ARPAP UTM32N TS V2	480	D	14/12/2006	Rip 8/08/2007	OVADA_REPROC_ERS_D_T480_2709_ARPAP_UTM32 N_TS.dbf
OVADA ERS D T480 F2709 ARPAP UTM32N REF V2	480	D	14/12/2006	Rip 8/08/2007	OVADA_REPROC_ERS_D_T480_2709_ARPAP_UTM32 N_REF.dbf
PINEROLO ERS D T22 2709 ARPAP full-dataset UTM32 Vel.dbf	22	D	26/09/2006		
PINEROLO ERS D T22 2709 ARPAP full-dataset UTM32 TS.dbf	22	D	26/09/2006		
PINEROLO ERS D T22 2709 ARPAP full-dataset UTM32 REF.dbf	22	D	26/09/2006		
PRAGELATO ERS D T22 2691 App ARPAP summerdataset UTM32 Vel .dbf	22	D	26/09/2006	R 16/07/2007	PRAGELATO_ERS_D_T22_2691_App_ARPAP_summer- dataset_UTM32_new REF_VEL.dbf
PRAGELATO ERS D T22 2691 App ARPAP summerdataset UTM32 TS.dbf	22	D	26/09/2006	R 16/07/2007	PRAGELATO_ERS_D_T22_2691_App_ARPAP_summer- dataset_UTM32_new REF_TS.dbf
PRAGELATO ERS D T22 2691 App ARPAP summerdataset UTM32 REF.dbf	22	D	26/09/2006	R 16/07/2007	PRAGELATO_ERS_D_T22_2691_App_ARPAP_summer- dataset_UTM32_new REF_REF.dbf
PRAGELATO ERS D T22 2691 App ARPAP full-dataset UTM32 Vel.dbf	22	D	26/09/2006		
PRAGELATO ERS D T22 2691 App ARPAP full-dataset UTM32 TS.dbf	22	D	26/09/2006		
SUSA ERS D T22 2691 ARPAP summer-dataset UTM32 Vel.dbf	22	D	26/09/2006		
SUSA ERS D T22 2691 ARPAP summer-dataset UTM32 TS.dbf	22	D	26/09/2006		
SUSA ERS D T22 2691 ARPAP summer-dataset UTM32 REF.dbf	22	D	26/09/2006		
SUSA ERS D T22 2691 ARPAP full-dataset UTM32 Vel.dbf	22	D	26/09/2006		
SUSA ERS D T22 2691 ARPAP full-dataset UTM32 TS.dbf	22	D	26/09/2006		
SUSA ERS D T22 2691 ARPAP full-dataset UTM32 REF.dbf	22	D	26/09/2006		

TORINO_ERS_D_T22_2709_ARPAP_full-dataset_UTM32_Vel.dbf	22	D	26/09/2006	Rip 8/08/2007	TORINO_REPROC_ERS_D_T22_2691_ARPAP_UTM32_VEL.dbf
TORINO_ERS_D_T22_2709_ARPAP_full-dataset_UTM32_TS.dbf	22	D	26/09/2006	Rip 8/08/2007	TORINO_REPROC_ERS_D_T22_2691_ARPAP_UTM32_TS.dbf
TORINO_ERS_D_T22_2709_ARPAP_full-dataset_UTM32_REF.dbf	22	D	26/09/2006	Rip 8/08/2007	TORINO_REPROC_ERS_D_T22_2691_ARPAP_UTM32_REF.dbf
TORINO_ERS_D_T251_2696_ARPAP_full-dataset_UTM32_Vel.dbf	251	D	26/09/2006		
TORINO_ERS_D_T251_2696_ARPAP_full-dataset_UTM32_TS.dbf	251	D	26/09/2006		
TORINO_ERS_D_T251_2696_ARPAP_full-dataset_UTM32_REF.dbf	251	D	26/09/2006		
TORINO_ERS_T301_F891_A_ARPAP_UTM32_REF.dbf	301	A	26/09/2006		
TORINO_ERS_T301_F891_A_ARPAP_UTM32_TS.dbf	301	A	26/09/2006		
TORINO_ERS_T301_F891_A_ARPAP_UTM32_Vel.dbf	301	A	26/09/2006		
TRECATE_ERS_A_T258_ARPAP_UTM32_REF.dbf	258	A	26/09/2006		
TRECATE_ERS_A_T258_ARPAP_UTM32_TS.dbf	258	A	26/09/2006		
TRECATE_ERS_A_T258_ARPAP_UTM32_Vel.dbf	258	A	26/09/2006		
VALENZA_ERS_D_T480_F2691Append2709_ARPAP_UTM32_REF	480	D	09/11/2006		
VALENZA_ERS_D_T480_F2691Append2709_ARPAP_UTM32_REF	480	D	09/11/2006		
VALENZA_ERS_D_T480_F2691Append2709_ARPAP_UTM32_REF	480	D	09/11/2006		
VARALLO_ERS_A_T258_ARPAP_UTM32_REF.dbf	258	A	26/09/2006		
VARALLO_ERS_A_T258_ARPAP_UTM32_TS.dbf	258	A	26/09/2006		
VARALLO_ERS_A_T258_ARPAP_UTM32_Vel.dbf	258	A	26/09/2006		
VERBANIA_ERS_A_T258_ARPAP_UTM32_REF.dbf	258	A	26/09/2006		
VERBANIA_ERS_A_T258_ARPAP_UTM32_TS.dbf	258	A	26/09/2006		
VERBANIA_ERS_A_T258_ARPAP_UTM32_Vel.dbf	258	A	26/09/2006		

R: modifica del punto di riferimento; S: *shift* rigido della velocità; Rip: dati riprocessati; Spian.: dati “*spianati*”

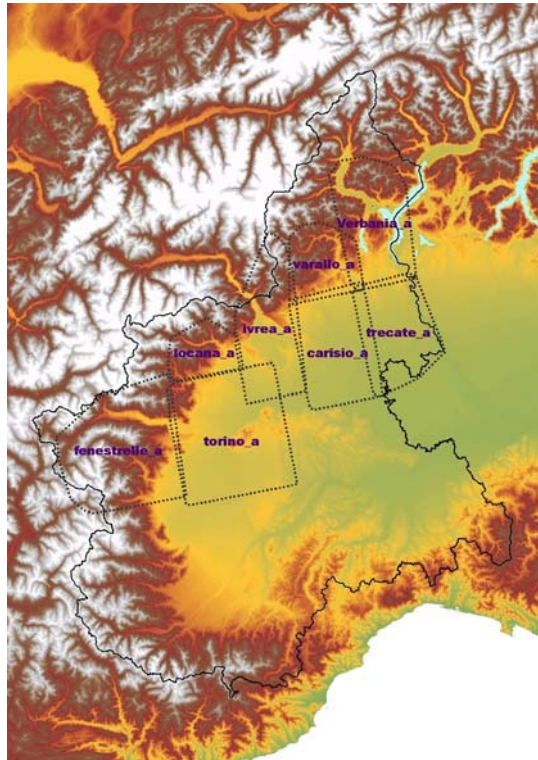


Fig.2.1. Copertura geografica dei datasets ascendenti

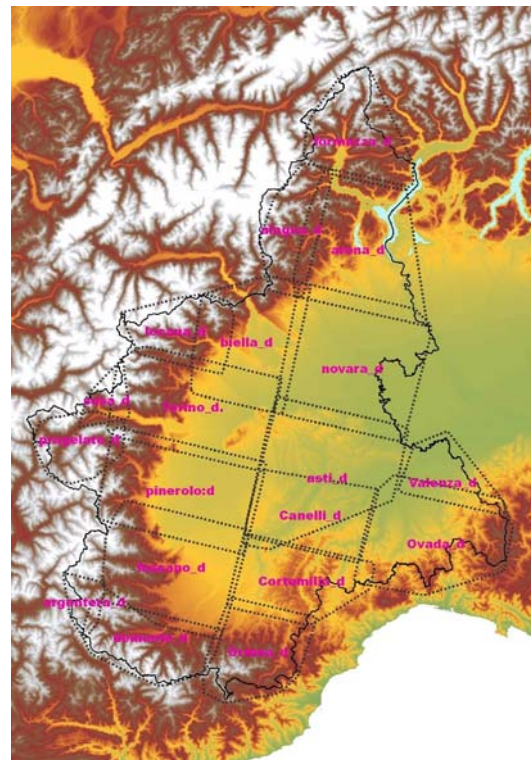


Fig.2.2. Copertura geografica dei datasets discendenti.

I databases dei risultati sono costituiti da files in formato “.dbf” indicati dai suffissi REF, Vel e TS.

I datasets indicati con il suffisso REF contengono i reference points e sono organizzati secondo i seguenti campi:

- Code: codice che permette di identificare univocamente il punto di misura all’interno del file;
- Lat/North: posizione in latitudine del PS espressa nel sistema di coordinate geografico GCS WGS 84 o sistema proiettato;
- Lon/East: posizione in longitudine del PS espressa nel sistema di coordinate geografico GCS WGS 84 o sistema proiettato;
- Vel: velocità media annua di spostamento lungo la LOS espressa in [mm/anno] stimata sull’intero arco temporale coperto dalle acquisizioni elaborate e relativa al punto di riferimento supposto a velocità nulla;
- Coherence: parametro di qualità del PS, compreso tra 0 e 1, tanto più elevato quanto più l’andamento del moto del PS è di tipo lineare (un moto perfettamente lineare ha valore pari a 1). È funzione del numero di acquisizioni elaborate e della distribuzione dei baseline temporali e spaziali.

I files .dbf, indicati con il suffisso Vel contengono le velocità medie annue calcolate sull’intero arco temporale (1992-2000) dei PS individuati. Oltre alle informazioni sopra descritte (Code, Lat/North, Lon/East, Vel e coherence) è riportato il campo V_stdev, che rappresenta la deviazione standard dell’errore sulla misura della velocità.

I files dbf con il suffisso TS contengono, oltre alle informazioni già descritte per gli altri files, anche la serie temporale del punto, cioè l’evoluzione della distanza sensore-bersaglio lungo la *Line Of Sight (L.O.S.)* in corrispondenza delle acquisizioni dell’area in esame e riferite ad un punto supposto fermo (reference point). I valori, espressi in millimetri, che danno luogo alla serie storica vengono riportati in campi definiti dalla data in cui è avvenuta l’acquisizione nel formato aaaammgg. L’istante T0 è posto in corrispondenza della acquisizione master, assunta come riferimento temporale per tutta l’elaborazione.

I risultati dell’accuratezza dei valori forniti dalla tecnica PSInSAR per il territorio piemontese forniti da T.R.E. sono riportati in Tab.2.3.

VELOCITÀ	± 0.1+2	[mm/anno]
POSIZIONE IN EST	± 6-10	[m]
POSIZIONE IN NORD	± 2-5	[m]
SPOSTAMENTI (singolo valore della serie storica)	± 2-5	[mm]

Tab. 2. 3. Accuratezza delle misure fornite sotto ipotesi di dataset ≥ 50 e distanza dal punto di riferimento ≤ 2 km (TRE, 2006)

Per la prima consegna di dataset sono stati inoltre forniti da TRE:

- le informazioni ancillari dell'elaborazione
- il dataset utilizzato
- il PS report
- le informazioni sul campo di velocità in direzione LOS e moto degli scatteratori.

Relativamente ad alcune aree, oggetto di analisi di dettaglio, sono stati forniti da ARPA Piemonte i dati di monitoraggio ed i datasets di tipo Advanced (APSA) per i siti di Cabella Ligure (AL), Sauze d'Oulx (TO), Varzo (VB) e Cissone (CN).

3.LINEE GUIDA PER L'INTERPRETAZIONE DEI DATI PSInSAR

Negli ultimi anni si è assistito ad un notevole sviluppo delle tecniche di interferometria da satellite applicate all'identificazione dei processi naturali e al loro monitoraggio. E' prevedibile inoltre un aumento dei campi di applicazione e il rafforzamento delle capacità di monitoraggio (in termini di tempi di rivisitazione e risoluzioni spaziali) di tali tecniche in prospettiva delle missioni satellitari di inizio millennio (ALOS-PALSAR, Cosmo-Skymed, Terra-SarX RADARSAT2, Sentinel-ESA) e delle configurazioni in costellazione (es. Cosmo-Skymed). Risulta di conseguenza necessario la messa a punto di linee guida relative all'interpretazione dei dati interferometrici indirizzate a vari utilizzatori, tra i quali gli enti pubblici e i liberi professionisti.

Sulla base dello stato dell'arte esistente in letteratura, di progetti già esistenti sull'argomento (es. Terrafirma) e di esperienze pregresse del gruppo di ricerca è stata sviluppata una metodologia di interpretazione dei dati PSInSAR.

Tale metodologia si articola in tre livelli caratterizzati da gradi di approfondimento crescente (Fig.3.1.):

1. Identificazione delle aree in movimento (aree anomale): riguarda l'analisi dei dati PSInSAR in termini di accuratezza/precisione planimetrica e di deformazione, la visualizzazione del dato PS, il processamento automatico del seminato PS capace di individuare e perimetrare le cosiddette "aree anomale", ovvero aggregati o cluster di PS che per caratteristiche fisiche e spaziali (velocità superiori od inferiori alla classe di velocità considerata stabile, e distanza interpunti e numerosità) possono rappresentare indizi di geo-processi;
2. Interpretazione preliminare delle aree in movimento: le aree anomale vengono relazionate a processi e forme geologiche al fine di individuare/ipotizzare le cause delle deformazioni misurate. Si tratta di un'interpretazione geologica preliminare a scala regionale che andrà successivamente verificata con l'analisi di dettaglio. Questo livello si presta a studi di carattere regionale ed in particolare all'identificazione dei fenomeni franosi;
3. Interpretazione di dettaglio delle aree in movimento: riguarda quelle aree anomale che, per grado di rischio associato, richiedono uno studio più approfondito. E' in questo livello che viene trattato il monitoraggio dei fenomeni franosi.

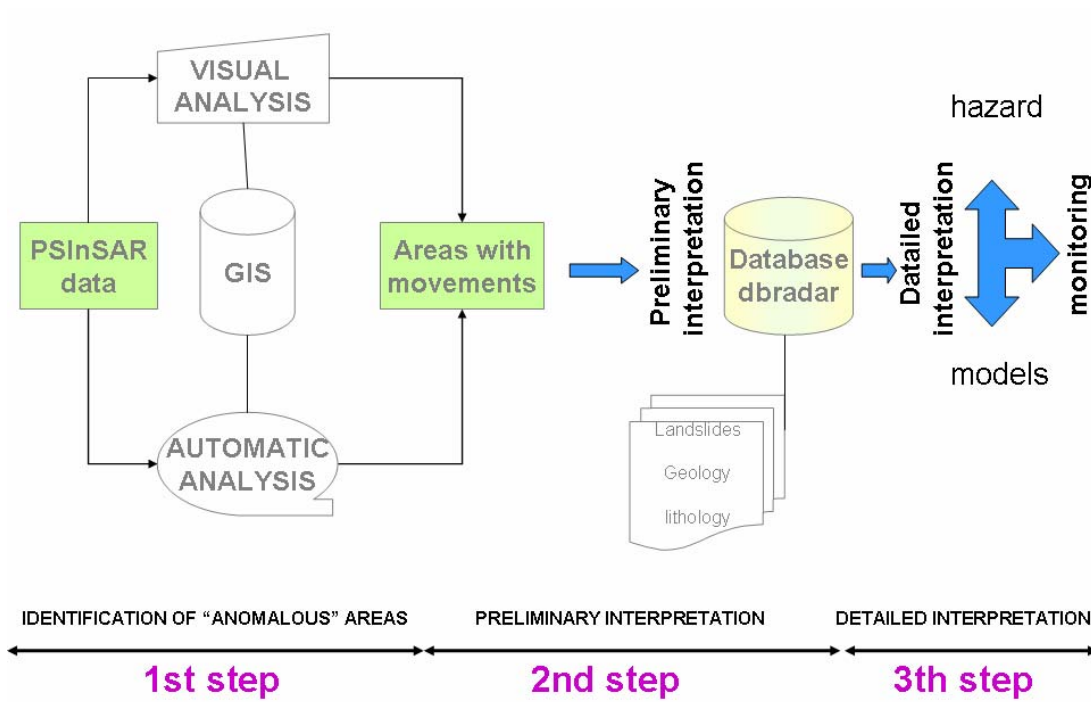


Fig. 3. 1. Metodologia di interpretazione dei dati PSInSAR

3.1. 1ª FASE: IDENTIFICAZIONE DELLE AREE IN MOVIMENTO

La prima fase della metodologia (Fig.3.2.) ha riguardato la messa a punto di metodi per:

1. l'analisi dei dati PSInSAR in termini di accuratezza/precisione planimetrica e di deformazione;
2. la visualizzazione del dato PS;
3. il processamento automatico del seminato PS capace di individuare e perimetrare le aree anomale.

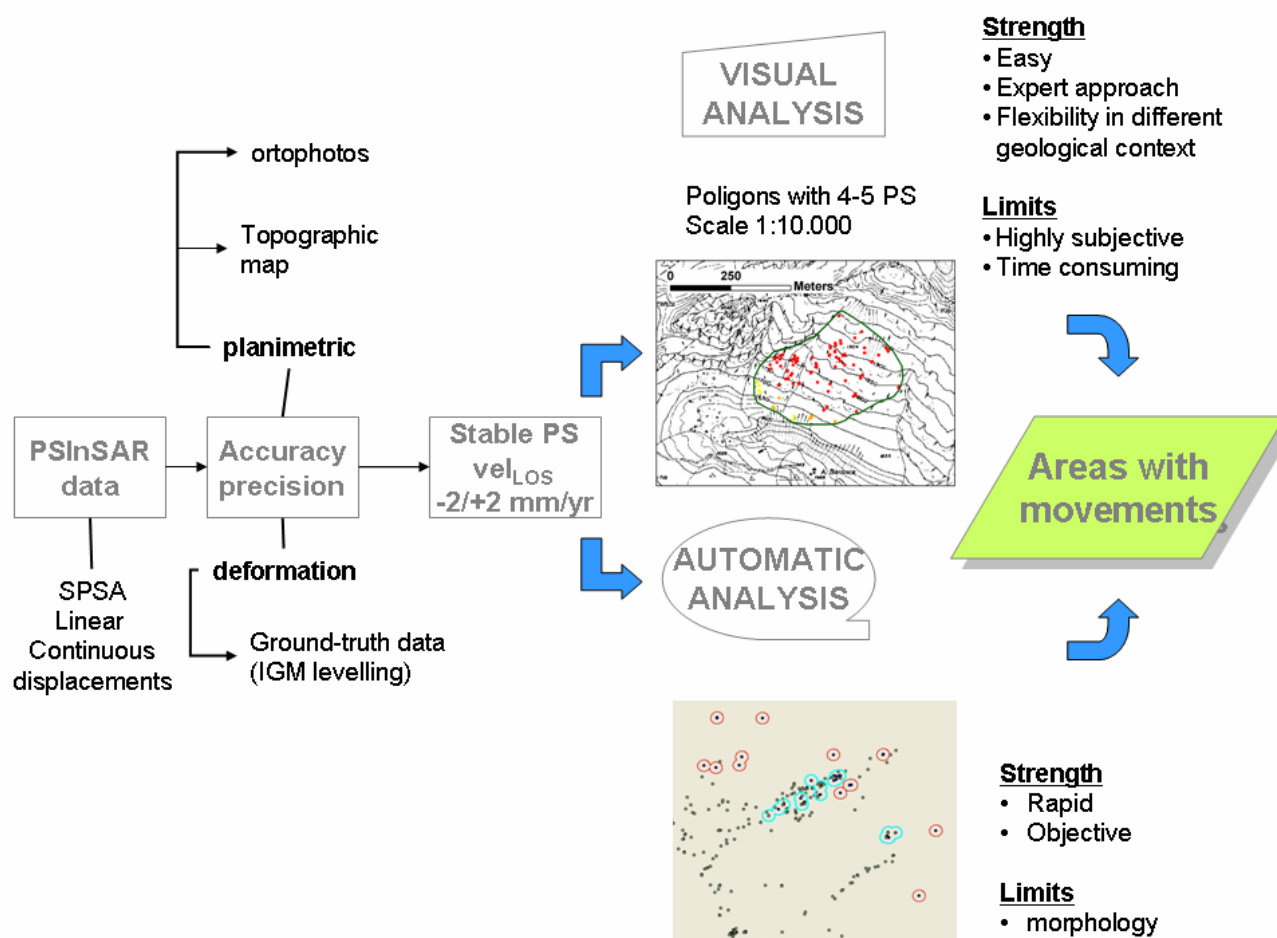


Fig. 3. 2. Flow-chart illustrante la prima fase della metodologia.

3.1.1. Analisi dei dati PSInSAR

Questa fase dell'analisi viene realizzata a partire dai dataset formato .dbf forniti nello specifico da TRE ad ARPA Piemonte. Ha la funzione di precontrollo sulla qualità del prodotto, realizzando le seguenti operazioni:

1. analisi di conformità tra le metadescrizioni e i singoli datasets
2. analisi di corretta (o meglio verosimile) geocodifica
3. estrazione di parametri statistici
4. estrazione di densità areale
5. traduzione verso altri formati dati

3.1.1.1. Analisi di conformità tra le metadescrizioni e i singoli datasets

L'analisi di conformità tra le metadescrizioni e i singoli datasets, è sviluppata in ambiente GIS e integrata ad una semplice analisi di *visualizzazione*, in modo da valutare eventuali singolarità, errori e difetti, che hanno comportato il successivo riprocessamento dei dati da parte di T.R.E.. Vengono descritti di seguito le principali operazioni:

- individuazione trends anomali
 - individuazione sollevamenti nelle zone di bordo ed in corrispondenza di quote elevate
 - analisi della velocità nella zona di sovrapposizione dei dataset
 - analisi delle zone con forte orografia e quote levate
 - analisi dei dati ascendenti
 - analisi dei TS – serie storiche
 - verifica della natura del PS
- Individuazione trends anomali
 La semplice visualizzazione dei datasets (Fig.3.3.) unita all'estrazione di parametri statistici (punto 3 e files *ascendenti.dbf* e *discendenti.dbf*) ha permesso di osservare dei trends anomali di sollevamento per i datasets Biella full e Arona full ($V_{LOS}media=+1,5$ mm/anno), Arona summer e Valenza ($V_{LOS}media=+0,3$ mm/anno) e dei trends anomali di abbassamento per il dataset Argentera full e summer ($V_{LOS}media=-3,2/-1,8$ mm/anno), Prangelato full e summer ($V_{LOS}media=-2,8/-1,6$ mm/anno).
 Tale fenomeno appare legato a diversi fattori, tra i quali la scelta dei reference points e il diverso contributo atmosferico in relazione alle differenti quote. Le misure di velocità calcolate dalla tecnica PSInSAR sono misure di tipo differenziale: esse non esprimono un valore assoluto di spostamento di un punto a terra, bensì indicano, come in una rete geodetica, le velocità dei PS rilevati in relazione ad un punto scelto come riferimento. Il punto di riferimento è un PS il cui moto è per ipotesi considerato uguale a zero e rispetto

al quale tutte le altre velocità vengono calcolate. Bisogna precisare che il punto di riferimento viene scelto in fase di elaborazione come un PS al centro della scena in analisi. Nessuna informazione sul comportamento geologico dell'area in cui si trova o sul suo specifico moto è nota a priori (Fig.3.4.-3.5.).

La non corrispondenza delle velocità dei PS con quelle dei dataset attigui (es. Argentera e Demonte) è stata un'ulteriore conferma dell'esistenza di tali trend anomali.

Tale problematica è stata risolta per i dataset Arona con uno shift rigido applicato alle velocità dei PS (Fig.3.6.) e per Prigelato mediante la modifica del punto di riferimento e il riprocessamento dei dati da parte della TRE.

Dalle considerazioni sopra riportate emerge la necessità di una fase di omogeneizzazione dei dati PSInSAR che comporta la verifica dei reference points tramite:

- controllo sul terreno;
- raccolta di informazioni sul moto del sito (confronto con livellazioni IGM o altri dati);
- analisi da letteratura delle deformazioni regionali di origine tettonica (mm/anno) che possono ricadere nel sito.

E' auspicabile in futuro che la scelta dei reference points oltre che su criteri ingegneristici venga scelta anche sulla base dei seguenti criteri geologici:

- ubicazione in un'area stabile dal punto di vista geologico (assenza di movimenti di versante, di terreni problematici, ecc...)
- localizzazione in zona facilmente raggiungibile e possibilmente non soggetta a modificazioni (es. rifacimento dei tetti nel caso di edifici)
- prossimità a capisaldi topografici o altro monitorati/bili nel tempo

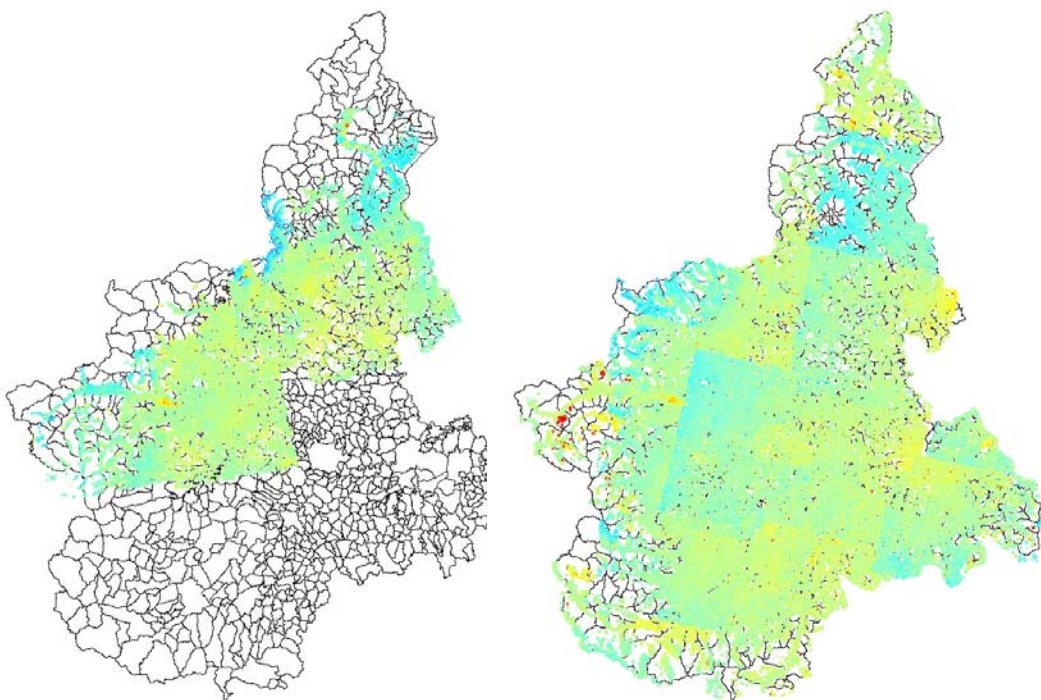


Fig. 3. 3. Visualizzazione dei datasets ascendenti e discendenti.

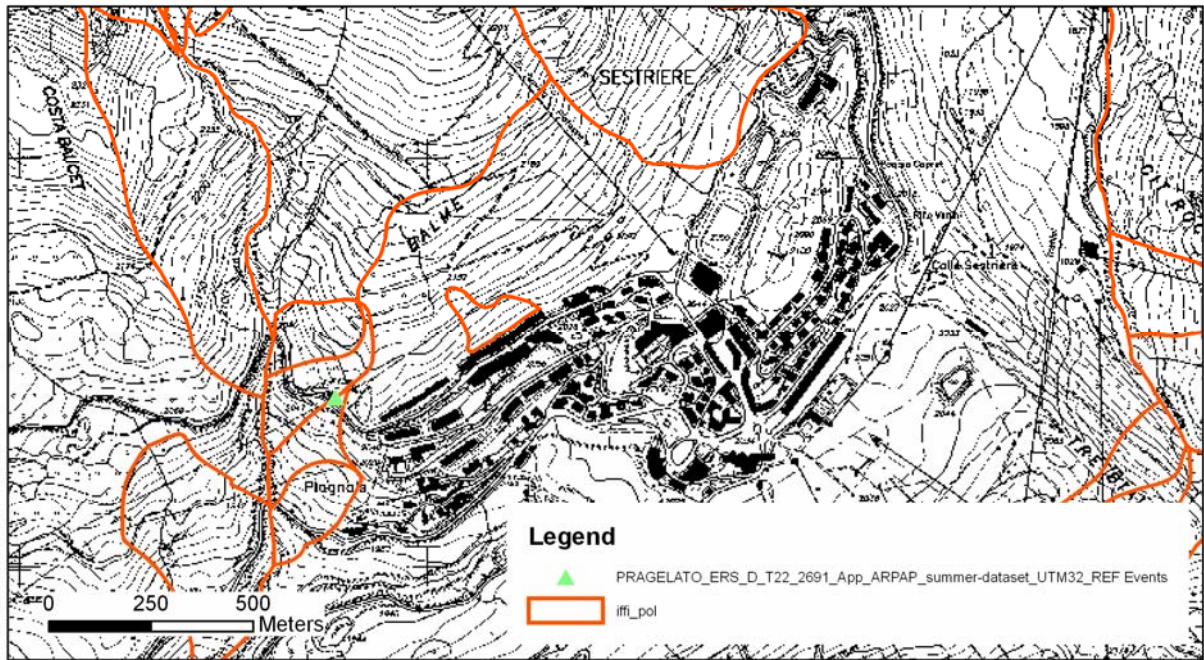


Fig. 3. 4. Il punto di riferimento del dataset Pragelato_ summer ricade in un'area in frana.

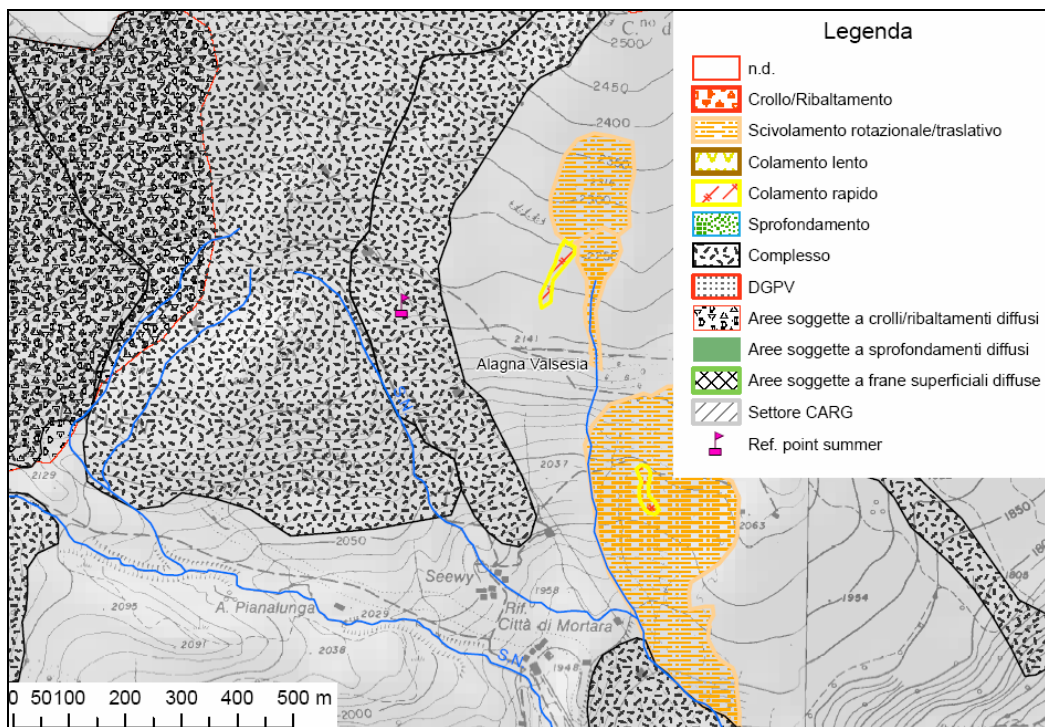


Fig. 3. 5. Il punto di riferimento del dataset Alagna_ summer ricade in un'area in frana.

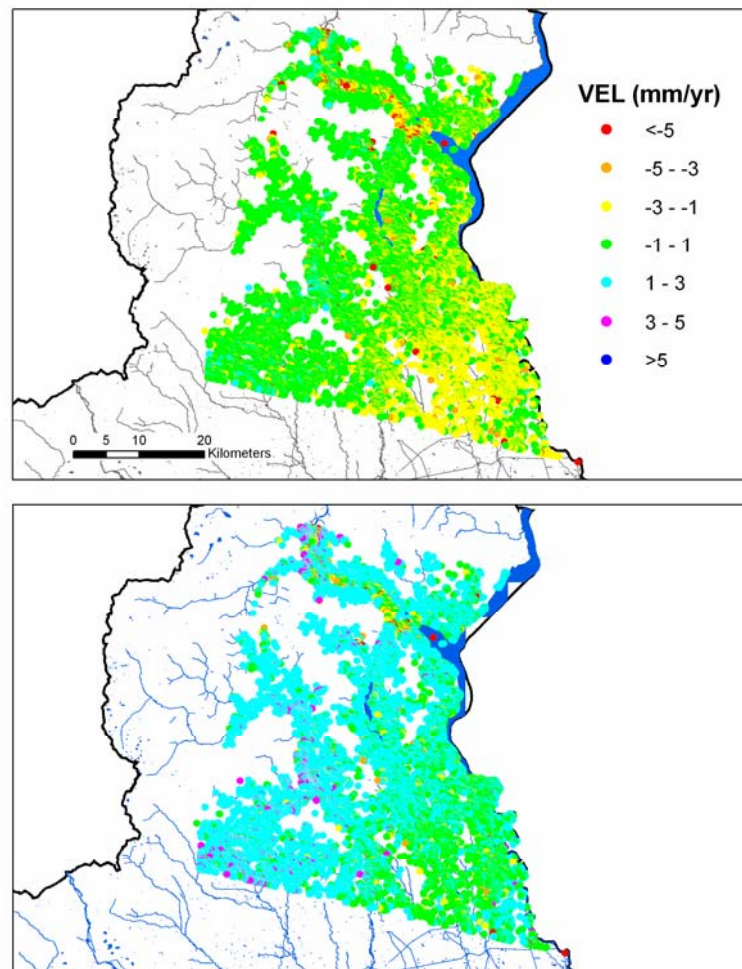


Fig. 3. 6. Dataset Arona riprocessato (in alto) e originale (in basso). Il punto di riferimento non è stato modificato

- Individuazione sollevamenti nelle zone di bordo o in corrispondenza di quote elevate
Per altri datasets (Alagna, Ovada, Fossano, Demonte, Locana, Torino) la “zona di bordo” era caratterizzata da sollevamenti, la cui entità ($>+1$ mm/yr) porterebbe ad escludere un’origine connessa ad attività neotettonica (Fig.3.7), che risultano di difficile interpretazione geologica e che sembrano per lo più legate a problematiche di elaborazione delle immagini satellitari connesse al contributo atmosferico che presenta una diversa entità in relazione alle differenze di quota (Fig.3.8.- 3.9.).

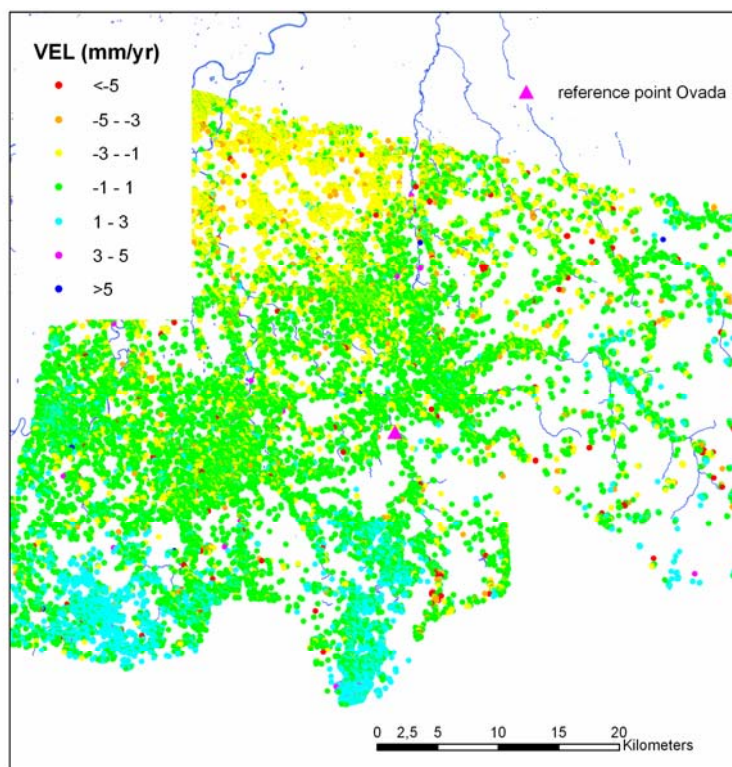


Fig. 3. 7. Dataset Ovada.

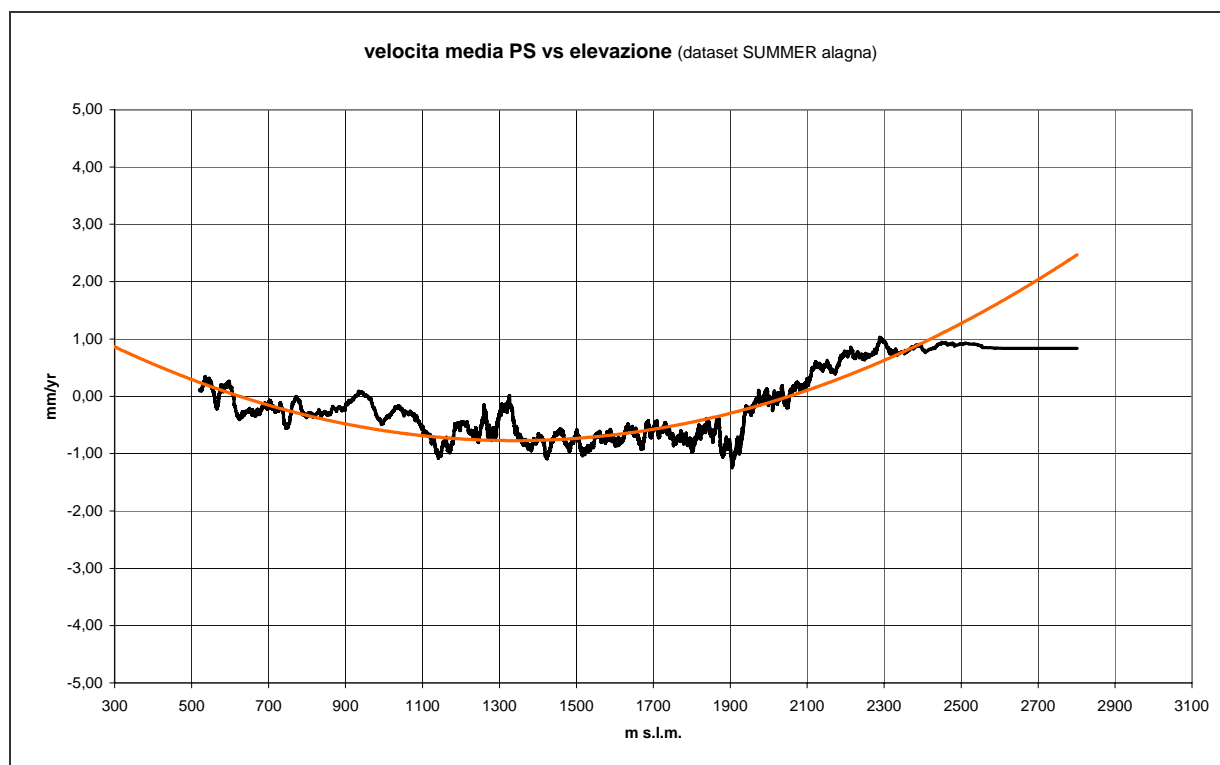


Fig. 3. 8. Andamento della VLOS in relazione alla quota topografica (dataset Alagna summer). Le quote superiori ai 2000 m sono caratterizzate da velocità positive.

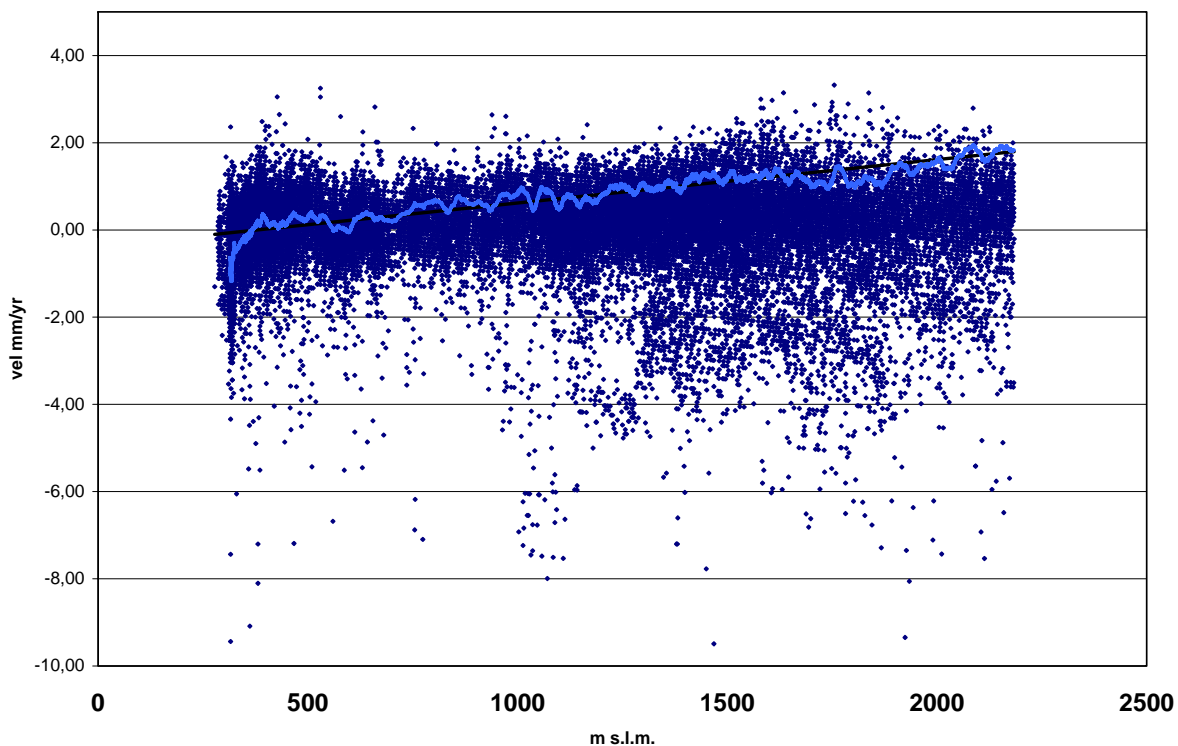


Fig. 3. 9. Andamento della VLOS in relazione alla quota topografica (dataset Locana full). Le quote superiori ai 1400-1500 m sono caratterizzate da velocità positive.

Il riprocessamento dei dati effettuato dalla TRE tenendo conto del diverso contributo atmosferico in relazione alla quota, ha permesso di eliminare tali aree in sollevamento.

- Analisi delle velocità nella zona di sovrapposizione dei dataset

Nel caso di analisi di aree molto estese, come un intero territorio regionale, è consuetudine suddividere l'elaborazione PS in più ritagli (o siti) al fine di limitare il carico computazionale in fase di processing. Ogni sito avrà un suo punto di riferimento e i PS ad esso correlati. Le misure di spostamento fornite sono differenziali e relative al punto di riferimento del singolo sito, di conseguenza PS provenienti da datasets diversi possono avere velocità leggermente differenti. La zona di sovrapposizione dei datasets evidenzia di solito una differenza di velocità dei PS. La Fig.3.10. si riferisce ad un settore della pianura tortonese nella zona di sovrapposizione tra il dataset Ovada e Valenza ed evidenzia una differenza di velocità di circa 0,5-1 mm/yr tra i due datasets. L'elaborazione dei datasets necessita di un'operazione di "messa in passo", consistente nella stima statistica della differenza di velocità dei PS nella parte di sovrapposizione e nella successiva rimozione di tale differenza dalle velocità dei PS di un dataset rispetto a quello preso a riferimento. Tale operazione può essere applicata nel caso di aree di studio collocate nella zona di sovrapposizione di due datasets, ma non si può estendere alla totalità dei datasets presenti nel territorio regionale (causa propagazione dell'errore).

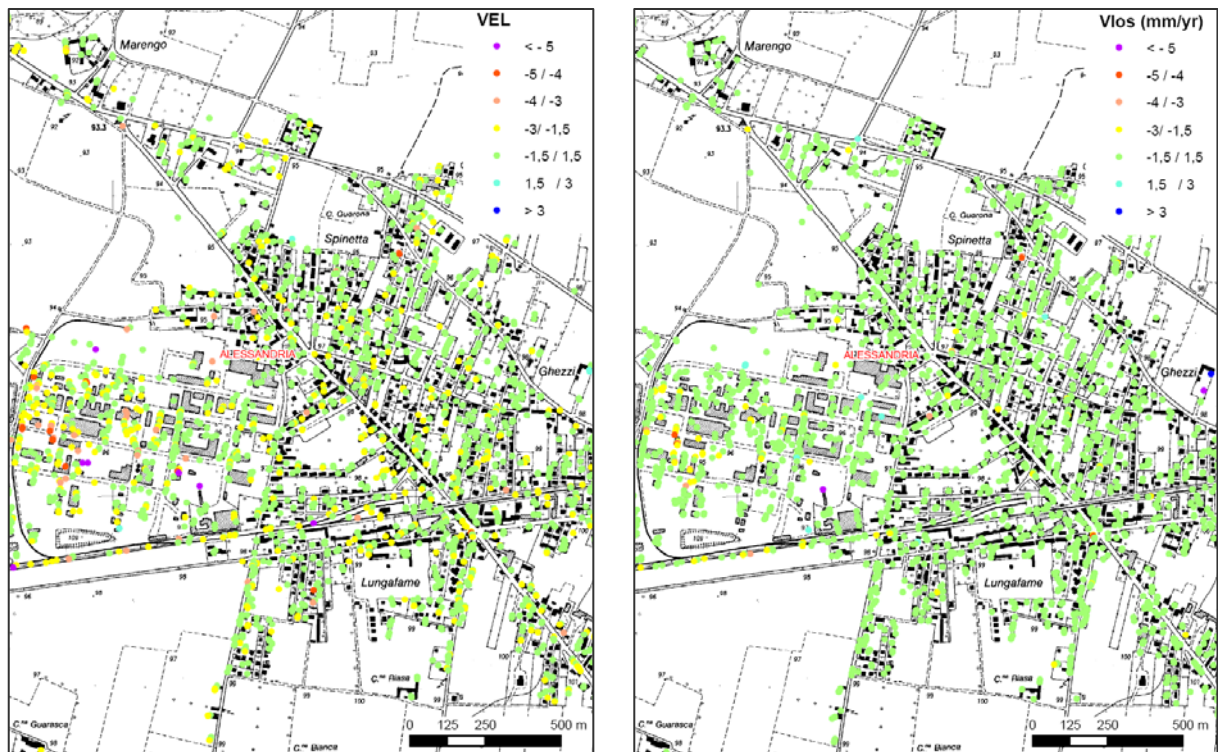


Fig. 3. 10. Confronto tra il dataset Ovada (a sinistra) ed il dataset Valenza (a destra) nella zona di Spinetta Marengo (pianura alessandrina).

- Analisi delle zone con forte orografia e quote elevate

Per i datasets completi (“full”) nelle aree alpine, contraddistinte da una forte orografia e da quote elevate, occorre considerare il fattore neve. Quest’ultimo infatti può compromettere la qualità del dato radiometrico: se un oggetto (il tetto di un’abitazione, una roccia) é in alcuni mesi dell’anno coperto da neve il satellite vede una serie di acquisizioni coerenti nei mesi non invernali e un dato rumoroso nei mesi invernali, ciò riduce considerevolmente il numero di PS.

Sono stati messi a confronto i dataset full e summer. I grafici di Fig.3.11. mostrano un deciso guadagno del numero dei PS in corrispondenza delle quote più elevate (1700-2000 m). L’utilizzo del dataset summer consente un aumento non solo del numero dei PS ma anche un aumento dell’area coperta dai dati (Fig.3.12).

Per le zone alpine risulta di conseguenza utile il “dataset estivo” che non comprende le acquisizioni caratterizzate dalla presenza di neve. Tuttavia la minore accuratezza della misura, dovuta al ridotto numero di immagini utilizzate rende necessario una verifica preliminare della qualità del dato da effettuarsi caso per caso con confronto con dati pregressi e sopralluoghi sul terreno.

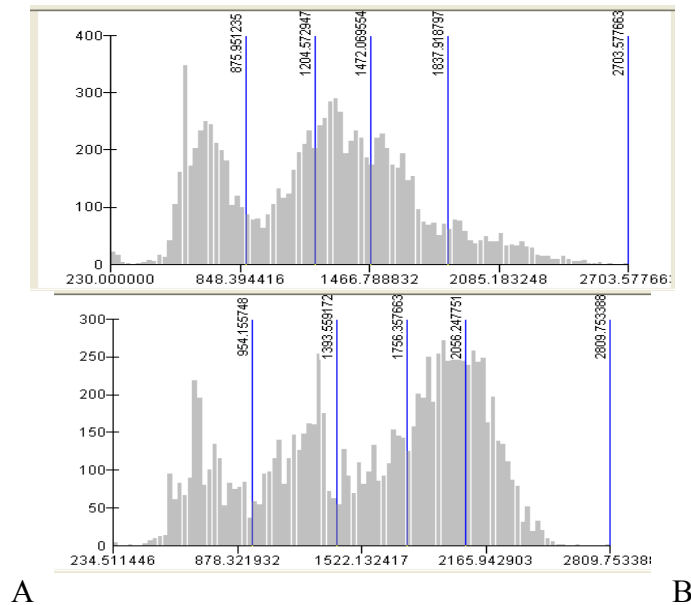


Fig. 3. 11. Relazione tra il n° dei PS e le quote per il dataset ALAGNA full (A) e ALAGNA summer (B)

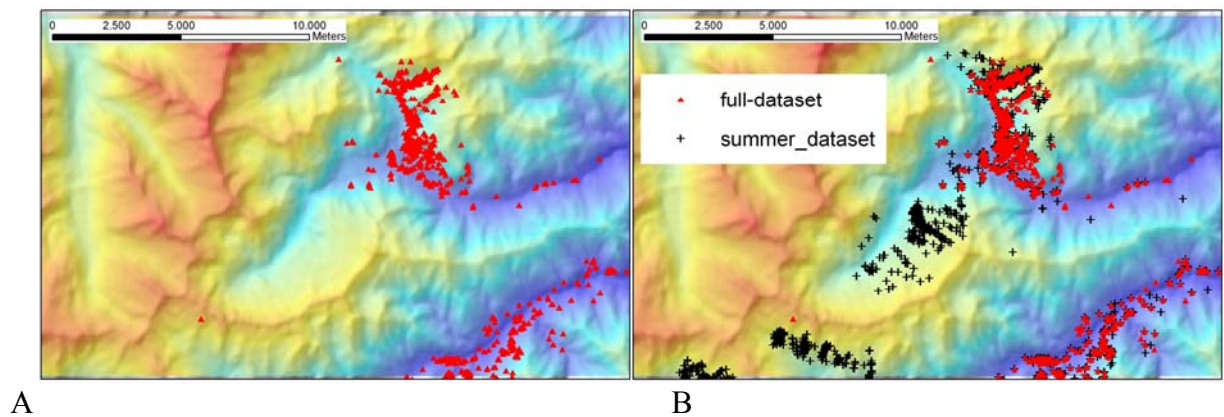


Fig. 3. 12. Confronto tra il dataset full (A) e summer (B).

- Analisi dei dati ascendenti

Nell'analisi ascendente l'esiguo numero di immagini a disposizione (mediamente 30 acquisizioni per sito) ha consentito di raggiungere una densità di PS molto più bassa di quella ottenuta nell'elaborazione discendente.

Per esempio sui versanti esposti a E – SE l'effetto delle deformazioni prospettiche nei dataset discendenti riduce la possibilità di trovare bersagli permanenti; l'utilizzo di dati ascendenti può incrementare in alcuni casi (Fig.3.13) le informazioni ottenibili dalla tecnica PSInSAR. Tuttavia anche in questo caso si incorre in problemi di robustezza del dato che rendono necessaria la verifica caso per caso dell'attendibilità delle misure.

E' da verificare localmente la possibilità di integrazione tra dati ascendenti e discendenti, il cui principale vantaggio é la capacità di osservare le deformazioni in due direzioni.

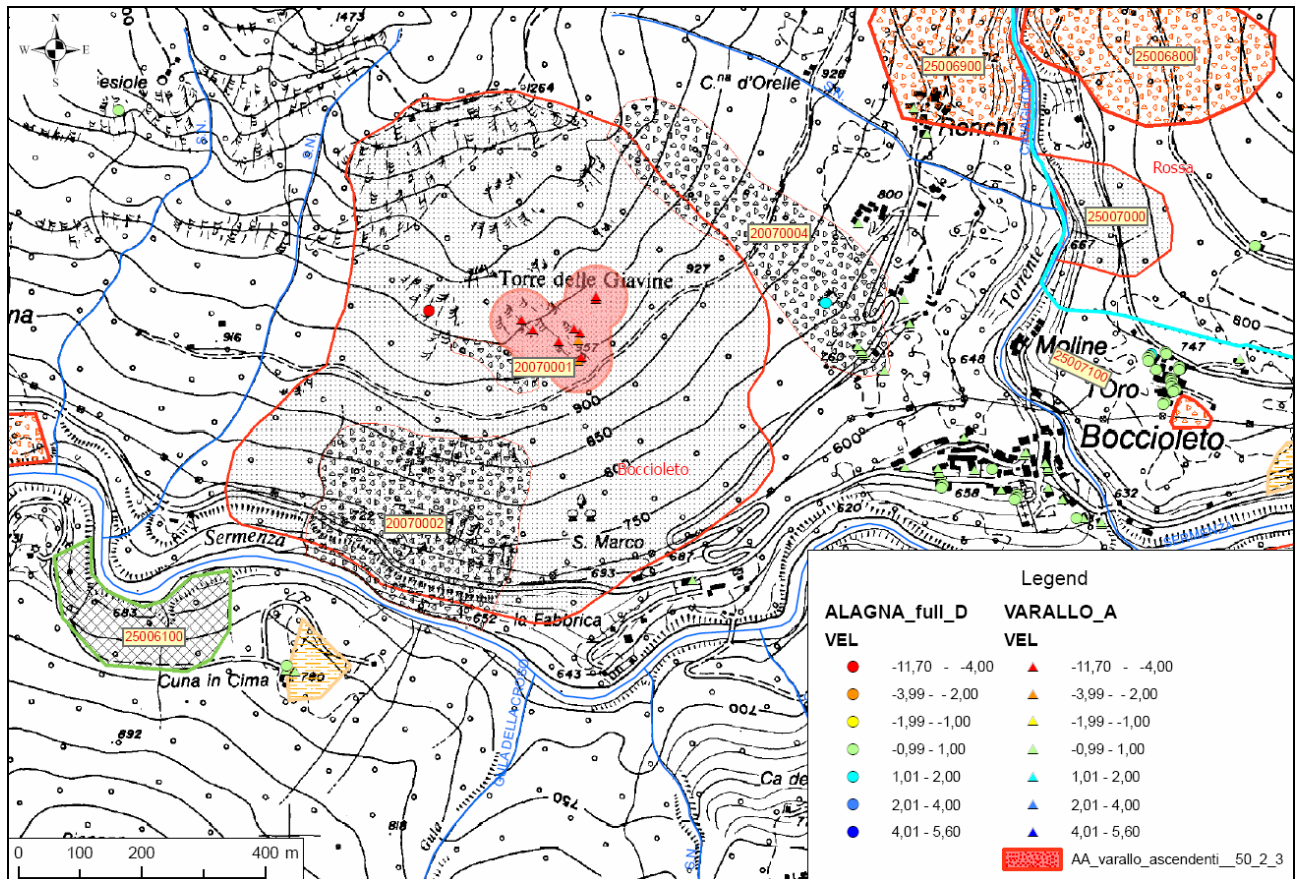


Fig. 3. 13. Confronto tra il dataset ascendente “VARALLO” e il dataset discendente ALAGNA (full) (AA: aree anomale). Il dataset ascendente ha permesso di individuare un’area anomala in abbassamento nella zona di Torre delle Giavine.

- Analisi dei TS - Serie storiche

Le serie storiche riportano, per ogni PS, gli spostamenti in millimetri del bersaglio lungo la LOS in funzione del tempo trascorso dall’acquisizione master che viene utilizzata come riferimento temporale e posta quindi a 0 mm (il punto in cui il grafico attraversa lo zero è in corrispondenza dell’immagine master presa come origine temporale delle osservazioni).

L’analisi di dettaglio di questi spostamenti permette di ricavare informazioni approfondite circa il comportamento del singolo PS non direttamente deducibili dal solo valore di velocità media annua. Tuttavia nel caso di analisi standard (SPSA) in presenza di spostamenti che non seguono il modello lineare utilizzato nell’analisi PSInSAR si hanno forti perdite di coerenza che possono portare alla perdita del PS, sono pertanto esclusi i movimenti non lineari.

Talora sono osservabili piccole oscillazioni picco-picco di 2-3 mm (Fig.3.14), che potrebbero essere interpretate in vario modo: movimenti a carattere stagionale, deformazioni dell’edificio, ecc....In genere queste serie storiche sono caratterizzate da valori di coerenza non molto elevati. In questi casi i bassi valori di coerenza non sono necessariamente dovuti ad una elevata rumorosità del dato, ma bensì al fatto che il tipo di moto analizzato non viene ben approssimato dal modello lineare. Infatti, anche in presenza di dati poco rumorosi, le componenti sinusoidali (moti stagionali) vengono

interpretate dal modello come rumore facendo ridurre fortemente il valore della coerenza.

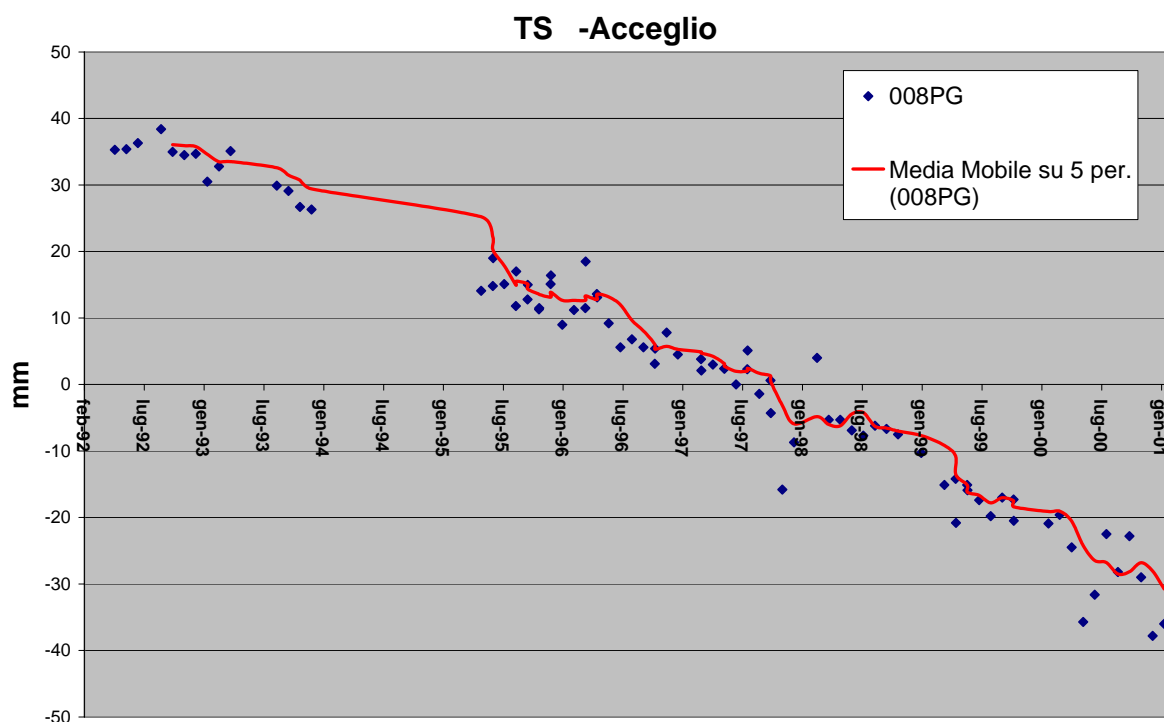


Fig. 3. 14. Serie storica di un TS situato in corrispondenza della frana complessa di Chiappera (coerenza = 0,8).

Dall'analisi delle serie storiche sono inoltre emerse delle differenze (20-25 mm in alcuni casi) tra i movimenti del suolo misurati dal satellite ERS1 e quelli registrati al passaggio di ERS2 nelle successive 24 ore (17 e 18/06/1995, 22 e 23/07/1995, 26 e 27/08/1995, 4 e 5/11/1995, 17 e 18/02/1996, 27 e 28/04/1996, 1 e 2/06/1996, 17 e 18/04/1999, 22 e 23/05/1999, 26 e 27/06/1999, 4 e 5/09/1999, 9 e 10/10/1999, 26-27/02/00 per il datasets Valenza) (Fig.3.15). Di tale fatto occorre tenere presente soprattutto nella fase di interpretazione di dettaglio (monitoraggio fenomeni franosi).

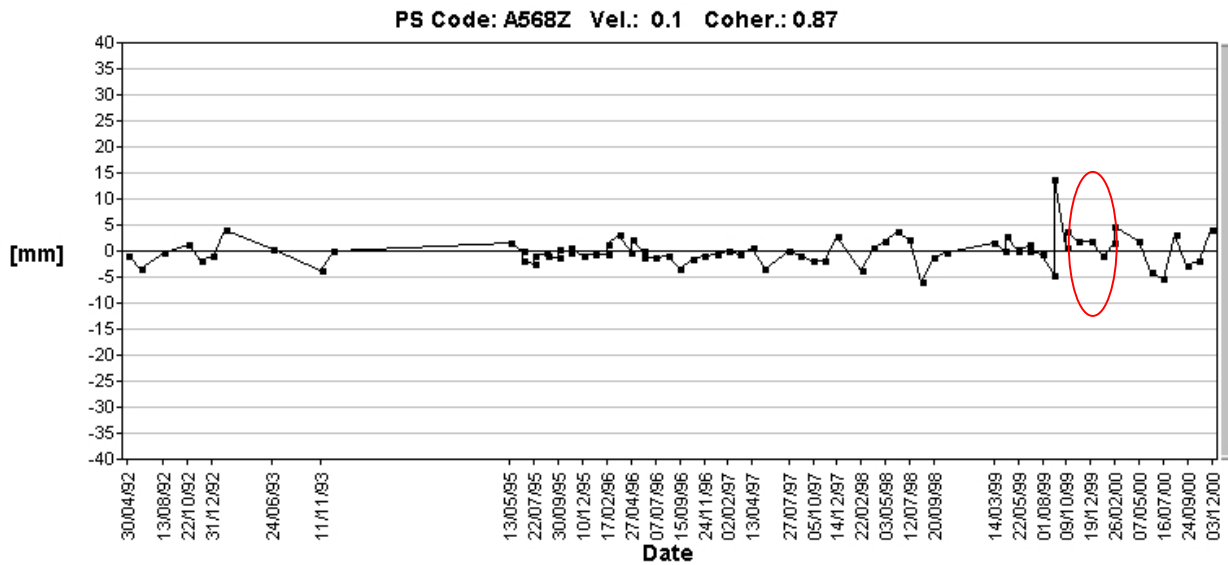


Fig. 3. 15. Esempio delle differenze tra i movimenti del suolo misurati dal satellite ERS1 e quelli registrati al passaggio di ERS2 nelle successive 24 ore.

- Natura del PS:
La maggior parte dei PS corrisponde a strutture antropiche: edifici, strade e ferrovie, antenne (Fig.3.16.), ecc..

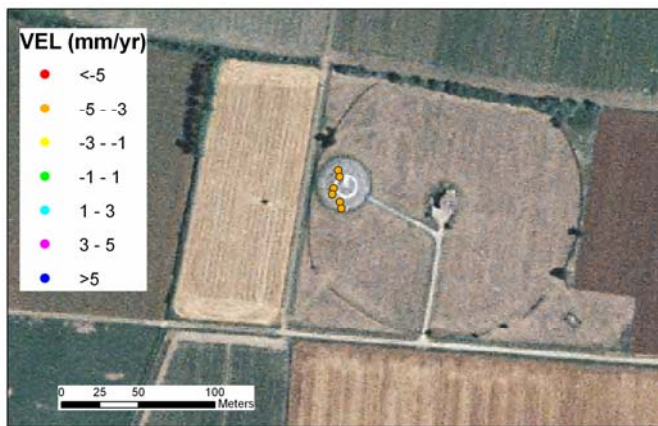


Fig. 3. 16. Dataset Valenza: PS in abbassamento in corrispondenza di un'antenna

Il posizionamento del PS in direzione Nord-Sud risulta affetto da un errore con distribuzione statistica di tipo uniforme compresa tra ± 2 m, mentre in direzione Est-Ovest da un errore con distribuzione statistica di tipo gaussiano a valor medio nullo e deviazione standard pari a circa 6 m (TRE, 2006). Questo comporta la difficoltà nel caso di edificio isolato di distinguere a quale parte della costruzione (es. PS alla base dell'edificio stesso generati da fenomeni di riflessione tra piano stradale e facciata) o dei manufatti accessori (marciapiedi, muretti, garage, ecc...) appartenga il PS. Nel caso di nuclei urbani risulta talora difficile distinguere su quale edificio si trovi il PS. In generale è emerso che i capannoni industriali e i manufatti con tetti in lamiera sono ottime

superfici riflettenti e sono caratterizzati di conseguenza da un numero elevato di bersagli radar.

La maggior parte dei PS naturali corrispondono in ambiente alpino e in parte in ambiente appenninico a detriti di versante, che per le loro caratteristiche geometriche costituiscono delle ottime superfici riflettenti (Fig.3.17-3.18).



A



B

Fig. 3. 17. Dataset Valenza: PS in corrispondenza di detrito nei Calcari di Monte Antola (A e B).



Fig. 3. 18. Dataset Valenza: PS in corrispondenza di roccia fratturata nei Calcari di Monte Antola.

3.1.1.2. *Analisi di corretta (o meglio verosimile) geocodifica*

L'operazione di georeferenziazione dei PS è affetta da due tipi di errori, uno variabile per ciascun PS e l'altro comune all'intero set di PS individuati nell'elaborazione. Il posizionamento del PS in direzione Nord-Sud risulta affetto da un errore con distribuzione statistica di tipo uniforme compresa tra ± 2 m, mentre in direzione Est-Ovest (direzione di *range*) da un errore con distribuzione statistica di tipo gaussiano a valor medio nullo e deviazione standard pari a ca. 6 m, come illustrato in Figura 3.19. In prima istanza, l'incertezza del posizionamento del singolo PS è dunque compresa entro questi limiti. L'errore di posizionamento in direzione Est-Ovest risulta affetto anche da un errore dipendente dalla distanza dal punto di riferimento, in quanto per punti lontani dal REF peggiora la stima del valore di quota del singolo PS, elemento necessario per poter condurre correttamente il processo di geocodifica. Osservando la distribuzione spaziale della deviazione standard della stima delle quote questo disturbo risulta correlato nello spazio, ovvero PS vicini tra loro ma entrambi lontani dal REF, subiscono lo stesso tipo di errore (TRE, 2006).

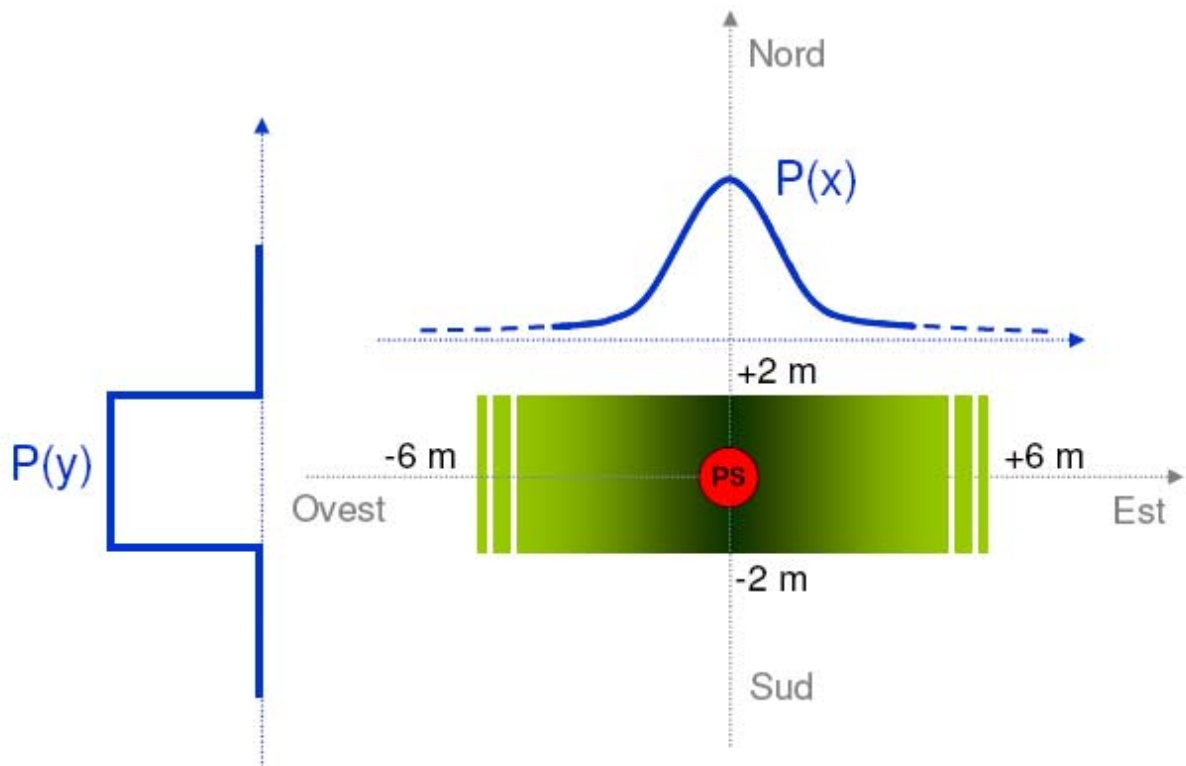


Fig. 3. 19. Schematizzazione degli errori di geocodifica (TRE, 2006).

La procedura utilizzata, si basa su un approccio empirico, realizzato in ambiente GIS e prevede di integrare i dataset PS su basi dati come la CTR e le ortofoto digitali che permettono una lettura immediata dei rapporti tra le coperture del suolo e la distribuzione dei PS. Sfruttando il fatto che le densità di PS sono fortemente legate al tipo di copertura del suolo, è possibile individuare, nel caso di buon posizionamento, dei pattern distributivi di alta densità correlati positivamente (ovvero spazialmente sovrapposti) all'urbanizzato e in generale anche alle reti viarie. Questa operazione, realizzata in maniera manuale, permette, qualora la relazione antropico-PS non si realizzi (errore sistematico), più o meno compiutamente, l'immediata segnalazione e il rigetto del dataset per una nuova operazione di geocodifica (shift rigido) (Fig.3.20).

E' utile verificare anche la **precisione delle quote stimate** e la **precisione in termini di deformazioni** misurate. In questo caso in assenza di altre informazioni possono essere utili le livellazioni IGM.

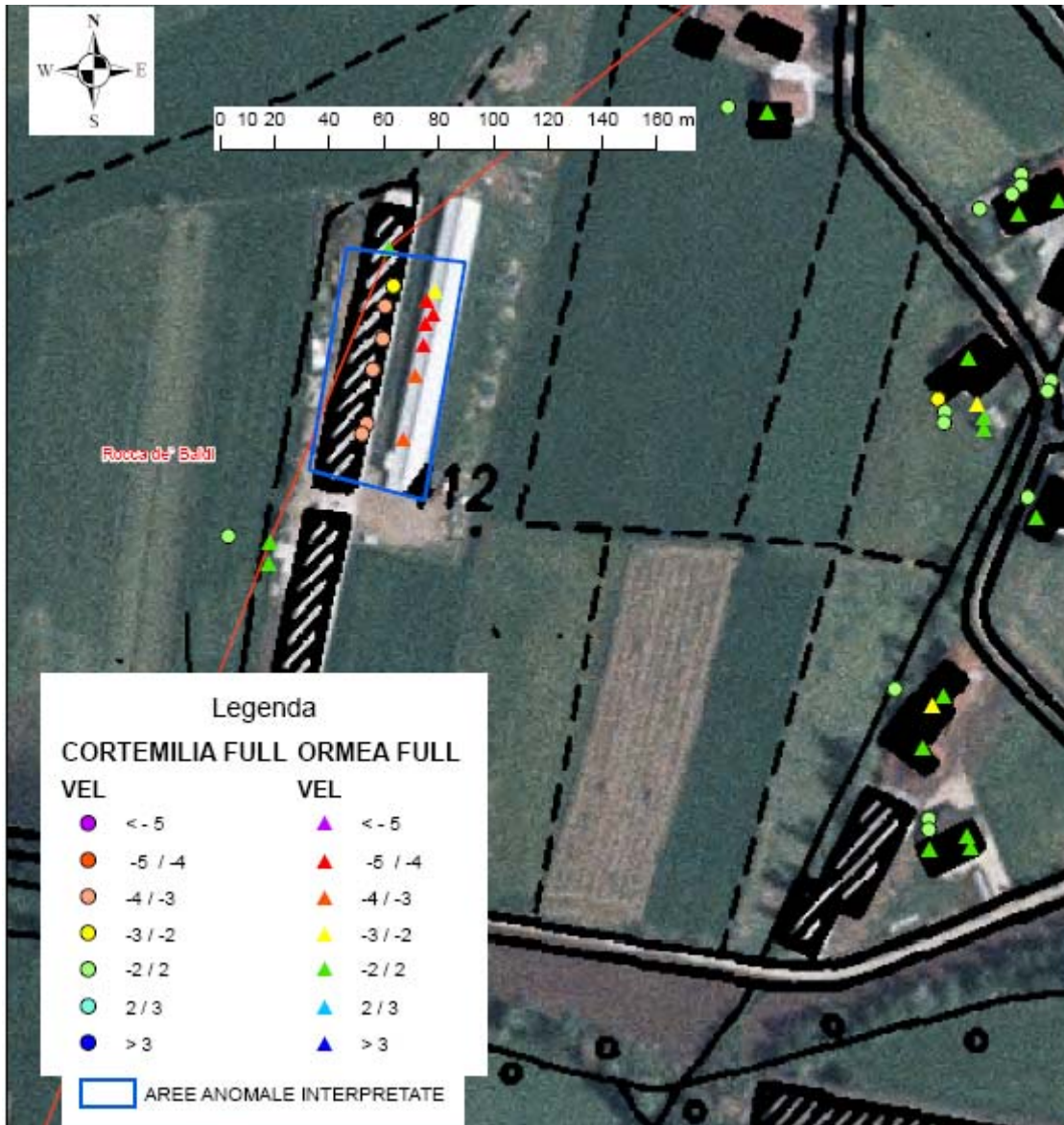


Fig. 3. 20. Sovrapposizione dei datasets Cortemilia e Demonte: i PS di Cortemilia presentano uno shift di circa 10 m verso Ovest.

3.1.1.3. Altre operazioni

- **estrazione di parametri statistici** (MEAN, STADDEV, MODE, etc....) sia sull'intero pacchetto di dati, raggruppato per tipologia di acquisizione (DESC, ASC, e SUMMER), che sui singoli frame dati.
- **estrazione di densità areale** per i dataset,
- **traduzione verso altri formati dati** (es. GEODATABASE, POSTGRES/POSTGIS, MYSQL, ORACLE, ARCSDE, GOOGLE EARTH...) dell'intera consegna o di parti.

Prodotti derivati da procedure realizzate nella fase di analisi dei dati PSInSAR possono essere:

- metadata più ricchi e conformi a particolari specifiche per i dati geografici (es. iniziativa INSPIRE)
- segnalazioni di errore, per omissione, duplicazione e scorretta geocodifica
- statistiche di descrizione dei dataset
- banche dati spaziali avanzate.

3.1.1.4. Metadocumentazione relativa alla consegna del dato

Alla luce delle considerazioni fatte nei paragrafi precedenti si sottolinea la necessità che la ditta che esegue l'analisi fornisca un documento sintetico che descriva:

- le informazioni relative al tipo di elaborazione: tipo di satellite, orbita, tipo di analisi (standard, advanced, lineare, non lineare, ecc...), parametri spaziali e criteri di scelta del punto di riferimento;
- le precisioni relative al metodo di analisi;
- le informazioni relative al dataset elaborato: descrizione delle scelte di ritaglio e parametri generali legati all'informazioni ancillari dell'elaborazione;
- l'elenco completo delle variabili relative al dataset di elaborazione;
- i limiti di utilizzo e la precisione al suolo relative al processo di elaborazione del dataset;
- le eventuali problematiche riscontrate nell'analisi.

3.1.2. Visualizzazione e classificazione dei PS

Il primo passo consiste nell'importare i Permanent Scatterers, in formato .dbf, all'interno di un GIS (generalmente ArcGIS) e visualizzarli, associando le coordinate contenute all'interno della tabella dei PS alle coordinate X ed Y del progetto.

La visualizzazione dei PS viene effettuata classificando i punti in funzione della velocità con colori differenti. La scala di colori utilizzata identifica con i colori giallo, arancione e rosso allontanamenti dal sensore lungo la LOS, con il verde i punti stabili e con varie tonalità di blu gli avvicinamenti al sensore lungo LOS. I valori di velocità vengono normalmente raggruppati in un numero di classi i cui limiti possono essere scelti in funzione delle esigenze di analisi, che dipendono dalla tipologia, e quindi dalla velocità, del fenomeno esaminato (frane, subsidenza, attività neotettonica, ecc...) (Fig.3.21).

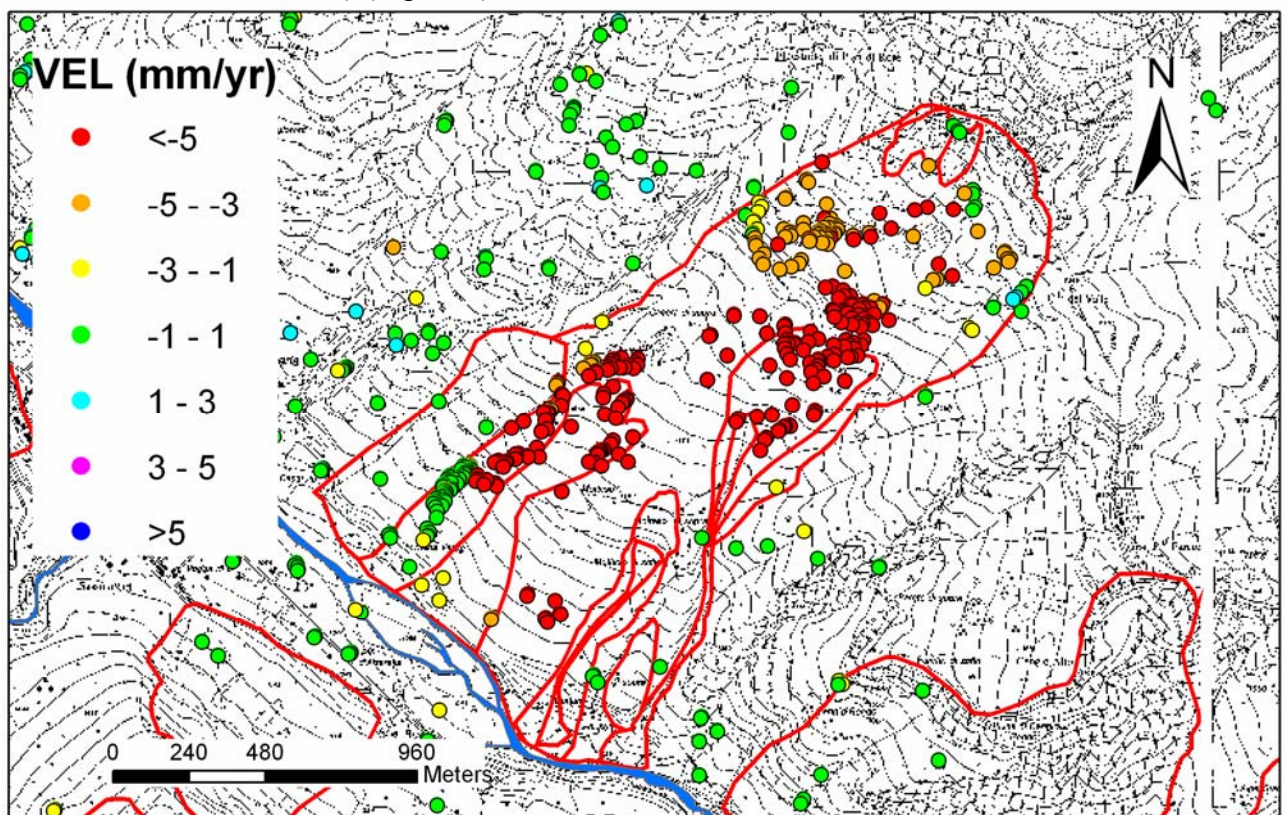


Fig. 3. 21. Esempio di visualizzazione dei PS.

Tenendo conto dell'accuratezza della misura di velocità ($\pm 0,1-2$ mm/yr) dei dati PSInSAR forniti, sono stati considerati in movimento quei PS con velocità maggiori di -2 mm/yr ($-1,5$ mm/yr per il settore appenninico).

I PS discendenti e ascendenti devono essere rappresentati con una simbologia diversa (ad esempio triangoli per gli ascendenti e cerchi per i discendenti), a causa delle differenti geometrie di vista delle due orbite che possono dare origine a notevoli differenze nel tasso di deformazione anche su uno stesso versante.

Per facilitare la comprensione dei fenomeni e quindi per poter risalire alla direzione di movimento senza dover tenere presente la direzione della linea di vista delle acquisizioni ascendenti o discendenti è possibile visualizzare i PS anche mediante delle frecce nella direzione della linea di vista (LOS) proiettata sull'orizzontale e nel verso dato dal segno (-

allontanamento, + avvicinamento), rendendo più intuitiva l'interpretazione (Farina, 2006) (Fig.3.22).

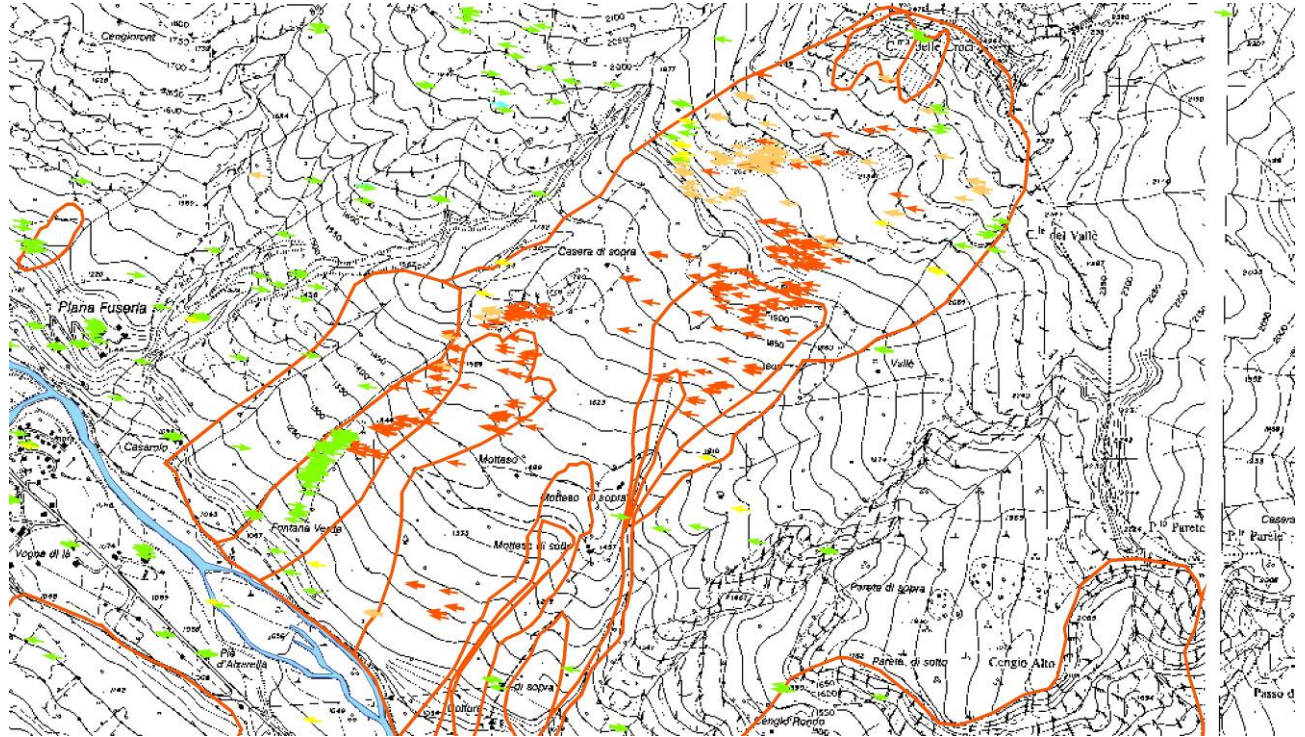


Fig. 3. 22. PS visualizzati mediante frecce nella direzione proiettata sull'orizzontale della linea di vista dei satelliti.

3.1.3. Sviluppo di metodi per l'identificazione di aree in movimento

Il percorso di analisi, il cui obiettivo consiste nell'interpretazione geologica dei campi di moto descritti dai PS, proposto ed utilizzato nel presente lavoro, prevede come passo iniziale la formazione di aggregati o cluster di PS che per caratteristiche fisiche e spaziali (velocità superiori od inferiori alla classe di velocità considerata stabile, e distanza interpunti e numerosità) possono rappresentare indizi di geo-processi. Tali raggruppamenti sono stati definiti come “aree anomale” o “aree critiche”. Le operazioni realizzate si concretizzano sostanzialmente in una serie di filtraggi d'attributo e spaziali dei dataset, derivate dalle operazioni di verifica descritte nei capitoli successivi, e permettono di concentrare l'analisi su gruppi di dati PS con carattere locale.

A questo scopo sono state applicate due metodologie:

- 1) la classica interpretazione visiva-manuale che viene sviluppata in ambiente GIS, con supporto di layer informativi territoriali di varia natura, che permettono all'esperto di analizzare compiutamente e segnalare concentrazione di PS con comportamento anomalo rispetto ad una media definita di “riposo”;
- 2) l'analisi, che in seguito definiremo “automatica”, che prende corpo da una serie di procedure di analisi del dato puntuale, di tipo random, o evento, da realizzarsi, almeno come obiettivo di questa fase, con il minimo intervento d'utente attraverso computer. Le motivazioni che spingono ad affiancare una metodologia, già sostanzialmente testata ed efficace, come quella manuale, derivano da una serie di problematiche proprie delle dimensioni del prodotto PS-PIEMO: numerosità assoluta e areale complessivo.

Le metodologie sopra esposte possono essere applicate a:

- singolo dataset: in generale non ha sempre, per motivi dimensionali, significato geologico, ma ha il vantaggio di avere un unico punto di riferimento;
- ambito geologico-geomorfologico omogeneo: ha significato geologico, ma potrebbe ricadere in corrispondenza di più datasets e quindi avere più punti di riferimento, richiedendo la preventiva “messa in passo” dei datasets.

3.1.3.1. Metodo visivo-manuale

Il metodo consiste nelle seguenti fasi:

1. selezione dei PS “anomali”. La scelta viene fatta in funzione della precisione di misura della tecnica, della distribuzione dei valori di velocità all'interno di ogni dataset e della tipologia di fenomeni da studiare (es. movimenti di versante, attività neotettonica). Per i datasets in aree alpine sono stati selezionati i PS con velocità $> \pm 2$ mm/yr. Tale valore soglia riflette principalmente la precisione di misura della velocità che è di 0,1-2 mm/anno per un PS distante meno di 2 km dal punto di riferimento ed in caso di dataset composto da almeno 50 immagini. (TRE, 2006). Tuttavia per i datasets del settore meridionale in zona appenninica la bassa densità di PS ha reso necessario l'abbassamento dei valori soglia ($\pm 1,5$ mm/yr);
2. creazione di due subsets di PS con $-2\text{mm/yr} < v < +2$ mm/yr sulla base della coerenza:

- a. 1° subset: contiene tutti i PS;
- b. 2° subset: selezione dei PS sulla base di un valore soglia della coerenza di 0,8, che esclude i bersagli radar rumorosi caratterizzati da una minore accuratezza;
3. sovrapposizione della distribuzione dei PS con la carta CTR 1:10.000 o ortofoto IT2000;
4. individuazione di concentrazioni di almeno 3-4 PS in un intorno fra i 50 e i 100 metri, per ognuno dei due subsets creato nella fase precedente;
5. creazione di poligoni che contornano i PS “anomali” (è da sottolineare il fatto che tali poligoni non hanno alcun significato geologico) (Fig.3.23). La creazione dei poligoni deve tenere conto della topografia.

Il metodo è stato applicato ai seguenti datasets: Alagna_D_summer e Pragelato_D_summer per l'area alpina, Ovada e Valenza per il settore appenninico e di pianura.

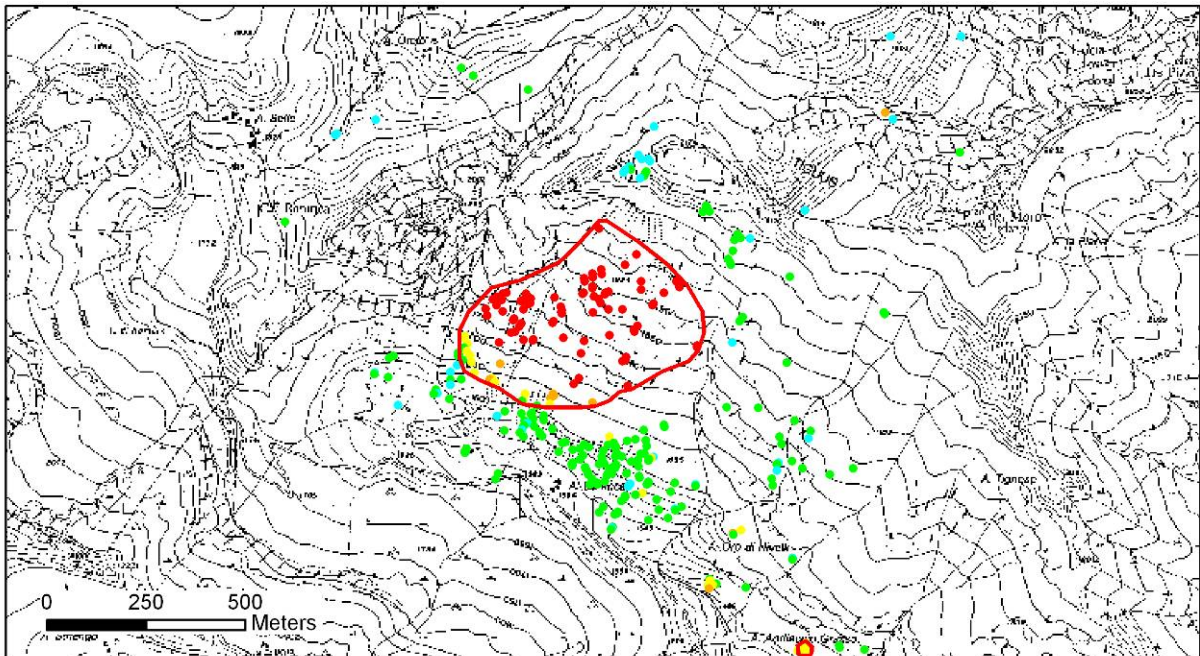


Fig. 3. 23. Esempio di poligono manuale con PS “anomali”.

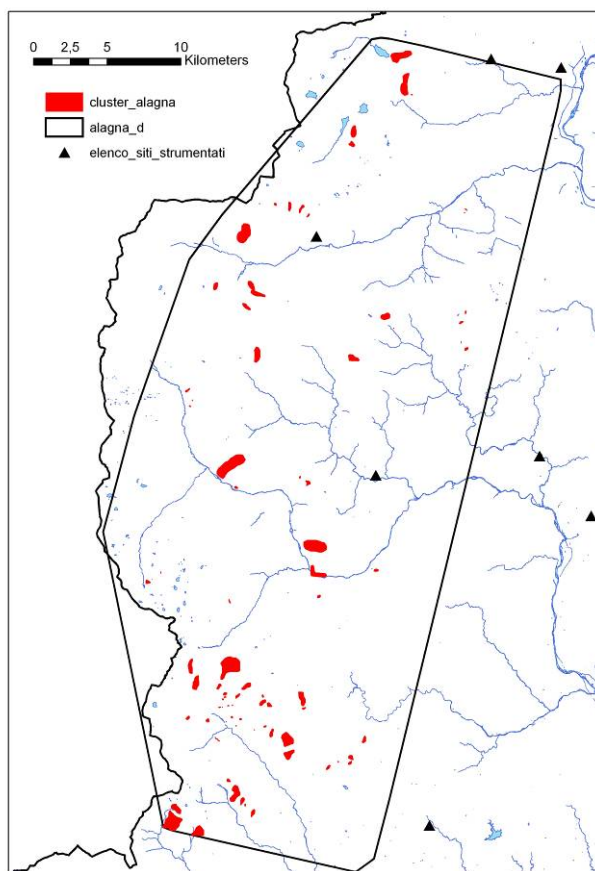


Fig. 3. 24. Risultati dell'applicazione del metodo visivo-manuale (dataset Alagna).

Per il dataset Alagna_D_summer nel primo subset, che contiene tutti i PS, sono stati individuati 83 poligoni che indicano aree in movimento di cui 14 hanno velocità $>+2\text{mm/yr}$ e 46 cadono all'interno di aree mappate in frana dal progetto IFFI (Fig.3.24).

Nel secondo subset, che esclude i PS rumorosi caratterizzati da una coerenza minore di 0,8 (il 90% dei PS del dataset Alagna), si ottengono solo 29 poligoni.

I risultati ottenuti dimostrano che in genere alti valori soglia di coerenza assicurano una maggiore accuratezza della misura di spostamento, ma anche un numero decisamente inferiore di PS. Di conseguenza è consigliabile utilizzare tutti i PS per ottenere un'indicazione preliminare della distribuzione di velocità, successivamente e solo sulle aree caratterizzate da un'elevata densità di bersagli radar è possibile alzare il valore soglia della coerenza.

In generale questo approccio si scontra in termini di rapidità e con la fornitura di un prodotto omogeneo a dimensione regionale.

3.1.3.2. Metodo informatico

A fianco ad un'analisi classica di tipo manuale-visuale, il gruppo di lavoro ha valutato diversi approcci di analisi "automatica". L'idea di fondo che spinge a verificare come metodologie automatiche di analisi possano rintracciare pattern-cluster nei PS è resa necessaria da una serie di fattori:

- elevata numerosità dei dataset PS
- superficie dell'area di studio
- quantità e qualità dei diversi processi geologici attivi al momento della formazione dello stack interferometrico che in qualche maniera, almeno in potenza, possono avere influenza sulle velocità registrate dai PS.

Altro obiettivo è anche quello di realizzare prodotti simili a quelli ottenuti dall'analisi manuale-visiva, che ha rappresentato finora la modalità di analisi per eccellenza in studi simili (vedi Farina et al., 2006, Meisina et al., 2006).

Lo scopo è quindi di generare "poligoni" contenenti PS, verosimilmente congruenti in termini di cause, in modalità automatica, sfruttando le capacità proprie di un GIS di analizzare dati spaziali, con i seguenti obiettivi guida:

1. riproduzione per quanto possibile delle operazioni di filtraggio e aggregazione sviluppate da un operatore;
2. semplicità di realizzazione pratica e concettuale;
3. possibilità di ripetere con rapidità le procedure in caso di rifelezioni di soglie (VEL e distanza di influenza);
4. realizzare un prodotto di immediato utilizzo all'interno di un GIS.

I diversi test sono stati realizzati all'interno di ARCGIS 9.1, in modo da sfruttare immediatamente le potenzialità del dato e dall'altra parte utilizzare uno strumento comune ai ricercatori impegnati. La metodologia che viene descritta di seguito è composta da operazioni semplici di query e di analisi di prossimità e overlay.

Schema operativo

L'approccio consta delle seguenti fasi (Fig.3.25.):

- 1) Definizione della soglia di velocità da considerare come rappresentativa di uno status di stabilità e selezione dei PS in "movimento" (e subordinatamente se necessario di COERENZA);
- 2) Individuazione dell'area di compartecipazione tra i diversi PS, ovvero della zona di influenza tra PS (scala di rappresentatività);
- 3) Determinazione della numerosità minima di PS sopra la soglia di stabilità che deve essere presente per definire un'area anomala o critica (significatività).

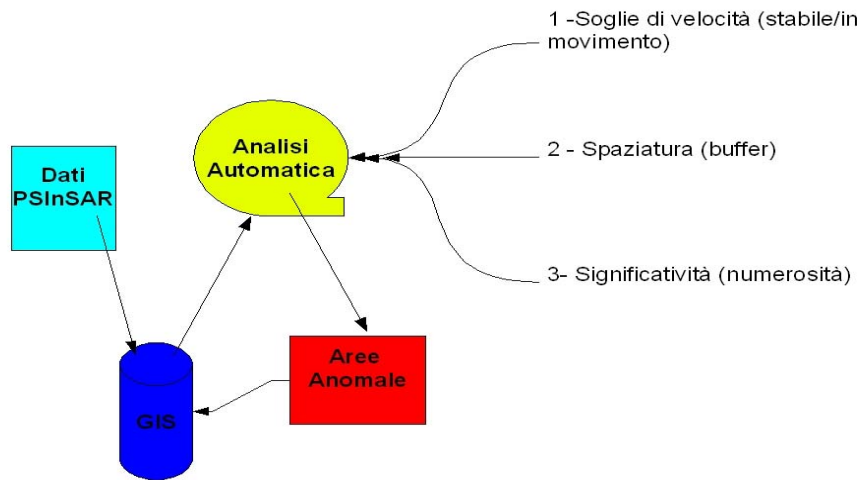


Fig. 3. 25. Parametri per la definizione delle aree anomale.

Il primo step risulta fortemente critico rispetto al prosieguo del lavoro. I valori soglia da considerare come rappresentativi di uno status di stabilità possono derivare da:

- una analisi combinata dei valori di velocità ottenuti attraverso le analisi statistiche preliminari descritte in precedenza (distribuzione dei valori di velocità all'interno di ogni dataset);
- considerazioni geologiche (trend regionali di movimento, tuttavia difficilmente determinabili nell'area di studio a causa della mancanza di bibliografia al riguardo);
- considerazioni sull'accuratezza e precisione del dato (come da documentazione fornita da TRE).

Nello specifico di questo studio l'intervallo di velocità considerato come stabile è risultato compreso tra -2 e +2 mm/anno (per le aree appenniniche è stata selezionata una soglia di < -1,5 e > 1,5 mm/year). Tale valore soglia riflette principalmente la precisione di misura della velocità che è di 0,1-2 mm/anno per un PS distante meno di 2 km dal punto di riferimento ed in caso di dataset composto da almeno 50 immagini. Questa operazione di selezione è stata realizzata attraverso l'interfaccia SQL di ARCGIS e ha portato come primo risultato alla selezione solo dei punti PS che rispettavano queste soglie (Fig.3.26-3.27-3.28.).

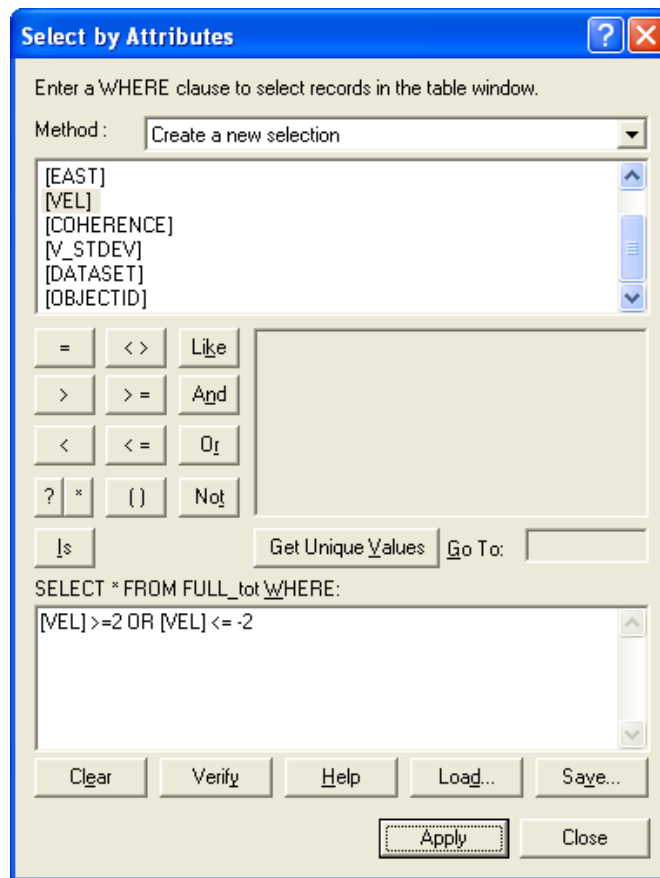


Fig. 3. 26. Query di selezione PS sopra soglia.

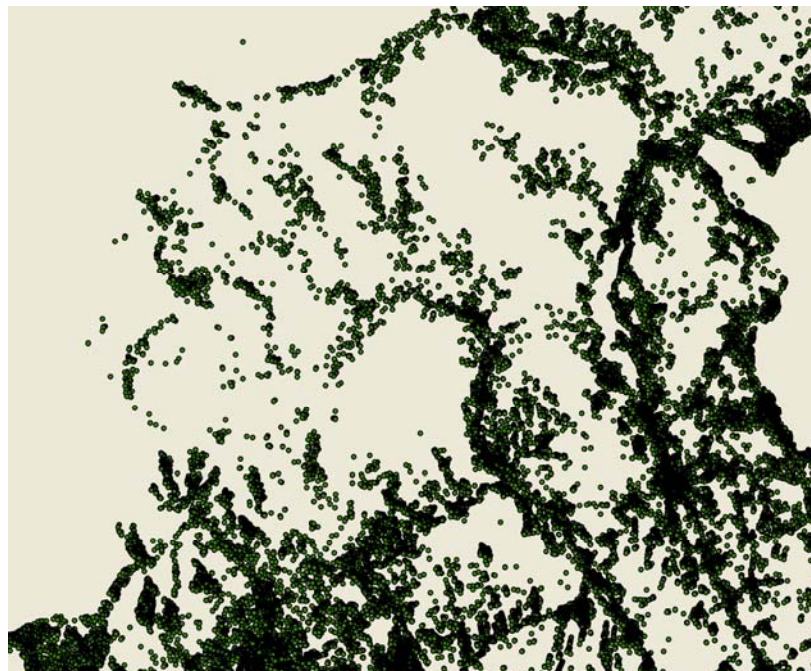


Fig. 3. 27. Dataset pre-query

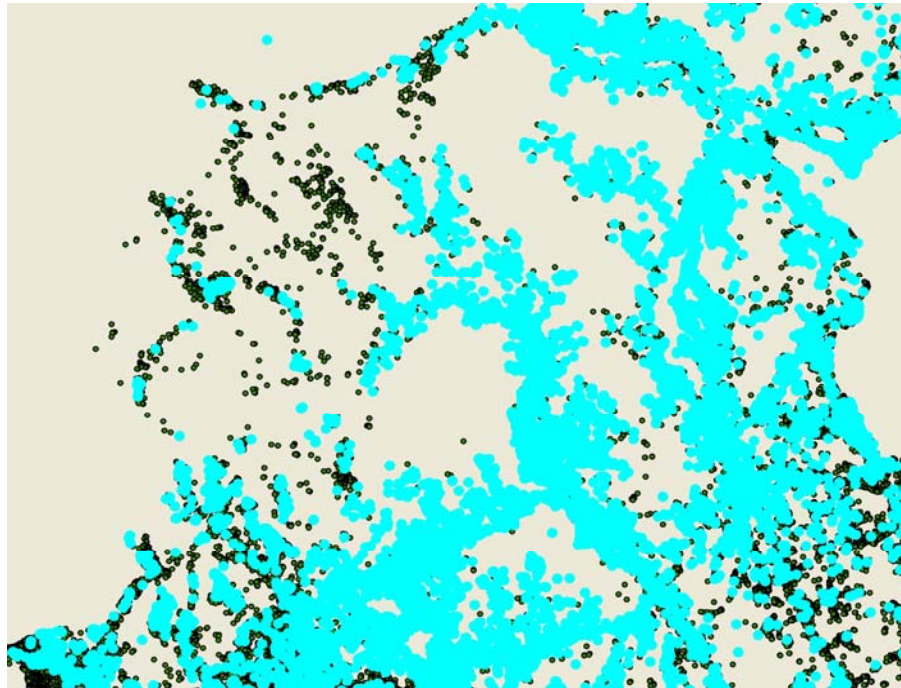


Fig. 3. 28. Risultato della selezione su dataset precedente; in azzurro i PS candidati

La base di partenza del secondo step è stata la valutazione di una distanza di influenza e/o di rappresentatività dei PS selezionati nella fase precedente, al fine di aggregare tra loro PS in movimento, che verosimilmente si trovavano negli stessi ambiti morfologici (versante, fondovalle, ecc.).

Da osservazioni morfologiche la distanza minima tra PS di 50 m sembra rappresentare una buona soluzione per mantenere il risultato areale (area anomala o critica caratterizzata da PS in movimento), all'interno di un unico "contesto geomorfologico".

Questo step è stato realizzato per mezzo di un'operazione di prossimità (BUFFER) ovvero sono stati generati cerchi con raggio di 50 metri attorno ai bersagli radar in movimento; la successiva unione di tali figure geometriche ha portato alla generazione di poligoni (aree omogenee o critiche) contenenti aggregazioni di PS distanti non più di 50 m uno dall'altro (Fig.3.29). Nell'operazione di buffer si è scelto di aggregare, nel caso di sovrapposizione, attraverso il dissolving, i poligoni risultati. In questa maniera si premiano gli elementi ravvicinati.

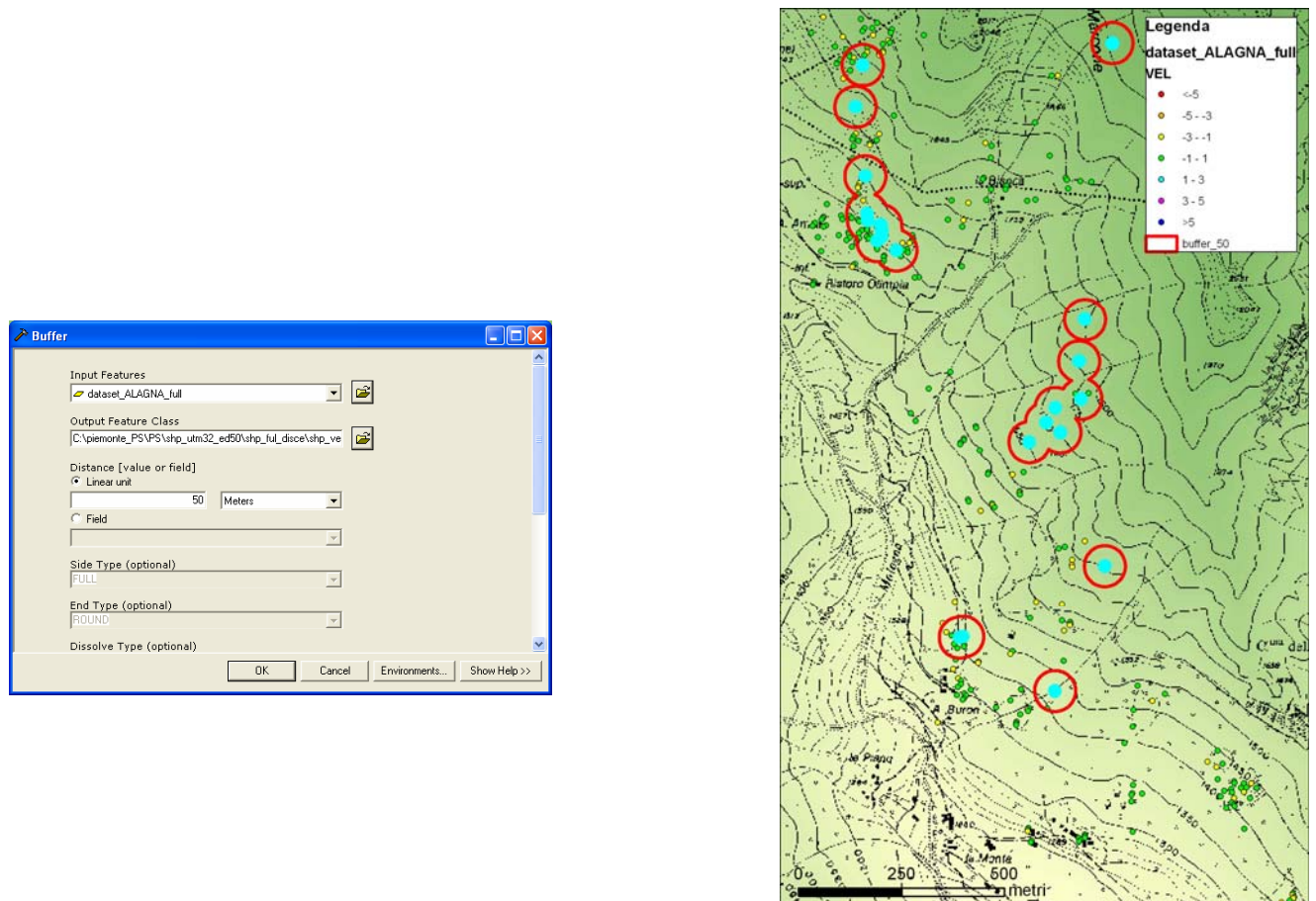


Fig. 3. 29. Individuazione dell'area di influenza (es. 50 metri) intorno ai PS selezionati nel passo precedente

Nel terzo step sono state considerate significative e selezionate le aree anomale o critiche con un contenuto minimo di PS in movimento maggiore o uguale a 3 (Fig.3.30).

Il risultato di quest'ultima operazione è una proposta di area omogenea anomala, pronta ad essere integrata nel 2° livello come da Fig. 3.1.

Attributes of buffer_50_conteggio

FID	Shape*	Id	PntsinPoly
56	Polygon	0	2
57	Polygon	0	166
58	Polygon	0	3
59	Polygon	0	2
60	Polygon	0	1
61	Polygon	0	2
62	Polygon	0	8
63	Polygon	0	1
64	Polygon	0	4
65	Polygon	0	2
66	Polygon	0	49
67	Polygon	0	1
68	Polygon	0	1
69	Polygon	0	1
70	Polygon	0	3

Record: 1 Show: All Selected

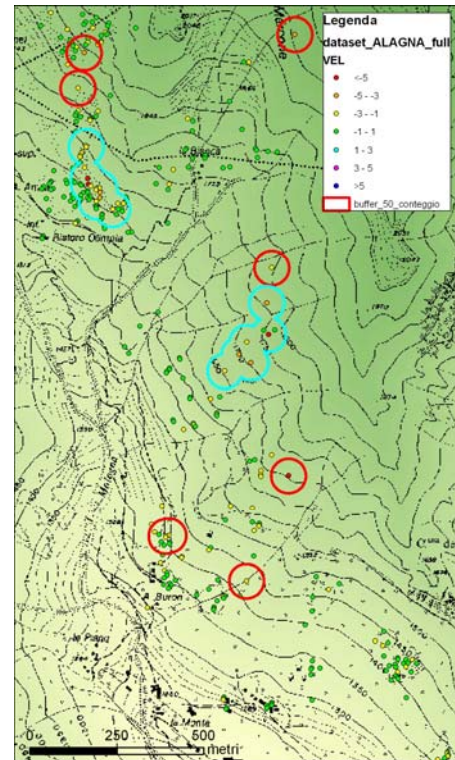


Fig. 3. 30. Conteggio dei PS in movimento per AREE (es. ≥ 3)

Il prodotto derivato da questa procedura (area anomala o critica, Fig.3.31), non vuole assolutamente assumere un ruolo di prodotto definitivo e soprattutto non ha un significato geologico; piuttosto esso è da considerare come un semilavorato, su cui si può concentrare l'attenzione del geologo, che attraverso le attività di rilevamento sul terreno, fotointerpretazione etc., può confermare o meno la sua significatività e quindi procedere alla sua interpretazione.

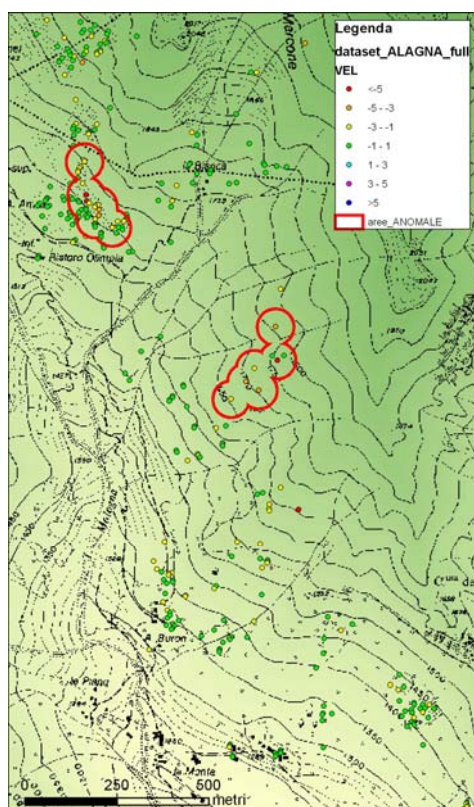


Fig. 3. 31. Aree anomale

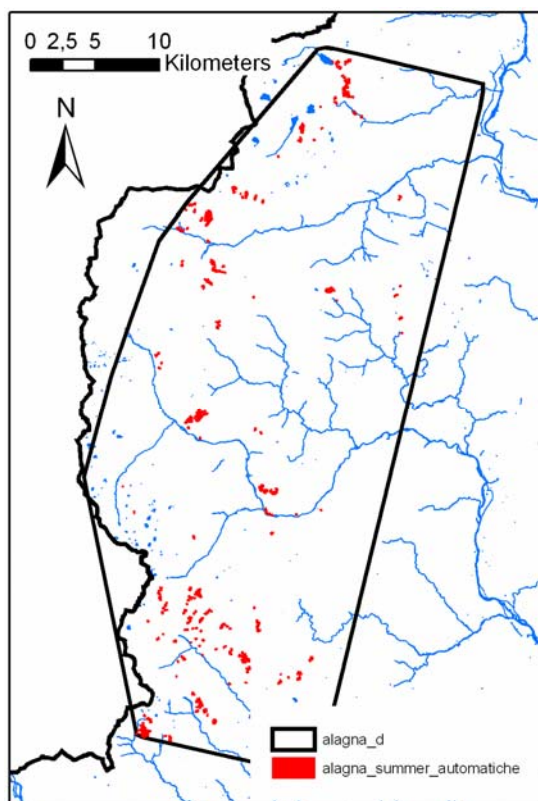


Fig. 3. 32. Risultati dell'applicazione del metodo automatico (dataset Alagna).

3.1.3.3. Confronto tra i due metodi

Il metodo “visuale-manuale” ha i seguenti vantaggi:

- semplicità, non richiede particolari conoscenze statistiche;
- completo controllo da parte dell’operatore,
- può essere applicato a tutti gli ambiti geologico-geomorfologici.

I principali svantaggi consistono nei lunghi tempi di esecuzione (in media 2 giorni per dataset) e nella soggettività legata allo stato di conoscenze pregresse dell’operatore nell’area esaminata.

Il metodo informatico ha presumibilmente il vantaggio dell’oggettività e dei rapidi tempi di esecuzione e della semplicità operativa.

Per quanto riguarda i limiti esso ha la tendenza ad operare uno splitting forse eccessivo anche in ambiti geomorfologicamente omogenei e tende a sottolineare i fenomeni locali, dall’altro va anche segnalato che è comunque necessario fornire al software una serie di input soggettivi:

- la soglia di VEL (stabile/instabile)
- le eventuali soglie sulla Coerenza
- l’area di compartecipazione (supporto) tra i diversi PS, ovvero la zona di influenza tra i diversi PS
- e la numerosità minima di PS sopra la soglia di stabilità che deve essere presente minimamente per definire un area omogenea-anomala.

I risultati ottenuti con il metodo automatico ed il metodo visivo mostrano una buona sovrapposizione (Fig.3.33.). Ad una prima analisi appare (Tab.3.1.) che il metodo automatico permette di ottenere un numero più elevato di aree anomale (circa il 40% in più rispetto a quello manuale), tuttavia è osservabile dalla Figura 3.32 che in realtà le aree anomale manuali corrispondono a più aree anomale automatiche.

Dataset	N° aree anomale	
	Metodo Manuale	Metodo automatico
Alagna_D_Summer	83	197
Alagna_D_Full	-	89

Tab.3. 1. Confronto delle aree anomale ottenute per il dataset Alagna con il metodo manuale e con il metodo automatico.

In generale é emersa la necessità di utilizzare più metodologie di identificazione dei settori anomali in relazione all’ambito geologico-geomorfologico (pianura, Alpi e Appennini) e alla densità dei PS e ai loro caratteri cinematici.

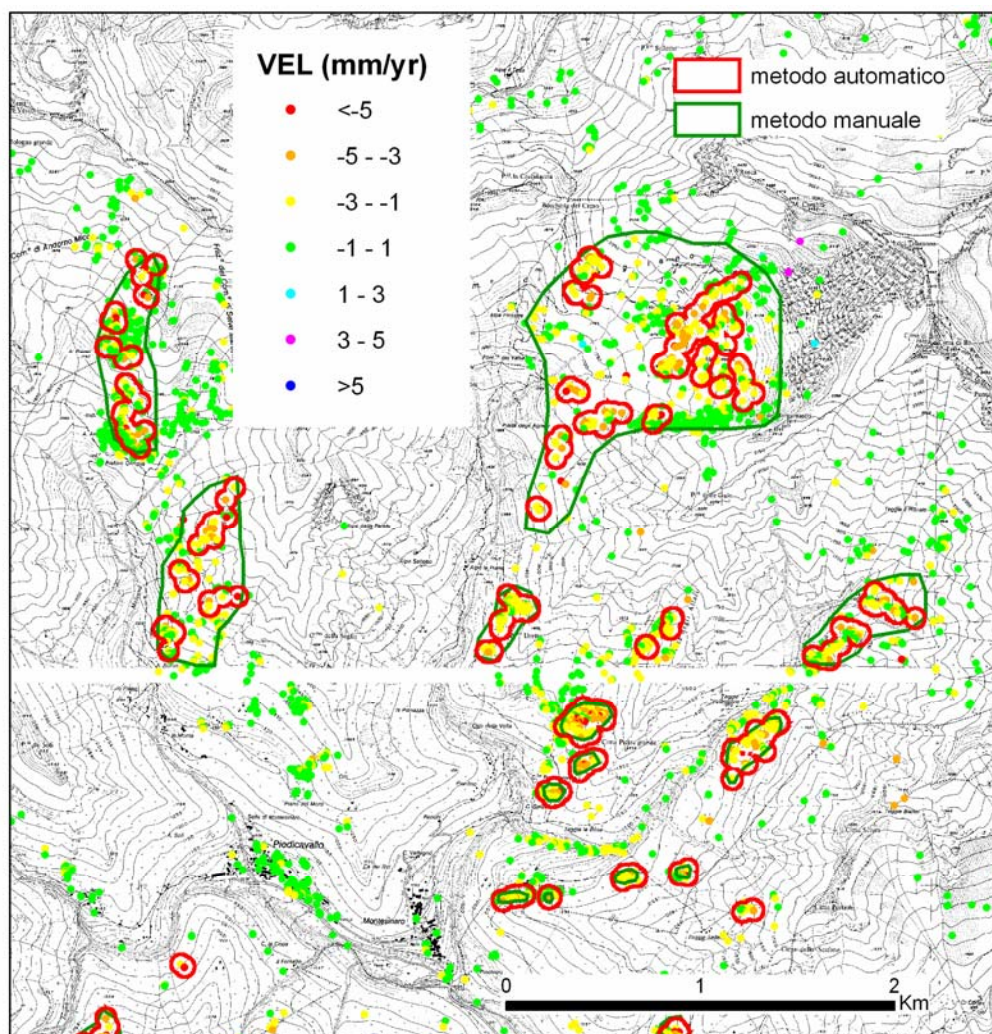


Fig. 3. 33. Dataset Alagna: confronto tra i risultati ottenuti tramite metodo visivo e automatico.

3.1.3.4. Criteri di selezione delle aree anomale

Per l'individuazione delle aree anomale a scala regionale si è scelto di utilizzare per le considerazioni sopra esposte (soprattutto estensione dell'area e numero di dati interferometrici) il metodo automatico, che ha portato ad individuare nell'intero Piemonte circa 6452 aree anomale (i valori si riferiscono ai dataset discendenti full, tenendo conto dei nuovi dataset riprocessati dalla TRE secondo la Tab.2.2. e prendendo come soglia di velocità in Appennino $\pm 1,5$ mm/yr) (Fig.3.34).

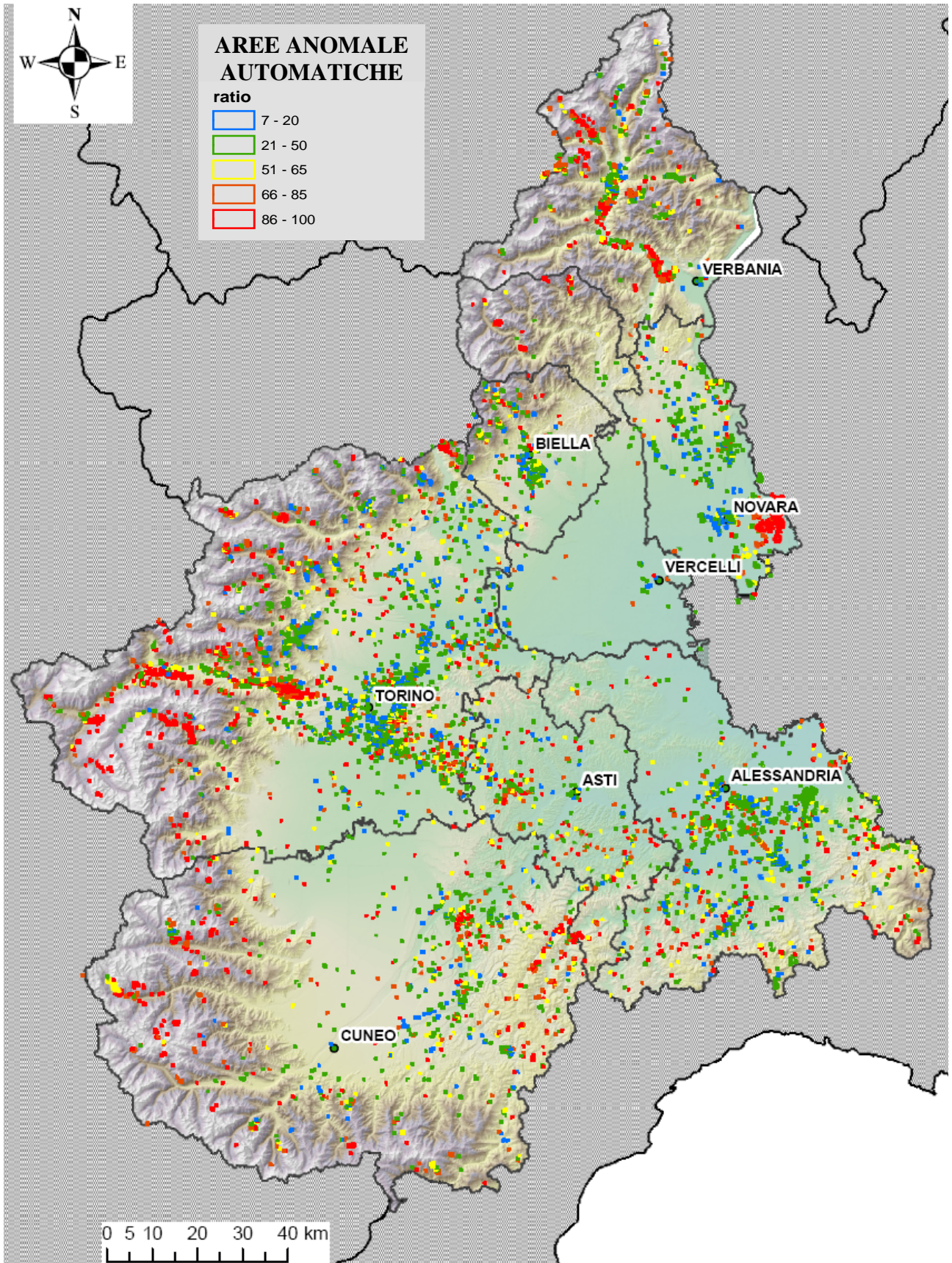


Fig. 3. 34. Aree anomale in Piemonte individuate con il metodo automatico (RATIO = rapporto fra i PS in movimento e i PS totali contenuti nell'area anomala)

Il prodotto ottenuto consiste in files formato shape con le seguenti informazioni (vedi in CD-ROM allegato):

- codice dell'area anomala
- n° di PS in movimento ricadenti nell'area anomala
- n° di PS totali ricadenti nell'area anomala
- V_{LOS} minima, massima e media dei PS all'interno dell'area
- Coerenza minima, massima e media dei PS all'interno dell'area
- Rapporto in percentuale tra il n° di PS in movimento e il n° di PS totale ("ratio").

L'elevata numerosità dei dati ottenuti (6452 aree anomale automatiche) ha tuttavia reso necessario lo sviluppo di ulteriori metodologie di selezione delle aree in movimento (Fig.3.35). I criteri utilizzati a tale fine sono stati la "ratio" e l'appartenenza al medesimo processo geologico (aggregazione manuale delle aree anomale automatiche). Sono state eliminate pertanto le aree anomale automatiche considerate non significative in quanto caratterizzate da un numero elevato di PS stabili (rapporto tra PS in movimento P_{mov} e PS totali $P_{tot} < 20\%$). L'aggregazione manuale delle aree è avvenuta secondo due procedure differenti a seconda dei contesti geologici-geomorfologici di appartenenza (collina-montagna e pianura).

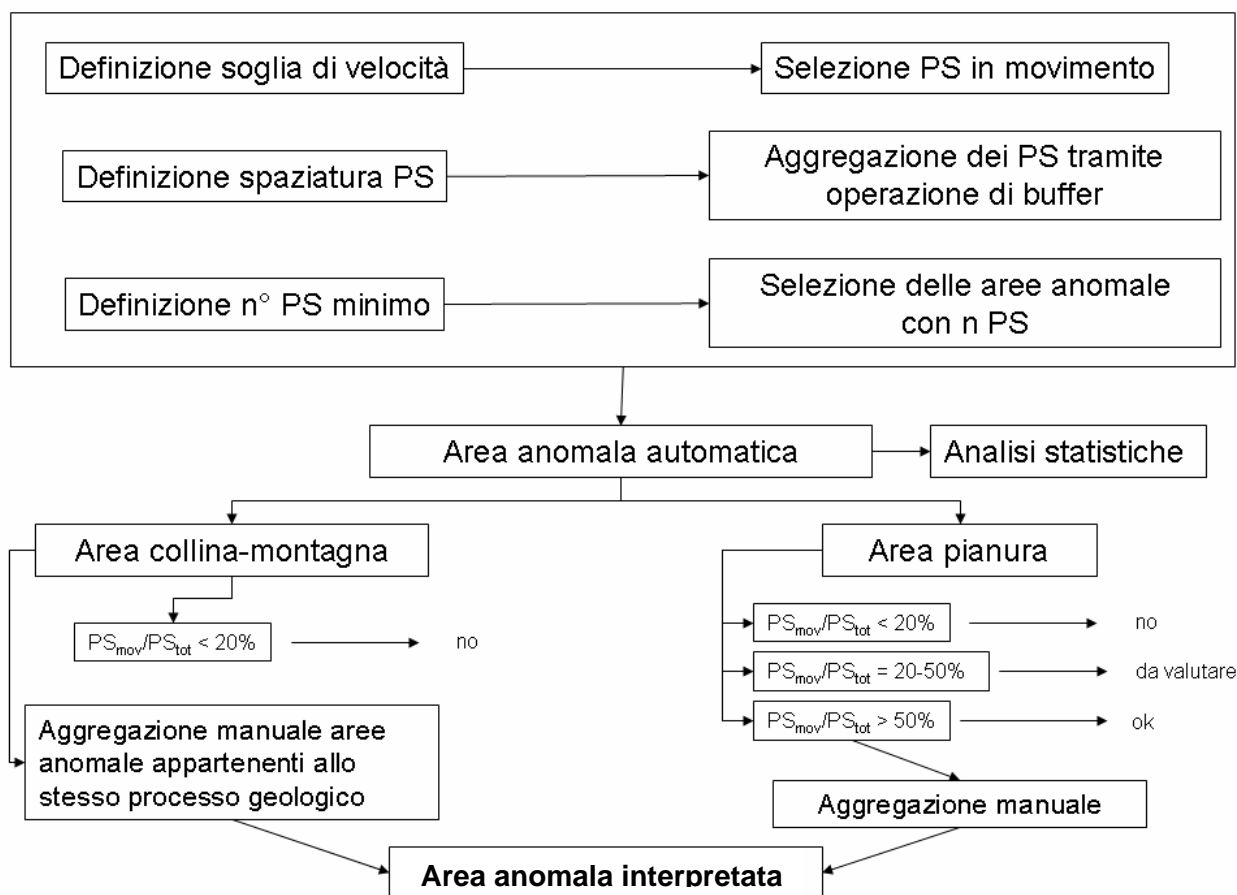


Fig. 3. 35. Sintesi della metodologia di individuazione delle aree anomale

Un problema a cui si deve far fronte in un'analisi regionale dei dati PSInSAR è l'esistenza di zone, anche ampie, di sovrapposizione dei datasets (Fig.3.36). In tali zone le aree anomale automatiche non sempre si sovrappongono sia in termini di estensione areale che di valori di velocità dei PS. Questo ha comportato nelle zone di sovrapposizione una riperimetrazione manuale delle aree anomale automatiche che tiene conto di diversi fattori, quali il numero di PS e la coerenza delle aree anomale automatiche di ciascun dataset. In alcuni casi l'esistenza di dataset con alcune problematiche e non soggetti a riprocessamento da parte di T.R.E. ha portato nelle zone di sovrapposizione a preferire un dataset e a scartare l'altro (Tab.3.2.).

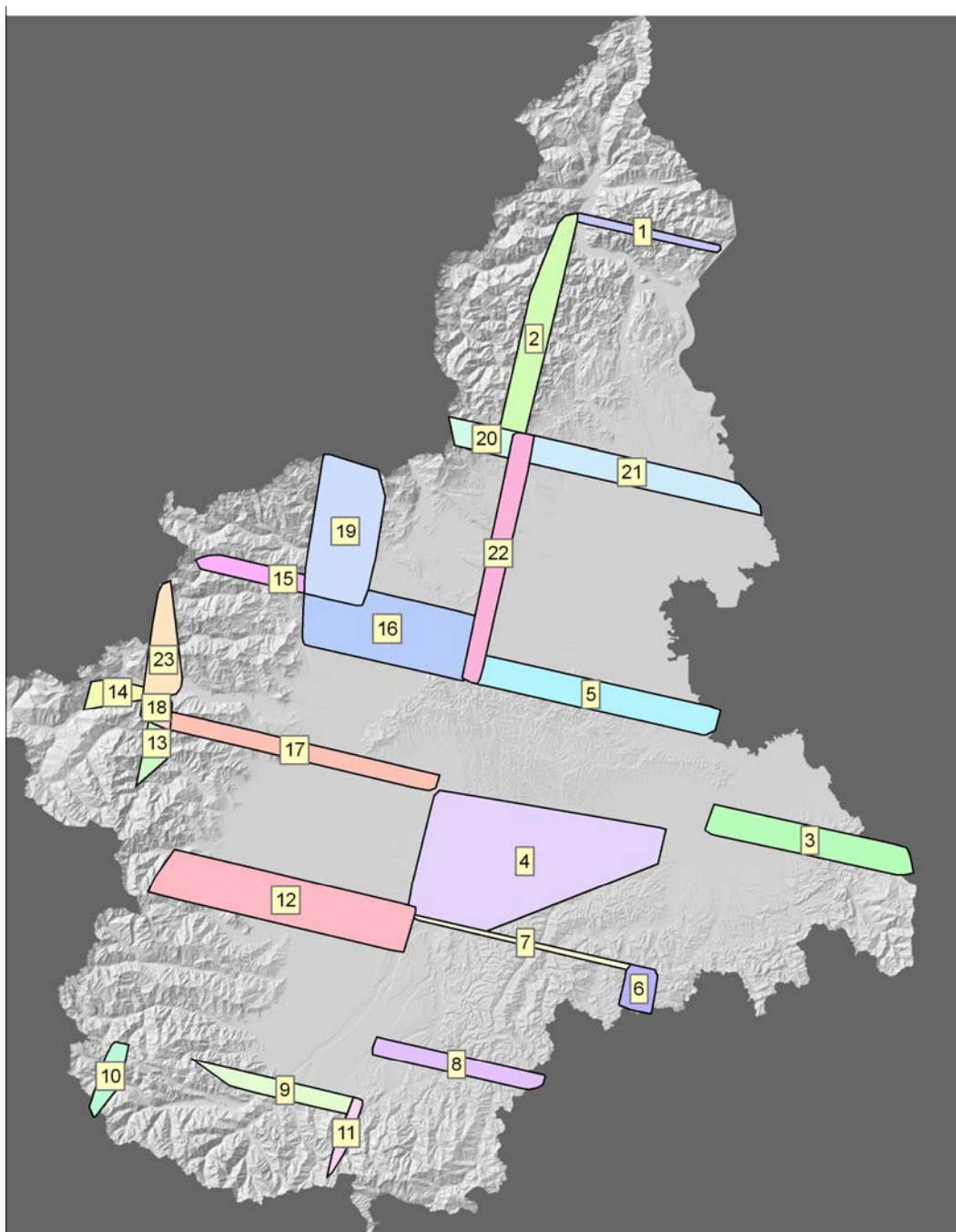


Fig. 3. 36. Aree di sovrapposizione dei dataset (vedi Tab.3.2.).

ID	Dataset 1	Dataset 2	Scelta	NOTE
1	Formazza summer	Arona full	0	
2	Alagna full	Arona full	0	
3	Ovada	Valenza	1	sollevamenti anomali nel dataset Valenza
4	Canelli	Asti	0	
5	Asti	Novara	0	
6	Ovada	Cortemilia	0	
7	Cortemilia	Canelli	0	
8	Ormea full	Cortemilia	1	PS Cortemilia shiftati di 10 m verso W
9	Fossano full	Demonte full	0	
10	Demonte full	Argentera full	1	Abbassamento anomali nel dataset Argentera full
11	Demonte full	Ormea full	0	
12	Fossano full	Pinerolo	0	
13	Pinerolo full	Pragelato full	1	Abbassamenti anomali specie nel settore orientale di Pragelato (bassa Val Chisone)
14	Susa full	Pragelato full	1	Abbassamenti anomali specie nel settore orientale di Pragelato (bassa Val Chisone)
15	Locana full	Torino	0	
16	Torino	Biella full	0	
17	Torino	Pinerolo full	0	
18	Torino	Pragelato full	1	Abbassamenti anomali specie nel settore orientale di Pragelato (bassa Val Chisone)
19	Locana full	Biella full	0	
20	Biella full	Alagna full	0	
21	Arona full	Novara	1	
22	Biella full	Novara	0	
23	Torino	Susa full	0	

Tab.3. 2. Scelta dei datasets da utilizzare nelle zone di sovrapposizione (0 = ripermetrazione manuale delle aree anomale automatiche di ciascun dataset; 1: è stato scelto il dataset n°1 e scartato il dataset n°2)

Collina-montagna:

- selezione delle aree anomale con rapporto tra PS in movimento e PS totali superiore almeno al 20%;

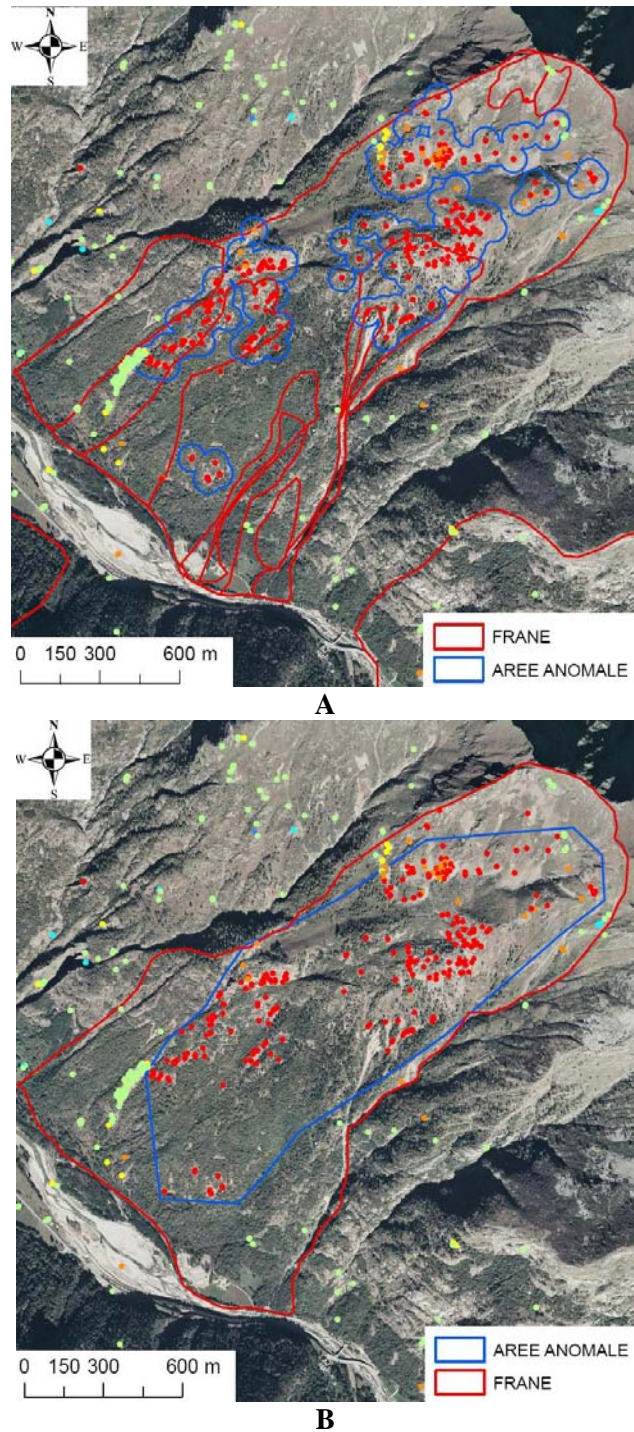


Fig. 3. 37. Esempio di aggregazione manuale delle aree anomale in area di collina-montagna. A: aree anomali automatiche; B: aree anomale interpretate

- aggregazione manuale delle aree anomale automatiche dei dataset full (ad eccezione del dataset Formazza per il quale sono stati considerati i dati summer) ritenute appartenenti allo stesso processo geologico (“aree anomale interpretate”) (Fig.3.37, 38, 39);
- sovrapposizione tra le aree anomale interpretate o aggregate full e le aree anomale automatiche dei dataset summer e ascendenti e selezione di quelle summe e ascendenti che non si sovrappongono alle aree full.

ESEMPI DI AGGREGAZIONE IN AREE DI COLLINA-MONTAGNA

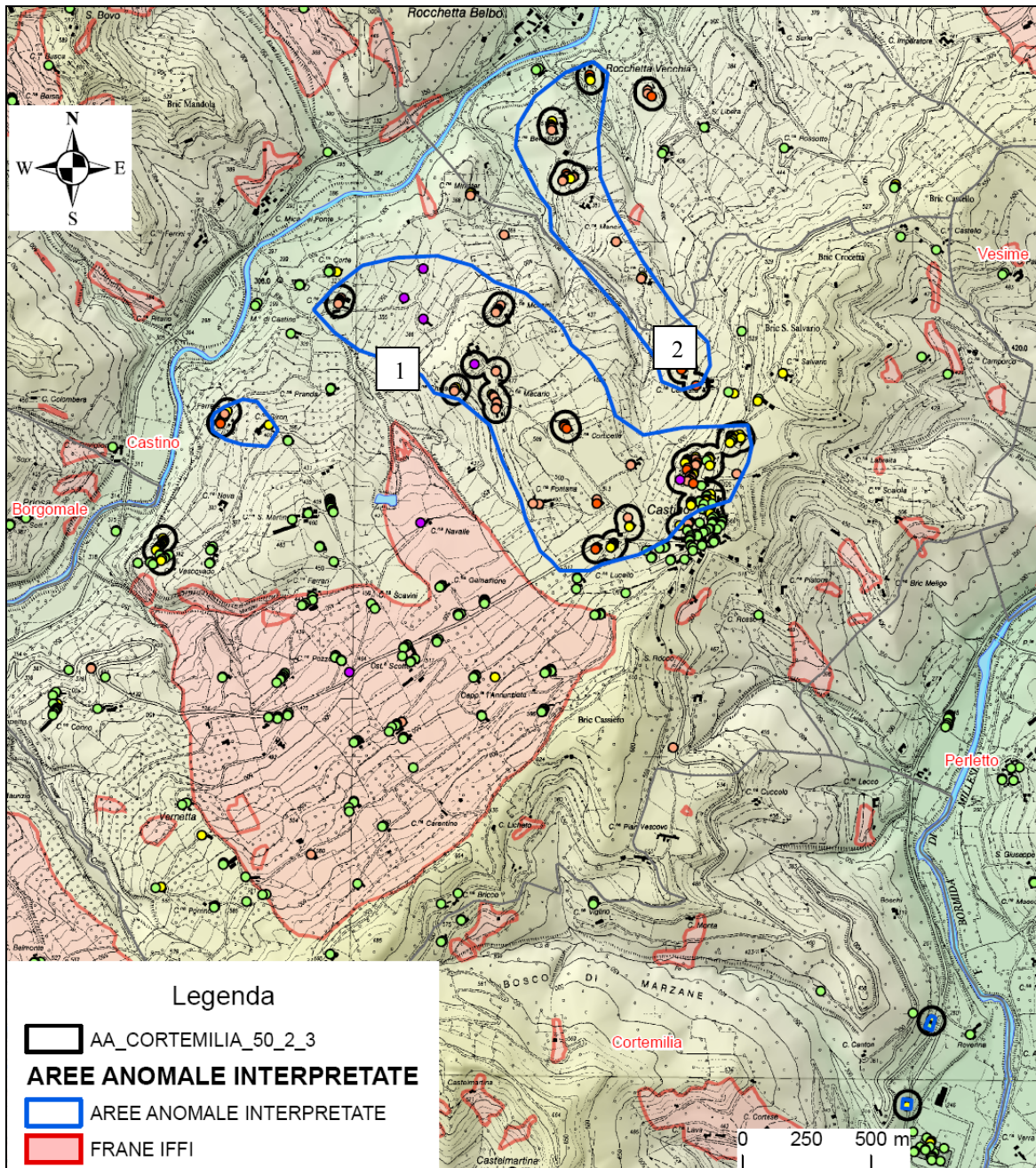


Fig. 3. 38. Esempio di aggregazione di aree anomale automatiche/1 – comune di Castino (CN) ambiente Langhe –Nelle zone 1 e 2 tutte le aree si trovano nelle medesime condizioni morfologiche, geologiche e le velocità dei PS sono abbastanza omogenee per cui si può ipotizzare che la causa sia imputabile ad un unico fenomeno.

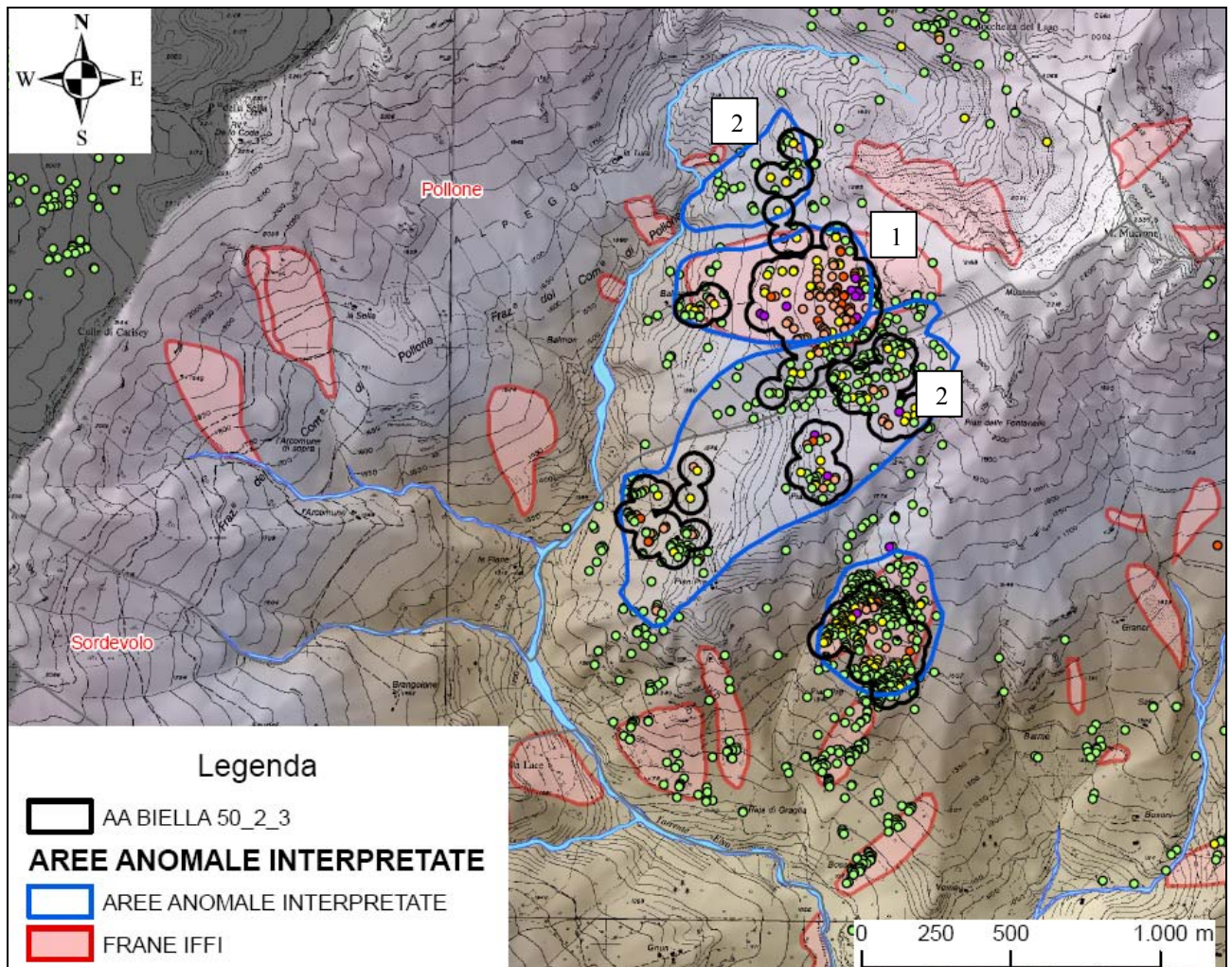


Fig. 3. 39. Esempio di aggregazione di aree anomale automatiche/2 – Comuni di Sordevole e Pollone (BI) in ambiente Alpino - Le aree anomale automatiche non sono state sempre aggregate, e in alcuni casi un'area anomala automatica è stata separata in due aree interpretate diverse; nella figura per esempio è presente una zona (1) con movimenti molto elevati in corrispondenza di una frana (DGPV del M. Mucrone), i settori attigui (2) hanno movimenti disomogenei imputabili al detrito di versante.

Pianura:

- selezione delle aree anomale con rapporto tra PS in movimento e PS totali superiore almeno al 20% (Fig.3.40, 3.41, 3.42, 3.43, 3.44, 3.45);
- aggregazione manuale delle aree anomale selezionate e considerate appartenenti allo stesso processo geologico (aree anomale “interpretate”) (Fig.3.40).

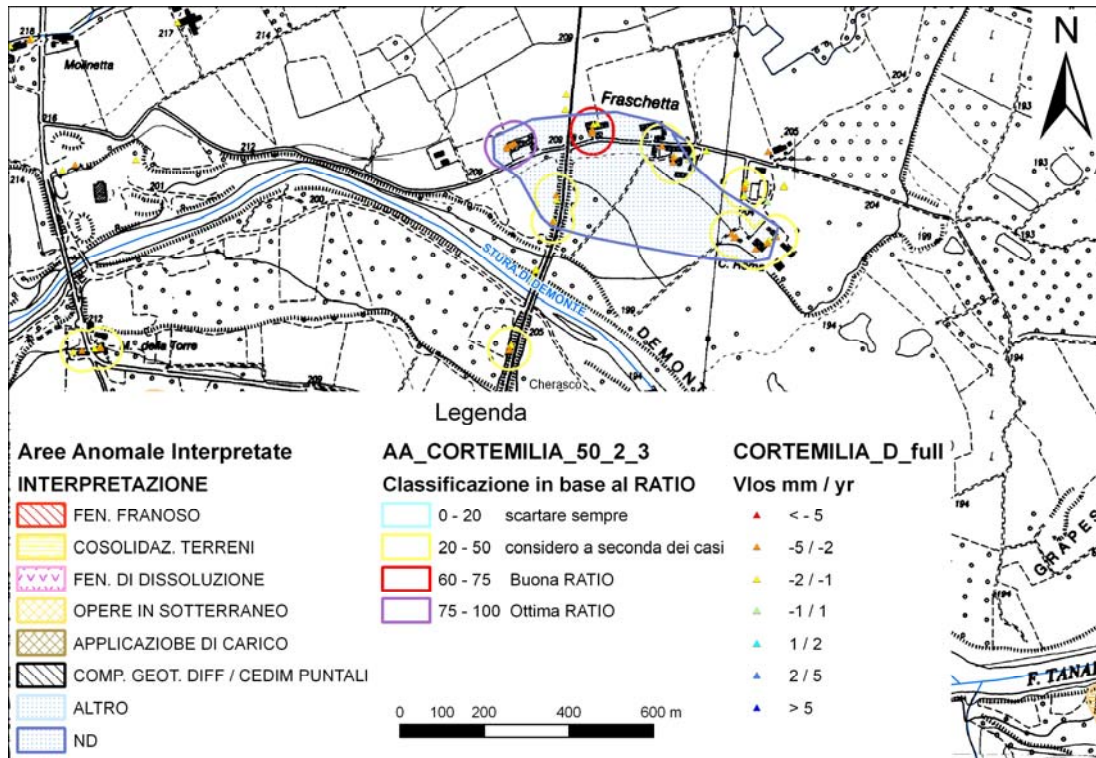


Fig. 3. 40. Aree anomale automatiche con diverso rapporto tra PS in movimento e PS stabili (RATIO) (comune di Cherasco).

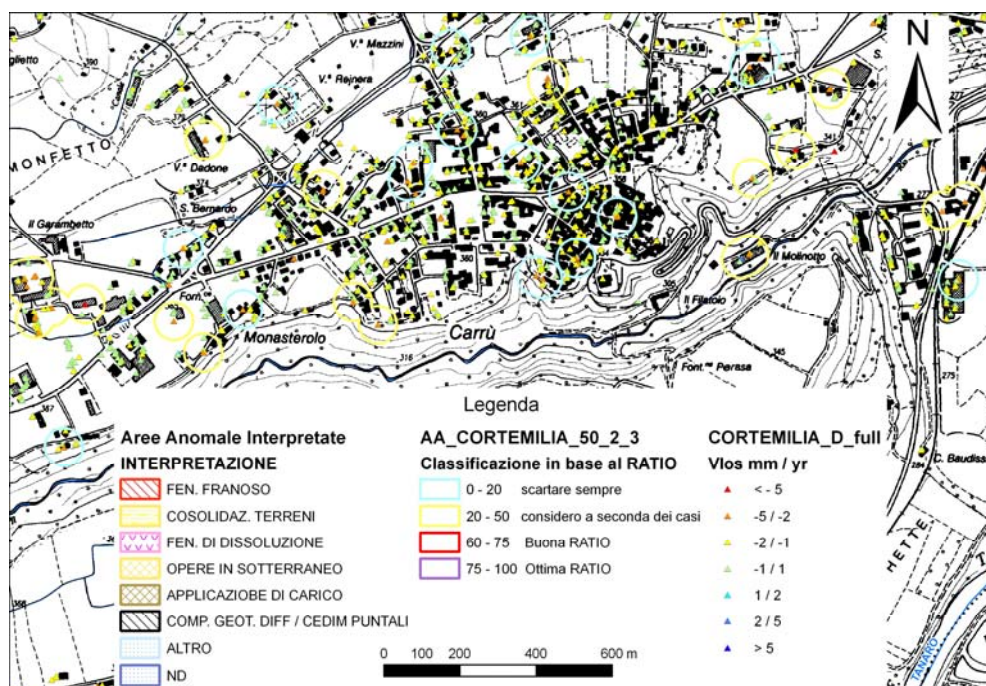


Fig. 3. 41. Esempio di aree anomale scartate (comune di Carrù).

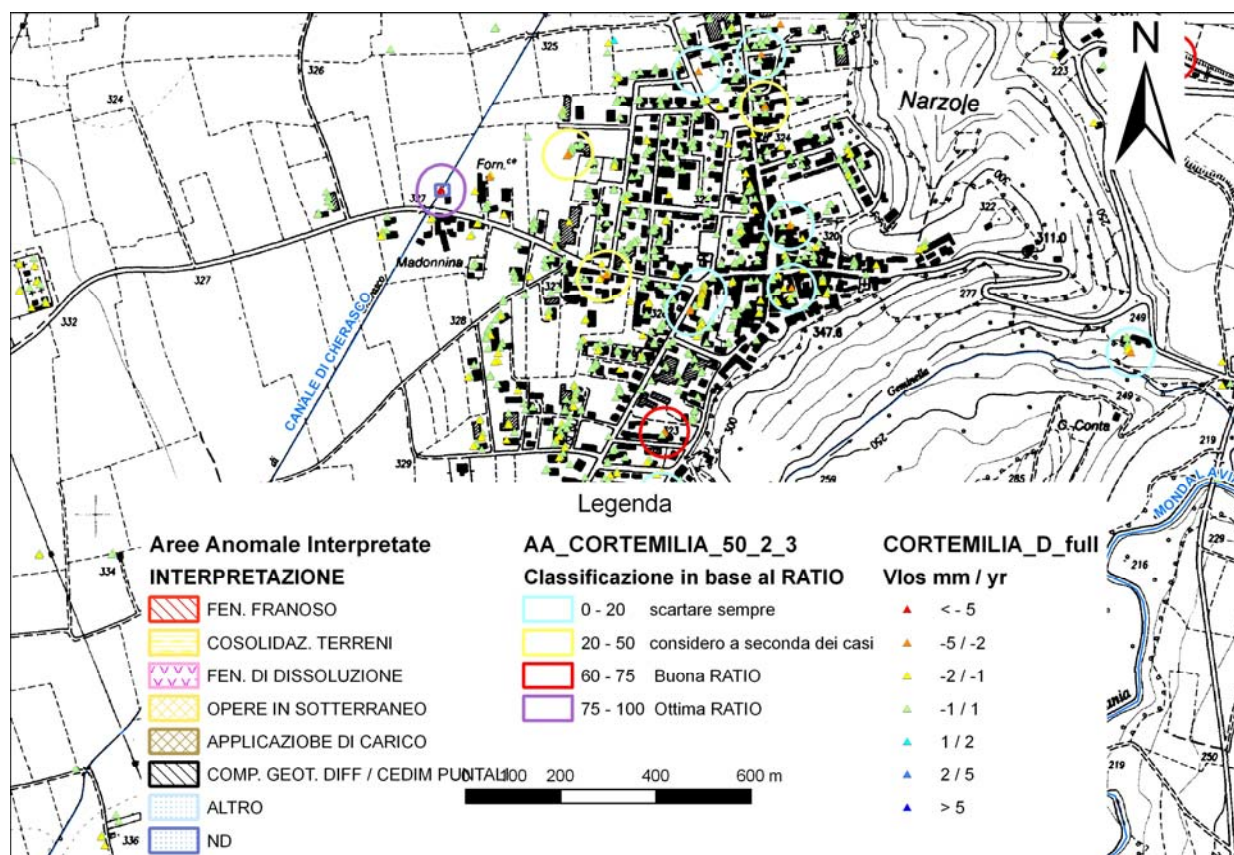


Fig. 3. 42. Esempio di aree anomale scartate (comune di Narzole).

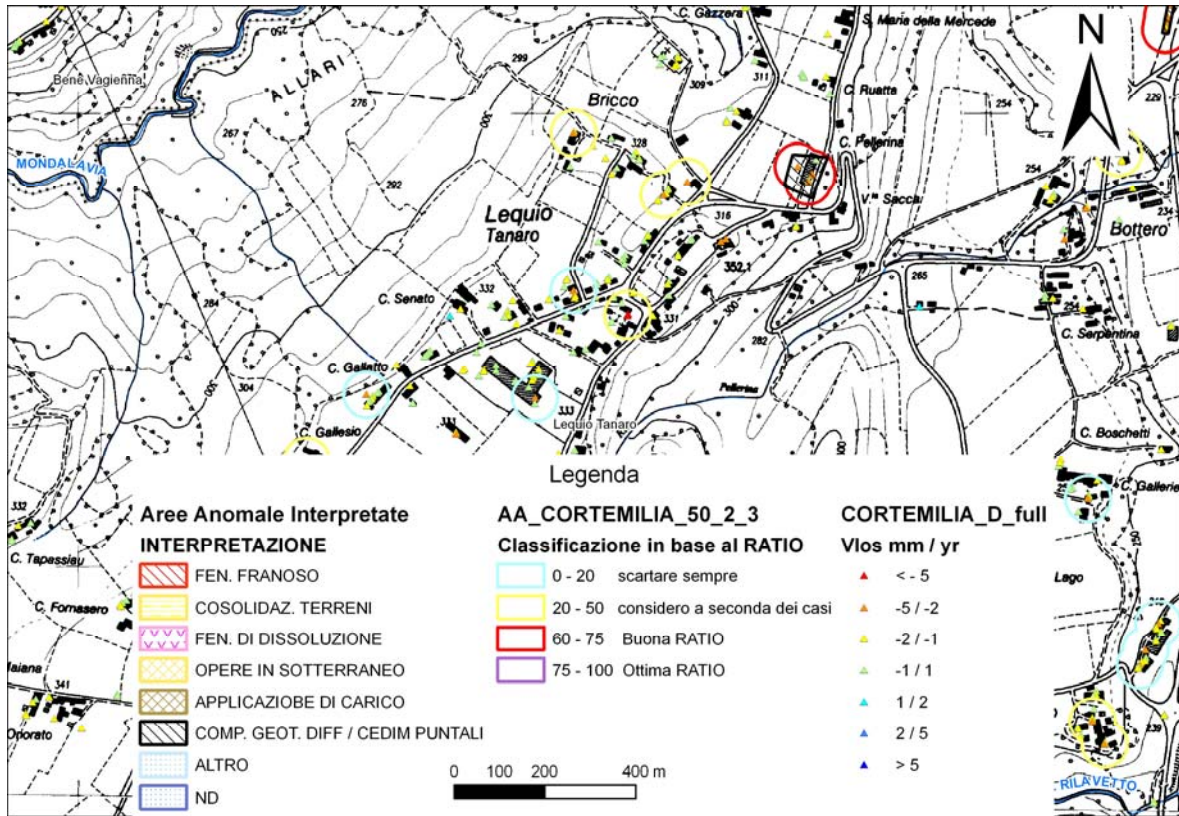


Fig. 3. 43. Esempio di aree anomale in parte scartate ed in parte selezionate (comune di Lequio Tanaro).

ESEMPI DI AGGREGAZIONE IN AREE DI PIANURA



Fig. 3. 44. Esempio di aggregazione di aree anomale automatiche/3 – Comune di Alessandria ambito urbano - Le aree anomale in genere corrispondono a fenomeni molto puntali (singolo edificio), l'area automatica mostra dimensioni molto maggiori della zona dove c'è effettivo movimento, di norma le aree interpretate sono molto più ridotte dell'area originale e non vengono fatte aggregazioni .

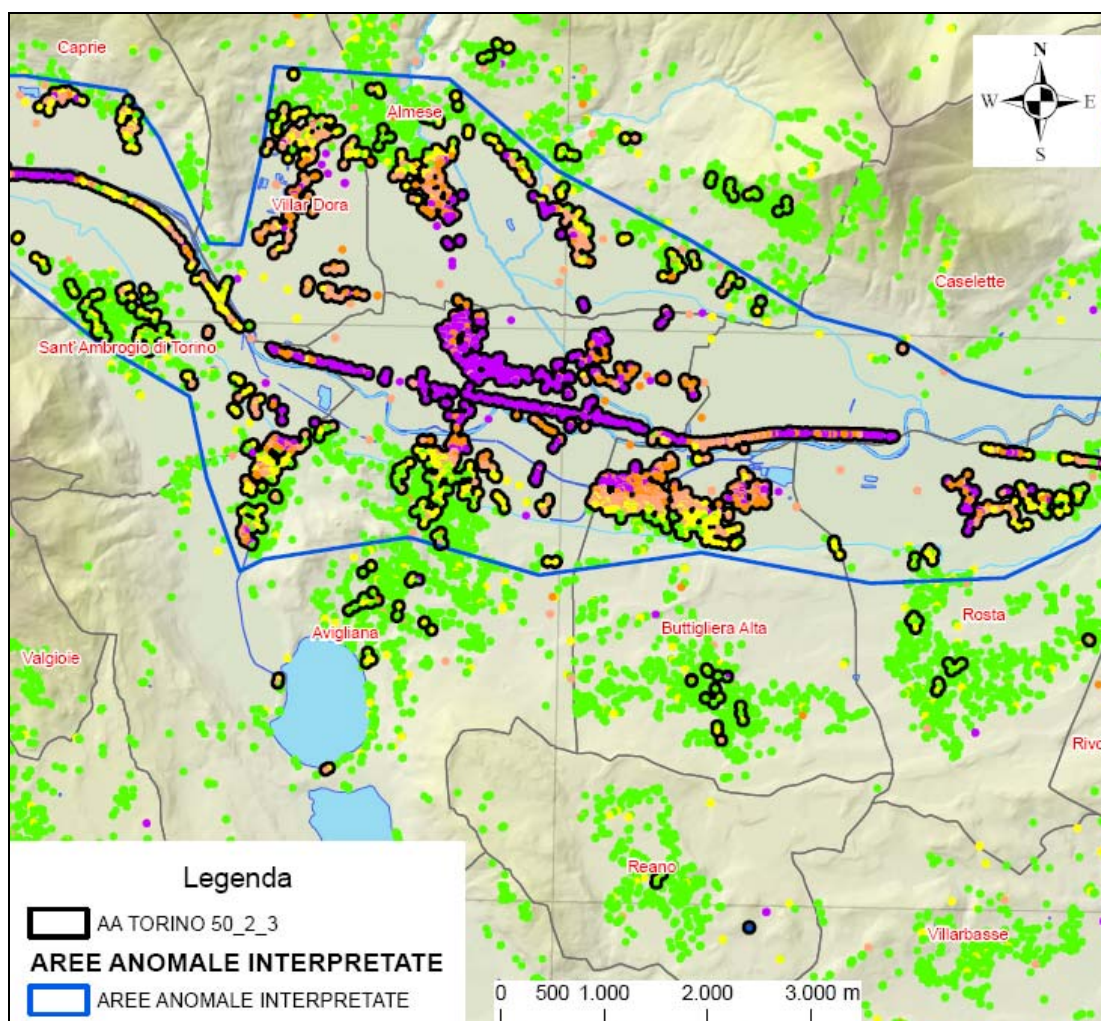


Fig. 3. 45. Esempio di aggregazione di aree anomale automatiche/4 - Bassa valle Susa (TO) – in aree di fondovalle o di pianura l’aggregazione viene fatta solo se i fenomeni di abbassamento sono diffusi e se sono imputabili ad un’ unica causa

Le aree anomale manuali interpretate sono raccolte nelle shapes aree_anomale a cui è associata la seguente tabella (Tab.3.3):

IDPS	Identificativo area anomala
COUNT_ANOM	numero di PS all'interno dell'area anomala con velocità superiore alla soglia di movimento
COUNT	numero di PS all'interno dell'area anomala
RATIO	$(\text{COUNT_ANOM} / \text{COUNT}) * 100$
VEL_MAX	Velocità massima (positiva) dei ps presenti nell'area anomala
VEL_MIN	Velocità minima (negativo) dei ps presenti nell'area anomala
VEL_MEAN	Velocità media dei ps presenti nell'area anomala
VEL_STD	Deviazione standard della velocità dei ps presenti nell'area anomala
COH_MAX	Coerenza massima dei ps presenti nell'area anomala
COH_MIN	Coerenza minima dei ps presenti nell'area anomala
COH_MEAN	Coerenza media dei ps presenti nell'area anomala
AMBIENTE	Codice ambiente geomorfologico (vedi <i>diz_ambienti</i> del DB)
MORFOLOGIA	Codice posizione dell'area anomala (vedi <i>diz_posizione</i> del DB)
METODO	-----
INTERPRETA	Codice Interpretazione del fenomeno (vedi <i>diz_processo</i> del DB)
dataset	Nome del dataset dei PS utilizzato per creare l'area
AREA	.m ²
XCENTER	Coordinata Est del centroide del Poligono (UTM)
YCENTER	Coordinata Nord del centroide del Poligono (UTM)
COD_LITO	Codice litologia tratta dalle unità giacimentologiche (ARPA) (vedi <i>diz_lito</i> del DB)
COD_CORINE	Codice uso del suolo tratta dal CORINE (vedi <i>diz_uso_suolo</i> del DB)
ARLITO_COD	Codice unità litologica tratta tratta dall'ARLITO (ARPA) (vedi <i>diz_geoo</i> del DB)
SLOPE	Pendenza in gradi
ASPECT	Esposizione in gradi
IFFI	0= non in frana; 1 = area in frana IFFI; 2= area classificata come frana ma non in IFFI
Z	Quota media dell'area anomala (m s.l.m)

Tab.3. 3.

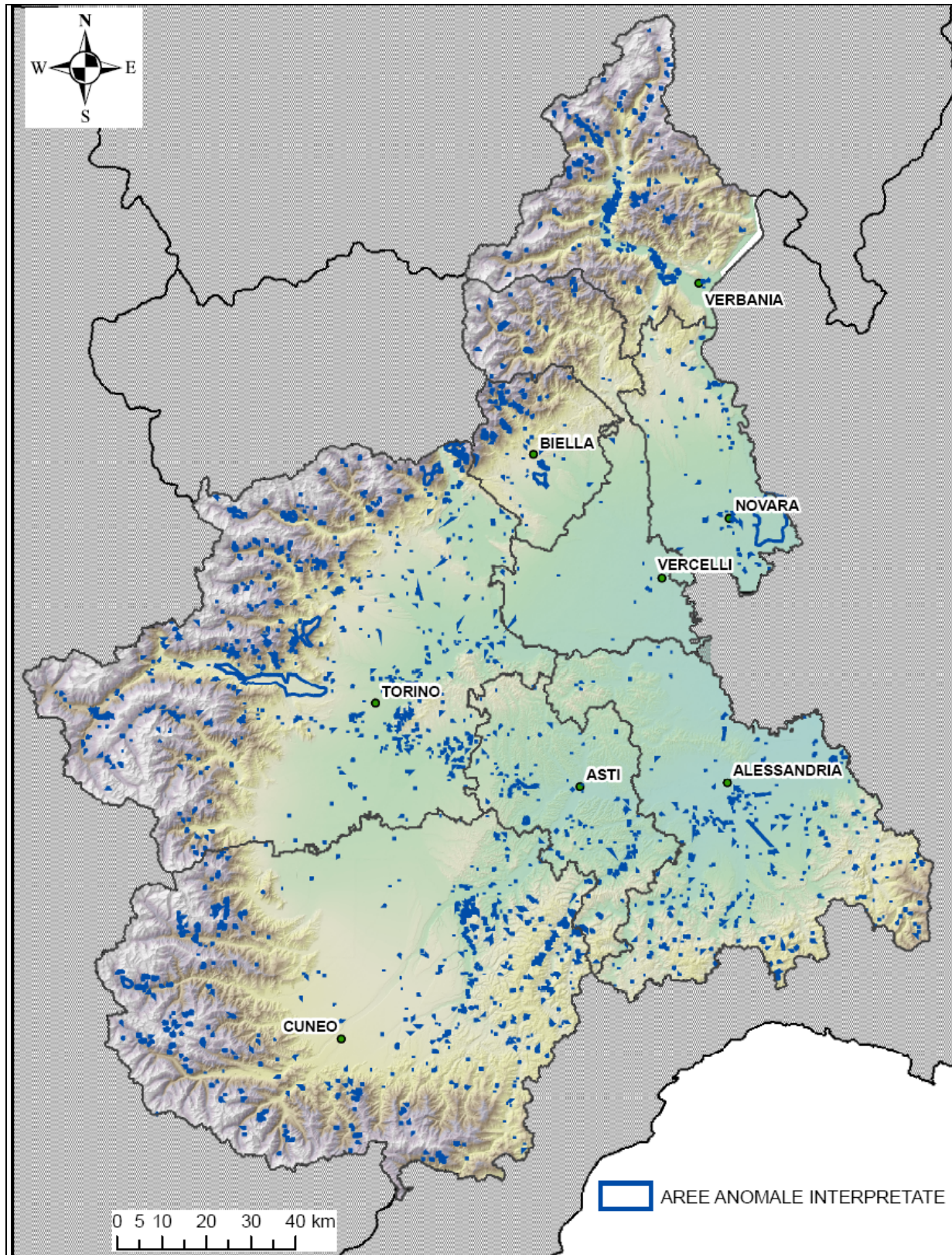


Fig. 3. 46. Aree anomale interpretate

3.2. 2° FASE: INTERPRETAZIONE PRELIMINARE DEI RISULTATI PSInSAR

Questa fase della metodologia comprende le seguenti attività:

1. analisi della tipologia dei movimenti possibili nei vari contesti geologici e geomorfologici della Regione Piemonte;
2. sviluppo di un metodo di interpretazione preliminare a scala regionale;
3. sviluppo e la compilazione di un database riguardante le aree anomale

3.2.1. Analisi della tipologia dei movimenti possibili nei vari contesti geologici e geomorfologici della Regione Piemonte

L'interpretazione dei settori "anomali" definiti nella fase precedente dipende dalla tipologia di fenomeno, che a sua volta è funzione della velocità e del tipo di movimento (lineare e non).

Le cause dei movimenti sono state suddivise in:

1. attività neotettonica e sismica
2. fenomeno franoso
3. subsidenza naturale per consolidazione di terreni recenti sottoconsolidati o per la presenza di terreni "problematici"
4. subsidenza naturale connessa a fenomeni di dissoluzione di rocce carbonatiche o evaporitiche
5. subsidenza indotta da estrazione di fluidi dal sottosuolo
6. subsidenza indotta da attività sotterranea (scavi per gallerie, attività mineraria)
7. subsidenza indotta da applicazioni di carichi (costruzioni, grandi opere) su superfici estese
8. comportamento geotecnico differenziale del terreno di fondazione e problemi strutturali
9. detrito di versante

Per ognuno dei fenomeni sopra elencati vengono forniti nelle pagine seguenti:

- 1) la scala del fenomeno (regionale, locale, puntuale);
- 2) l'ambito geologico-geomorfologico della Regione Piemonte in cui può essere riscontrato;
- 3) la velocità;
- 4) il tipo di movimento (orizzontale, verticale, lineare, non lineare);
- 5) le informazioni e i prodotti che si possono ottenere dall'applicazione della tecnica PS InSAR (analisi standard) allo studio del fenomeno (informazioni qualitative e quantitative, carte, ecc...);
- 6) i limiti dell'applicazione della tecnica PSInSAR.

Occorre tenere presente che i fenomeni, che causano i movimenti si possono anche sovrapporre a scale diverse, per cui l'interpretazione dei dati interferometrici può risultare difficile a causa dell'influenza di diverse componenti del movimento non sempre chiaramente distinguibili (Fig.3.47): richiamo di terreno da parte dei movimenti franosi attivi, fenomeno di ritiro-rigonfiamento della copertura argillosa, fattori geotecnici e topografici; condizioni di fondazione e caratteristiche strutturali dei fabbricati.

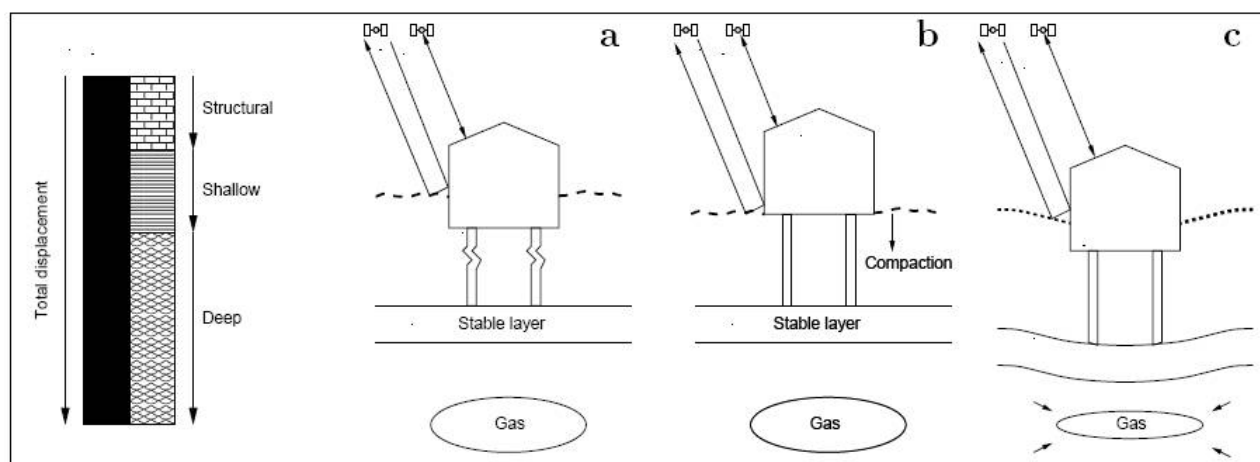


Fig. 3. 47. Esempio della scomposizione dello spostamento misurato dovuto a differenti cause: a) strutturali (fondazioni), b) consolidamento del terreno, c) estrazioni di gas (Ketelaar et al., 2006).

La fase di interpretazione dei dati PSInSAR può essere inoltre condizionata da una serie di fattori (TerraFirma, 2003; Dehls, 2004):

- **Localizzazione e densità dei Permanent Scatterers**

La quantità e la localizzazione dei permanent scatterers non possono essere previste prima della fase di processamento; un buon diffusore permanente dipende dalle proprietà dielettriche del materiale che costituisce il bersaglio e dalla geometria delle superfici in relazione al satellite. In un'area urbana ci si può aspettare alcuni centinaia di punti per chilometro quadrato, tuttavia questa densità diminuisce considerevolmente in ambienti rurali e soprattutto in aree a bosco.

- **Copertura del territorio**

Non tutto il territorio si presta all'applicazione della tecnica PSInSAR in relazione a:

- Deformazioni prospettiche (Tab.3.4) legate alla geometria di acquisizione del satellite: i versanti paralleli alla direzione di vista del sensore non sono analizzabili; vi sono sensibili distorsioni prospettiche dei pendii ad elevata energia di rilievo; alcuni versanti non sono illuminati in quanto coperti da altri;
- Aree vegetate;
- PS temporanei (strutture in costruzione o in ristrutturazione durante il periodo di monitoraggio satellitare);
- Moti veloci;
- Moti non lineari.

Assessment of suitability of ERS data for recognition of geological features through SAR image interpretation and for ground displacement monitoring via SAR interferometry, with reference to slope aspect and inclination (given the average incidence angle, or both the near and far range incidence angles, it is straightforward to adapt the table also to different radar sensors)

Slope aspect	Ascending ERS passes	Descending ERS passes	Notes
Slope facing East	Enhanced range resolution if $ \alpha < 67^\circ$ Shadow if $ \alpha > 67^\circ$	Foreshortening if $ \alpha < 23^\circ$ Layover if $ \alpha > 23^\circ$	Only ascending data suitable for SAR interferometry and feature extraction by means of image interpretation. Slopes exceeding 67° are not covered. 1D LOS deformation data.
Slope facing West	Foreshortening if $ \alpha < 23^\circ$ Layover if $ \alpha > 23^\circ$	Enhanced range resolution if $ \alpha < 67^\circ$ Shadow if $ \alpha > 67^\circ$	Only descending data suitable for SAR interferometry and feature extraction by means of image interpretation. Slopes exceeding 67° are not covered. 1D LOS deformation data.
Slope facing North or South	–	–	Both ascending and descending data are suitable for interferometry and feature extraction by means of image interpretation. 2D deformation analysis feasible. Low system sensitivity with respect to translational displacements along the North–South direction.

Tab.3. 4.

- **Movimenti relativi**

I valori dei tassi di deformazioni sono relativi ad un punto di riferimento scelto arbitrariamente e assunto come stabile.

- **Riflessioni multiple**

Una componente del movimento dei PS può essere costituita dalle riflessioni dagli edifici o da riflessioni multiple (e.g. dal satellite alla pavimentazione, all'edificio, a un altro edificio e quindi di nuovo al satellite). Questi fenomeni dovrebbero essere presi in considerazione, specialmente quando si studiano punti singoli o spuri.

- **Distanza dal punto di riferimento**

La deviazione standard dell'errore della misura della velocità aumenta con l'aumentare della distanza dal punto di riferimento. Il punto di riferimento può anche essere distante dall'area di studio.

- **Velocità lungo la LOS**

La velocità data è misurata lungo la linea di vista del satellite (LOS), che è in media inclinata di 23° rispetto alla verticale. Se il movimento reale non avviene lungo la LOS la velocità misurata dal PS è sottostimata rispetto a quella reale, specialmente nel caso in cui la componente orizzontale del movimento è importante.

- **Spostamenti con velocità elevate**

Bersagli con velocità tali da subire spostamenti superiori ad un quarto di lunghezza d'onda (1,4 cm in banda C) tra due acquisizioni successive non vengono individuati come PS.

- **Movimenti non lineari**

L'analisi standard suppone l'esistenza di movimenti lineari, in presenza di spostamenti che non seguono il modello lineare si hanno forti perdite di coerenza che possono portare alla perdita del PS. Quando si ipotizza la presenza di movimenti non lineari occorre modificare l'algoritmo utilizzato, per esempio attraverso l'applicazione di modelli polinomiali o una riduzione dei valori della soglia di coerenza. L'adozione di modelli

diversi dal lineare comporta tuttavia un notevole calcolo computazionale che rende possibile la loro applicazione solo nel caso di studi di dettaglio, limitati ad un'area circoscritta.

- **Differente filosofia di misura rispetto al monitoraggio tradizionale**

I punti di monitoraggio convenzionali in situ sono posizionati strategicamente sulla base di alcuni parametri quali il facile accesso del sito, la ripetibilità della misura, ecc...; nella tecnica PSInSAR la localizzazione dei PS dipende dalla disponibilità di immagini SAR (temporal sampling) e dalla presenza di bersagli radar (spatial sampling).

1) Attività neotettonica e sismica

Scala del fenomeno: regionale

Ambiti geologico-gemorfologici: pianura alluvionale, aree collinari e montane.

Velocità: generalmente estremamente basse ($<+1$ mm/yr). Tali movimenti richiederebbero il confronto con altri dati da terra (livellazioni ottiche, GPS).

Tipo di movimento: lineare, movimenti orizzontali e verticali

Informazioni

- Identificazione aree in sollevamento o in abbassamento (informazioni qualitative)
- Identificazione scarpate di faglia

Prodotti:

- Curve di isovelocità ottenute dall'interpolazione dei PS.

Limiti

- difficoltà nel distinguere la componente dovuta all'errore di precisione delle velocità (per il Piemonte $\pm 0.1 \div 2$ [mm/anno] per un PS distante meno di 2 km dal punto di riferimento ed in caso di dataset composto da almeno 50 immagini)

Esempi da letteratura:

Gli esempi descritti in letteratura si riferiscono a fenomeni con un'elevata velocità di movimento in regioni caratterizzate da faglie sismicamente attive e alti tassi di deformazione tettonica (i.e. Baia di San Francisco) (Burgmann et al.; Colesanti et al., 2001; Colesanti et al., 2003; Ferretti et al., 2000; Ferretti et al., 2004; Hilley et al., 2004). In tutti i casi gli Autori hanno utilizzato dati di monitoraggio da terra (GPS, livellazioni ottiche) a confronto dei dati PSInSAR, ottenendo una buona corrispondenza.

L'applicazione della tecnica in zone asismiche caratterizzate da movimenti neotettonici non ha finora permesso di individuare i movimenti in quanto caratterizzati da spostamenti estremamente bassi, tali da rientrare nell'ordine di grandezza dell'errore di precisione della velocità (Dehls, 2006).

2) Fenomeni franosi

Scala del fenomeno: regionale, locale

Ambiti geologico-geomorfologici: zona collinare e montana.

Velocità: velocità lente e lentissime, generalmente inferiori a 5-6 cm/yr. Movimenti di versante veloci o comunque caratterizzati da un'attività impulsiva o discreta nel tempo, difficilmente possono avere riscontro dall'analisi dei movimenti dei PS.

Tipo di movimento: movimenti traslazionali (lungo pendio) e/o rotazionali (verticali), in genere non lineari

Informazioni

- A scala regionale
 - Distinzione tra aree stabili e non stabili
 - Stato di attività dei fenomeni franosi relativamente al periodo di monitoraggio 1992-2001.
- A scala locale
 - Identificazione di settori di una frana caratterizzati da movimenti locali differenziali, individuabili solo attraverso una fitta rete di strumentazione
 - Cinematismo della frana: per movimenti di tipo rotazionale si osserva generalmente un'inversione del segno della velocità (abbassamento nella parte superiore, sollevamento nella parte inferiore) (Colesanti et al., 2003; Colesanti & Wasowski, 2006)
 - Entità del movimento, soprattutto in frane molto lente con movimenti ai limiti della scala di misura degli strumenti di monitoraggio tradizionali
 - Analisi di segni precursori (previsione delle deformazioni)

Prodotti:

- Carta inventario dei fenomeni franosi (a grande scala), con possibilità in futuro di aggiornamenti periodici;
- Monitoraggio di singoli fenomeni franosi, attraverso il confronto dei dati di monitoraggio e le serie storiche;
- Definizione di settori omogenei dal punto di vista cinematico (aree con medesimi tassi di deformazione), soprattutto in corrispondenza di grandi frane;

Limiti

- non tutto il territorio si presta all'applicazione della tecnica PSInSAR in relazione alla geometria di acquisizione del satellite: i versanti paralleli alla direzione di vista del sensore (all'incirca E-W) non sono analizzabili; vi sono sensibili distorsioni prospettiche dei pendii ad elevata energia di rilievo; alcuni versanti non sono illuminati in quanto coperti da altri; un altro fattore limitante è la presenza di vegetazione;
- capacità di apprezzare deformazioni 1D solamente lungo la direzione di linea di vista del satellite; da ciò deriva una ottimale applicabilità del metodo nel caso di fenomeni franosi caratterizzati da movimenti subverticali, con componenti principali in direzione Est-

Ovest; per contro, la tecnica non è adeguatamente applicabile nel caso di fenomeni franosi caratterizzati da movimenti essenzialmente suborizzontali, che vengono sottostimati, o con componenti principali in direzione Nord-Sud;

- numero a volte limitato di PS che cadono in aree in frana (bassa densità di PS in ambiente alpino e rurale in assenza di strutture antropiche o roccia affiorante);
- l'interpretazione dei risultati interferometrici, in termine di evoluzione temporale delle deformazioni é anche condizionata dal numero limitato di aree monitorate da terra (e.g. inclinometri, livellazioni topografiche) nel periodo 1992-2000;
- fenomeni franosi caratterizzati da movimenti relativamente rapidi o da spostamenti di entità superiore a 1,0 cm tra acquisizioni satellitari successive, in assenza di informazioni integrative derivanti da sistemi di monitoraggio complementari o alternativi, non sono attendibilmente monitorabili soltanto con il metodo dei *Permanent Scatterers*;
- i fenomeni a cinematica impulsiva, caratterizzati, cioè, da brevi fasi di attività, per lo più legate a eventi meteorologici intensi, intervallati da lunghi periodi di quiescenza, non appaiono particolarmente adatti ad essere monitorati con questa tecnica, soprattutto quando movimenti di entità centimetrica sono concentrati in pochi giorni;
- al contrario dei sistemi di monitoraggio convenzionale la posizione dei PS non può essere scelta;
- gli spostamenti superficiali nel tempo lungo un pendio non necessariamente sono causati da movimenti franosi. L'interpretazione delle deformazioni misurate dai PS lungo un pendio urbanizzato (quindi da bersagli radar costituiti da strutture antropiche) é complicato in quanto il movimento può derivare da differenti processi naturali e antropici che riflettono dei meccanismi di deformazione complessi. Di conseguenza, eccetto che per i PS naturali corrispondenti a roccia esposta, senza un'appropriata campagna sul terreno, differenti interpretazioni possono essere fornite ad uno spostamento misurato dai PS:
 - ammaloramento delle strutture antropiche
 - cedimento di strutture ingegneristiche
 - variazioni volumetriche del terreno
 - subsidenza o sollevamento per cause naturali o antropiche
 - deformazioni lungo il pendio molto lente che non conducono alla rottura (creep stagionale o continuo dovuto a fenomeni di stress relief)
 - fenomeni di dissoluzione dei gessi.

Per i fenomeni franosi occorre fare una distinzione anche in relazione alla tipologia di dissesto presente nel territorio della Regione Piemonte, dalla quale dipendono la velocità, i cinematismi e l'estensione areale. Escludendo i cinematismi veloci (e.g. soil slip) si possono distinguere:

- grandi frane (DGPV): sono caratterizzate da estensione areale $> 0,2 \text{ km}^2$, da movimenti lenti, continui e complessi (traslazioni, rotazioni, ecc...) con occasionali accelerazioni; si possono riscontrare nelle Alpi e nell'Appennino;
- Frane di scivolamento planari (zona delle Langhe);
- Frane di colamento lento (Appennino piemontese);

Esempi da letteratura

Gli esempi riportati in letteratura si riferiscono generalmente a:

1) Studi a scala regionale, sub-regionale: sono finalizzati all'aggiornamento della carta inventario dei fenomeni franosi. Alcuni esempi sono riportati di seguito. In generale emerge che:

- un ridotto numero di dissesti censiti che contengono PS (7% per il Bacino del F. Arno e l'Oltrepo pavese, 23% per l'area genovese spezzina);
- PS con velocità di spostamenti non nulle corrispondenti a manufatti ubicati sul versanti non necessariamente devono essere ritenuti indizi della presenza di una frana attiva, andrebbero infatti analizzate anche le condizioni dell'edificio e del terreno di fondazione.

Catani et al., 2005; Farina et al., 2006: la tecnica è stata applicata in un'area appenninica, ovvero il Bacino del F. Arno (9131 Km²). La procedura seguita per l'aggiornamento della carta inventario è stata condotta su ogni singolo comune del bacino dell'Arno, attraverso la sovrapposizione in ambiente GIS dei dati InSAR con il preesistente inventario delle frane e con tutti i dati ancillari a disposizione. Nella fase interpretativa la presenza di Permanent Scatterers all'interno di aree già mappate in frana, ha portato, nel caso di accordo tra stato di attività (attiva, quiescente, inattiva stabilizzata) e velocità media dei PS (presenza o meno di movimento negli intervalli temporali 1999-2002 e 1992-2002), ad un aggiornamento degli attributi del poligono con l'aggiunta delle velocità di movimento riscontrata, oppure, nel caso di disaccordo, è stata valutata la possibilità di modificare lo stato di attività della frana. Nel caso di Permanent Scatterers in movimento vicino ad aree mappate in frana, l'accordo tra stato di attività e la velocità media dei PS ha permesso l'ampliamento dei limiti del poligono di frana per comprendere l'area interessata dai PS, mentre il disaccordo ha dato la possibilità di creare un nuovo poligono di frana indipendente. Infine il caso di Permanent Scatterers in movimento, ma lontani da aree in frana, ha portato alla generazione di un nuovo poligono di frana supportato da evidenze morfologiche e vegetazionali. L'applicazione della tecnica è stata limitata da alcuni fattori, quali la bassa densità di PS (36 PS/km²), e dal conseguente fatto che i PS ricadono solo sul 7% delle frane mappate dalla carta inventario.

Meisina et al., 2006: la tecnica PS è stata applicata nell'area dell'Oltrepo Pavese (1100 Km²), in ambiente appenninico. Nonostante il ridotto numero di PS che ricade in aree in frana (7 %), è stato possibile apprezzare spostamenti anche in aree in frana dove la fotointerpretazione e l'analisi di terreno non evidenziano particolari indicatori di movimento e che pertanto sono state considerate, in assenza di tale informazione, stabilizzate nella carta inventario. In altri casi, sono stati identificati dei movimenti in aree considerate non in frana dagli inventari di dissesto esistenti (aree in lento movimento ma senza evidenze sul terreno di tali deformazioni). Non è tuttora accertato, ma non è escluso, che in alcuni casi tali movimenti possano essere interpretabili come precursori d'evento sul lungo termine. Alcuni di questi movimenti sono soprattutto evidenti all'esterno dei perimetri di frana (attiva, quiescente), si tratta in questo caso di fenomeni di deformazione lenta del pendio, alla sommità del versante e localmente in fondovalle, non rilevabili dal punto di vista geomorfologico ma segnalati anche dal dissesto di diversi fabbricati. Nelle zone di bordo delle placche arenacee i risultati del monitoraggio satellitare evidenziano importanti movimenti di abbassamento e sembrano confermare l'ipotesi dell'esistenza probabili fenomeni di espansione laterale

Bottero et al., 2006: la tecnica PSInSAR è stata applicata all'area della Provincia di Genova e La Spezia (circa 1000 km²). Circa il 23% dei dissesti censiti nell'inventario IFFI contengono PS. Le considerazioni emerse dallo studio sono le seguenti:

- la maggior parte dei bersagli radar corrispondono ad edifici che evidenziano deformazioni e/o lesioni,
- a parità di velocità di spostamento le reazioni registrate sulle costruzioni in pietra e prive di fondazioni sono molto più marcate rispetto a quelle evidenziate da edifici in c.a. di costruzione più recente, nel caso di questi ultimi gli autori hanno addirittura osservato l'assenza di cedimenti in presenza di velocità di spostamento di 3-5 mm/anno;
- oltre alle caratteristiche strutturali dei manufatti anche la loro geometria rivela un ruolo non secondario nel determinare la presenza di lesioni (il quadro fessurativo tende ad aggravarsi all'aumentare dell'asimmetria delle costruzioni).

2) studi sulla singola frana: costituiscono attualmente la maggior parte dei casi riportati in letteratura (Colesanti *et al.* 2003; Colesanti & Wasowski 2004, 2006; Farina *et al.* 2004; Hilley *et al.* 2004; Ferretti *et al.* 2005, ecc.). In molti casi gli autori hanno utilizzato l'analisi advanced. Emergono le seguenti considerazioni:

- la velocità misurata dalla tecnica PSInSAR è lungo LOS e quindi vi è la necessità di trasformarla in velocità lungo il pendio (vedi proposta Colesanti e & Wasowski o Hilley *et al.*);
- non sempre nell'intero periodo 1992-2000 sono disponibili dati di monitoraggio da terra, alcune volte di conseguenza il confronto viene fatto tra le serie storiche dei bersagli radar ed i dati da terra riferiti o ad un periodo temporale inferiore o addirittura ad un periodo successivo (posteriore al 2000);
- nella maggior parte dei casi emerge una buona capacità della tecnica PSInSAR ad individuare aree caratterizzate da diversa magnitudo di spostamento.

3) Subsidenza naturale per consolidazione di terreni recenti sottoconsolidati o per la presenza di terreni “problematici” (torbe, terreni collassanti o soggetti al ritiro-rigonfiamento)

Si tratta di fenomeni di subsidenza dovuti alla naturale consolidazione di materiale di recente deposizione e quindi poco consolidato (es. limi di ambiente lacustre) o causati dalla presenza dei cosiddetti terreni “problematici” tra cui vi sono le torbe ed i terreni collassanti (limi spesso di origine eolica).

Particolare attenzione presenta un fenomeno poco conosciuto quale il ritiro-rigonfiamento dei terreni argillosi (terreni costituiti da più del 30 % di particelle di dimensioni inferiori ai 2µm) principalmente legato alle variazioni del loro contenuto d'acqua.

La *litologia* costituisce il fattore più importante. I terreni maggiormente suscettibili al ritiro-rigonfiamento sono costituiti, in buon accordo con la composizione mineralogica (presenza di minerali argillosi a reticolo espandibile), da:

- litotipi argillosi o a matrice argillosa con un potenziale di ritiro/rigonfiamento molto alto; marnosi o marnoso-calcarei con intercalazioni argillose con un'alta predisposizione alle variazioni di volume,
- coltri eluvio-colluviali, loess colluviati nonché suoli su depositi alluvionali antichi.

Nelle aree di pianura le *oscillazioni del livello della falda* (direttamente legate alle variazioni climatiche o a fattori antropici), sia a ciclo annuale che pluriennale, causano il rigonfiamento o il ritiro di un orizzonte di terreno, se rispettivamente, il livello si innalza o si deprime. Le periodiche variazioni del tenore in acqua, legate alle oscillazioni del livello della falda, sono causa di ciclici processi di rigonfiamento e ritiro nel terreno.

Le *variazioni climatiche* giocano un ruolo fondamentale nei processi di ritiro-rigonfiamento. Nei nostri climi temperati la profondità della zona interessata dalle variazioni del contenuto d'acqua (“zona attiva”) non supera 2 m ma può raggiungere 3 -5 m nel caso di periodi di siccità eccezionale, quale quello tra Maggio 1998 e Settembre 2000.

Scala del fenomeno: locale, puntuale

Ambiente geologico-geomorfologico: zona di pianura, zona collinare.

Velocità: lente (attenzione terreni collassanti).

Tipo di movimento: prevalentemente verticale (dipende anche dalla struttura del suolo), lineare per i terreni sottoconsolidati, altrimenti generalmente non lineare, nel caso del ritiro-rigonfiamento si può distinguere un andamento pluriennale (connesso all'alternarsi di periodi siccitosi e piovosi) e stagionale (andamento sinusoidale).

Informazioni

- Identificazione e mappatura di terreni sottoconsolidati o problematici;
- Identificazione di zone con diversa entità del movimento;
- Misura di deformazioni stagionali associate alle variazioni di volume del terreno;
- Identificazione e quantificazione delle deformazioni del terreno (abbassamenti) correlate al ritiro associato a periodi siccitosi.

Prodotti:

- Curve di isovelocità ottenute dall'interpolazione dei PS
- Tassi di abbassamento
- Correlazione tra serie storiche e dati pluviometrici (in particolare deficit idrico)

Limiti

- I movimenti sono verticali per cui la Vlos sottostima la velocità
- Il fenomeno di ritiro/rigonfiamento ha una componente stagionale, che è difficile da identificare nelle serie storiche dei PS.

Esempi da letteratura:

Gli esempi in letteratura sono piuttosto limitati. Deformazioni di carattere stagionali indotte dalle oscillazioni piezometriche nella zona di San Jose (California) sono stati studiati da Colesanti et al. (2003). Gli autori hanno adottato un modello sinusoidale.

Meisina et al. (2006) hanno sovrapposto la carta dei terreni argillosi soggetti a ritiro-rigonfiamento dell'Oltrepo pavese alla distribuzione dei PS, individuando alcune aree in abbassamento che potrebbero essere connesse al ritiro dei terreni argillosi successivo al periodo siccitoso 1998-2000. L'analisi di tipo advanced condotta su una di queste aree ha permesso di individuare PS non lineari. Le serie storiche di questi ultimi presentano una buona correlazione con la curva del deficit idrico del periodo 1992-2000 e con il quadro e la storia fessurativa degli edifici lesionati.

4) Subsidenza naturale connessa a fenomeni di dissoluzione di rocce carbonatiche o evaporitiche

Si riferisce a fenomeni di subsidenza connessi con dissoluzione chimica di rocce evaporitiche eventualmente presenti nel sottosuolo e non strettamente connessa, pertanto, alla presenza di cavità sotterranee vere e proprie.

Scala del fenomeno: regionale e locale

Ambiti geologico-geomorfologici: pianura alluvionale, fondovalle collinare e montano, Alpi.

Velocità: variabile (lenta nei fenomeni di dissoluzione)

Tipo di movimento: movimenti verticali.

Informazioni

- identificazione aree in abbassamento
- informazioni quantitative (quanto la superficie si abbassa ed in quanto tempo)
- identificazione di aree caratterizzate da diversa magnitudo di abbassamento

Prodotti:

- Tassi di abbassamento

Limiti

- I movimenti sono prevalentemente verticali per cui la V_{LOS} sottostima la velocità.
- Sovrapposizione di movimenti franosi.

5) Subsidenza per estrazione di fluidi dal sottosuolo.

Le cause della subsidenza sono in questo caso artificiali (estrazione nel breve termine di fluidi dal sottosuolo).

Scala del fenomeno: regionale e locale

Ambiti geologico-geomorfologici: pianura alluvionale, fondovalle collinare e montano.

Velocità: variabile

Tipo di movimento: generalmente non lineare (lineare nel lungo termine), movimenti verticali.

Informazioni

- identificazione aree in abbassamento
- informazioni quantitative (quanto la superficie si abbassa ed in quanto tempo)
- identificazione di aree caratterizzate da diversa magnitudo di abbassamento

Prodotti:

- Curve di isovelocità ottenute dall'interpolazione delle velocità annuali
- Tassi di abbassamento
- Relazione andamento V_{LOS} (serie storiche)- emungimenti – superficie piezometrica nel periodo di monitoraggio satellitare

Limiti

- I movimenti sono verticali per cui la V_{LOS} sottostima la velocità.
- Sovrapposizione di movimenti a carattere stagionale.

Esempi da letteratura:

I casi riportati in letteratura sono numerosi e riflettono l'elevata capacità della tecnica PSInSAR nell'identificazione di questi fenomeni soprattutto in aree di pianura dove la densità dei PS è molto elevata (200-700 PS/Km²). In genere gli studi si riferiscono ad applicazioni della tecnica a scala locale-urbana; e.g. area di Las Vegas (Bamler et al., 2005), un'area urbana in Spagna (Mora et al.), Bangkok (Worawattanamateekul et al.). I risultati interferometrici sono stati generalmente comparati a livellazioni ottiche e/o misure GPS e misure piezometriche. Le velocità utilizzate nell'analisi sono quelle lungo LOS, solo Worawattanamateekul et al. hanno trasformato le V_{LOS} in velocità verticali. Bamler et al. (2005) hanno anche stimato la componente stagionale del movimento.

Un numero più limitato è relativo a studi a scala regionale: regione di Trondheim (Dehls, 2004); pianura delle province di Ravenna, Forlì e Cesena (1700 Km²) (ARPA Emilia Romagna, 2005); bacino del F. Arno (Canuti et al., 2006).

6) Subsidenza indotta da attività sotterranea (scavi per gallerie, attività mineraria)

Scala del fenomeno: locale, puntuale

Ambiti geologico-geomorfologici: pianura alluvionale, zona collinare e montana.

Velocità: veloce

Tipo di movimento: generalmente non lineare, movimenti verticali.

Informazioni

- identificazione e mappatura dell'area di influenza dei lavori in sotterraneo
- informazioni quantitative (quanto si abbassa ed in quanto tempo)
- identificazione di aree caratterizzate da diversa magnitudo di abbassamento
- analisi di segni precursori (previsione delle deformazioni)

Prodotti:

- Curve di isovelocità ottenute dall'interpolazione dei PS
- Tassi di abbassamento

Limiti

- I movimenti sono verticali per cui la V_{LOS} sottostima la velocità.
- Elevate velocità di deformazione

Esempi da letteratura:

Gli esempi riportati in letteratura sono abbastanza esigui in relazione soprattutto al fatto che si tratta di movimenti veloci, in tutti i casi si tratta di applicazioni a scala regionale (Carnece et al., 2004 nel bacino ferrifero lorenese; Bamler et al., 2005 in un'area test vicino a Marsiglia). Gli autori sottolineano che la tecnica offre la possibilità di uno studio "a ritroso" degli spostamenti provocati dalla presenza di scavi sotterranei (analisi dei segni precursori e previsione delle deformazioni) e soprattutto permette un'analisi dell'evoluzione nel tempo del fenomeno.

7. Subsidenza indotta da applicazioni di carichi (costruzioni, grandi opere) su superfici estese

Si tratta di fenomeni di subsidenza causati dalla costruzione di insediamenti residenziali o industriali impostati su terreni argillosi sottoconsolidati.

Scala del fenomeno: locale, puntuale

Ambiti geologico-geomorfologici: pianura alluvionale, fondovalle collinare e montano.

Velocità: generalmente lenta

Tipo di movimento: generalmente lineare, movimenti verticali.

Informazioni

- identificazione aree in abbassamento
- informazioni quantitative (quanto la superficie si abbassa ed in quanto tempo)
- identificazione di aree caratterizzate da diversa magnitudo di abbassamento

Prodotti:

- Tassi di abbassamento

Limiti

- I movimenti sono verticali per cui la V_{LOS} sottostima la velocità.
- Sovrapposizione di movimenti a carattere stagionale.

8) Comportamento geotecnico differenziale del terreno di fondazione e deformazioni strutturali

Il comportamento geotecnico differenziale del terreno di fondazione si riferisce a situazioni puntuali connesse a:

- consolidazione di terreno naturale o di riporto eterogeneo (es. strutture costruite a mezza costa)
- variazioni di volume del terreno
- presenza di vegetazione
- erosione e/o sifonamento

Le deformazioni di carattere “strutturale” si riferiscono a situazioni “puntuali” in genere riguardanti il singolo edificio o la singola infrastruttura. I movimenti individuati dai PS corrispondono in genere a cause “non geologiche” riconducibili a : errori di progettazione, ammaloramento dei materiali da costruzione, variazioni di carico sulle strutture dell’edificio a seguito di lavori di trasformazione/ristrutturazione, ecc...

Le deformazioni di carattere “strutturale” degli edifici (ad esempio quelle che si manifestano su edifici “antichi”, in muratura di pietrame “quasi a secco” o per effetto di interventi di adeguamento e ristrutturazione che comportino anche una differente interazione terreno-struttura) hanno, in generale, modalità evolutive e gradienti di velocità di entità tale da poter essere agevolmente rilevate con la tecnica dei PS.

Scala del fenomeno: puntuale

Ambiti geologico-geomorfologici: pianura alluvionale, fondovalle collinare e montano.

Velocità: variabile

Tipo di movimento: generalmente non lineare, movimenti prevalentemente verticali.

Informazioni

- identificazione aree in abbassamento
- informazioni quantitative (quanto la superficie si abbassa ed in quanto tempo)

Prodotti:

- Tassi di abbassamento

Limiti

- Sovrapposizione di movimenti a carattere stagionale.

3.2.3. Sviluppo di un metodo di interpretazione preliminare a scala regionale

Occorre premettere che l'interpretazione dei dati PSInSAR interessa scale diverse:

- scala regionale: riguarda i fenomeni franosi (identificazione), la subsidenza e l'attività neotettonica. Lo studio di quest'ultima non rientra nel presente rapporto, è attualmente oggetto di analisi da parte di tecnici di ARPA Piemonte e richiede l'utilizzo di tecniche geostatistiche e del confronto con il dato geologico-strutturale;
- scala locale: riguarda il monitoraggio di fenomeni franosi e della subsidenza;
- scala puntuale: è relativa allo studio di infrastrutture, edifici, ecc....

Nonostante le aree anomale precedentemente interpretate possano interessare scale diverse (Fig.3.48-3.49) in questo capitolo verrà presentato un metodo di interpretazione preliminare valido a scala regionale. Le aree anomale non danno alcuna informazione sull'attività neotettonica per l'entità dei movimenti di quest'ultima (<1 mm/yr) che generalmente si trova al di sotto del valore soglia utilizzato per l'identificazione delle suddette aree. Per l'interpretazione delle aree anomale che rappresentano fenomeni a scala puntuale (Fig.3.48) si rimanda al capitolo 3.3. riguardante l'interpretazione di dettaglio.

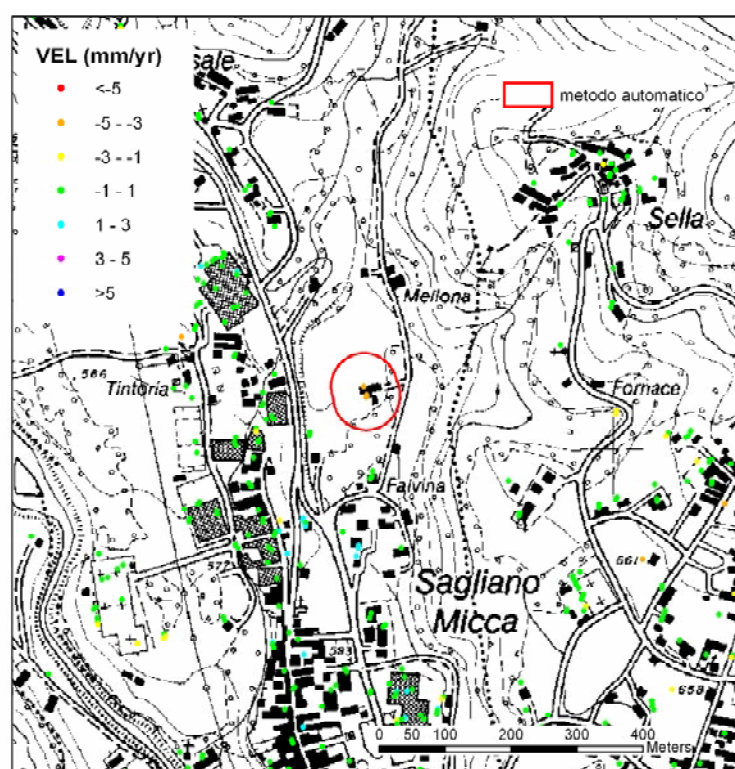


Fig. 3. 48. Esempio di area anomala indicante un fenomeno a scala puntuale (edificio) (dataset Alagna_summer).

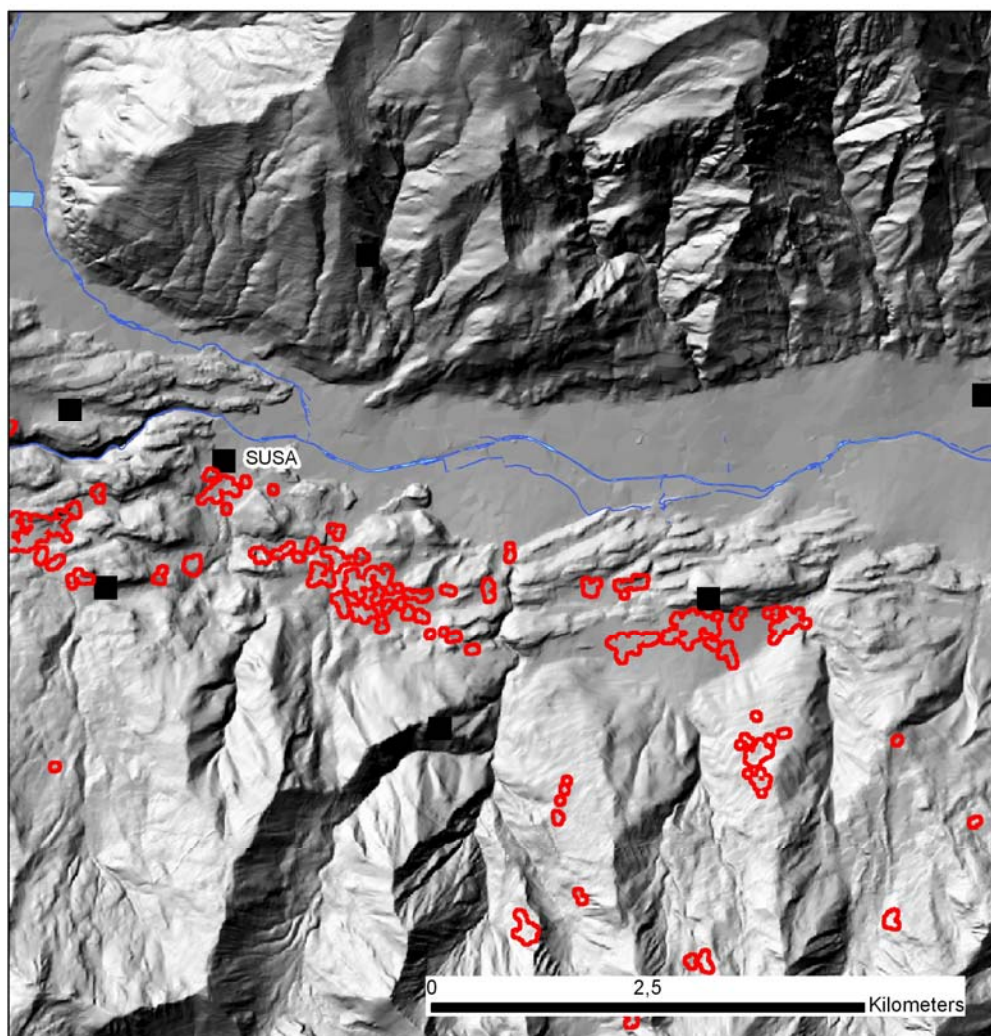


Fig. 3. 49. Esempio di aree anomale indicanti fenomeni di subsidenza localizzati sul fondovalle della Dora Riparia (dataset Prigelato_summer).

Le aree anomale vengono relazionate a processi e forme geologiche al fine di individuare/ipotizzare le cause delle deformazioni misurate. Si tratta di un'interpretazione geologica preliminare a scala regionale che andrà successivamente verificata con l'analisi di dettaglio descritta nel capitolo successivo.

L'interpretazione avviene mediante l'integrazione in ambiente GIS delle informazioni PSInSAR con altri dati "convenzionali" costituiti da (Fig.3.50):

- carte topografiche (CTR 1:10.000);
- carte geologiche-litologiche 1:100.000 o 1:50.000 (progetti CARG);
- inventario dei fenomeni franosi e database correlati (progetto IFFI);
- DTM, dal quale è possibile produrre la carte delle pendenze e quella dell'esposizione dei versanti. La mappa delle pendenze è utile per evidenziare possibili anomalie nella morfologia (terrazzamenti, nicchie di distacco, accumuli di frana). La carta dell'esposizione è invece fondamentale nella lettura dei PS al fine di comprendere il significato del segno dei PS;

- ortofoto IT 2000 eventualmente proiettate sul DTM mediante un opportuno software (es. ArcScene, il modulo 3D di ArcGIS);
- censimento delle attività estrattive in superficie ed in sotterraneo;
- censimento discariche (www.webgis.csi.it);
- banca dati geotecnica ARPA Piemonte;
- banca dati monitoraggio fenomeni franosi ARPA Piemonte;
- pubblicazioni, tesi di laurea inedite.

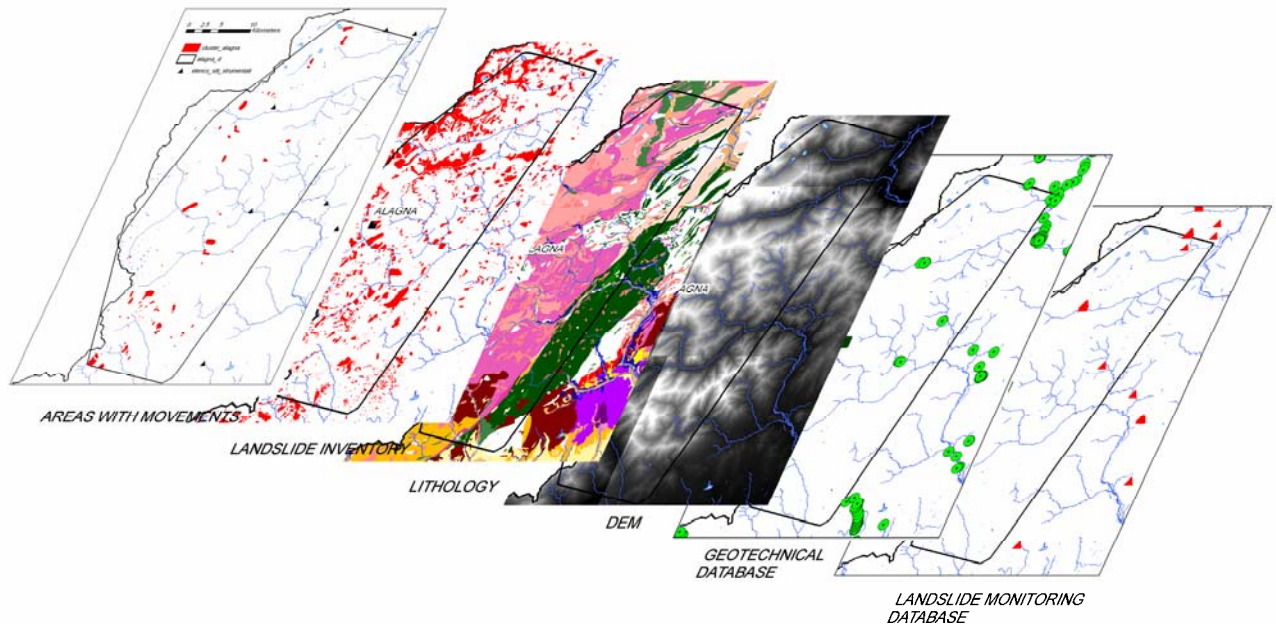


Fig. 3. 50. Dati utilizzati per l'interpretazione delle aree anomale.

Le cause dei movimenti sono state suddivise come descritto nel capitolo 3.2.1. in:

1. attività neotettonica e sismica
2. fenomeno franoso
3. subsidenza naturale per consolidazione di terreni recenti sottoconsolidati o per la presenza di terreni “problematici” (torbe, terreni collassanti o soggetti al ritiro-rigonfiamento);
4. subsidenza naturale connessa a fenomeni di dissoluzione di rocce carbonatiche o evaporitiche;
5. subsidenza indotta da estrazione di fluidi dal sottosuolo;
6. subsidenza indotta da attività sotterranea (scavi per gallerie, attività mineraria);
7. subsidenza indotta da applicazioni di carichi (costruzioni, grandi opere) su superfici estese;
8. comportamento geotecnico differenziale del terreno di fondazione e problematiche strutturali;
9. detrito di versante;
10. altro;
11. non determinato.

Ai fini dell'interpretazione occorre innanzitutto fare una distinzione tra le aree anomale ubicate in corrispondenza dei versanti in zona collinare e alpina e quelle localizzate in pianura e nei fondovalle.

3.2.3.1. Aree anomale ubicate in corrispondenza dei versanti in zona collinare e montana

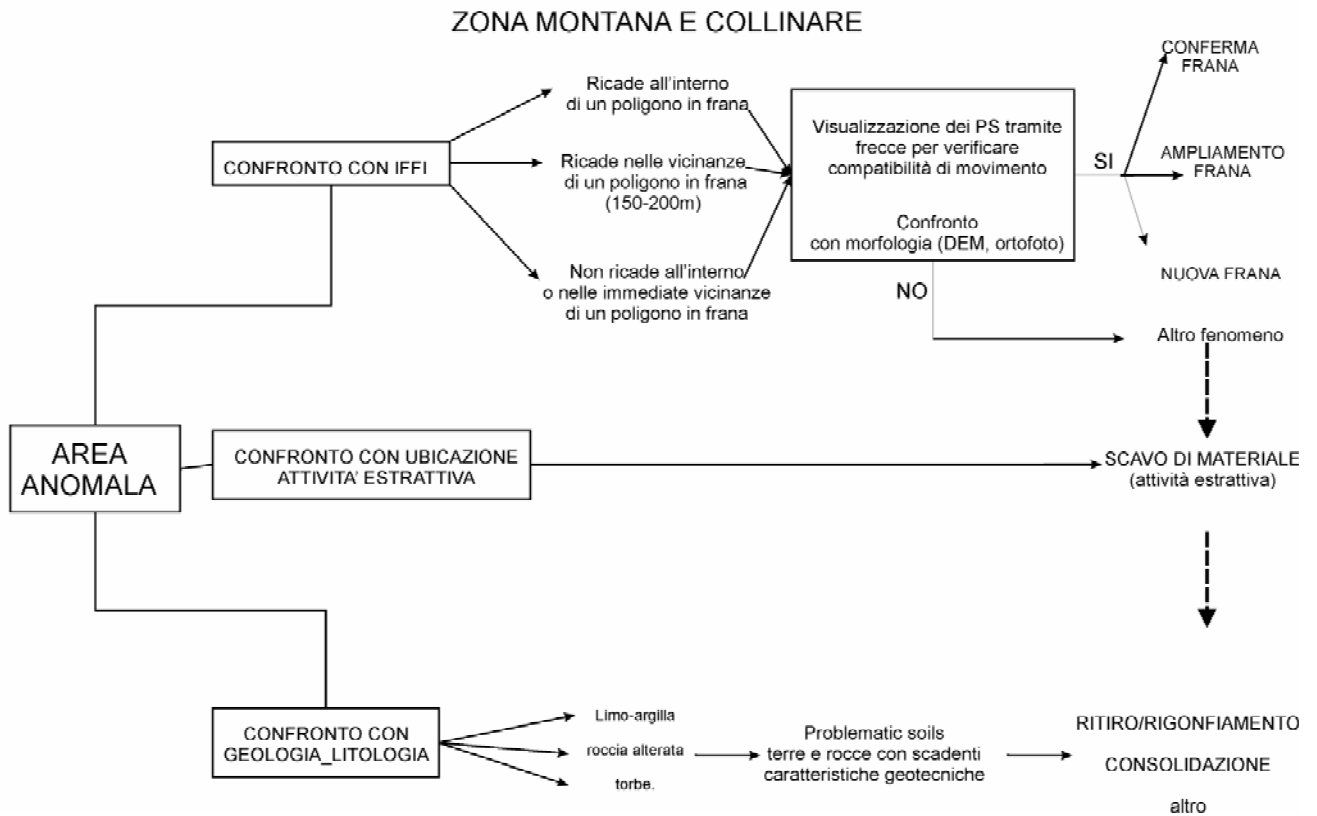


Fig. 3. 51. Metodologia di interpretazione delle aree anomale nel settore montano e collinare.

Il confronto con l’inventario IFFI (Fig.3.51) è il primo passo per relazionare le aree anomale con possibili movimenti di versante e permette contemporaneamente un aggiornamento del censimento dei fenomeni franosi.

I possibili casi che possono verificarsi sono schematizzati come segue:

- 1) aree anomale all’interno di aree già mappate in frana (Fig.3.52). Occorre trovare delle indicazioni sulla consistenza dei movimenti indicati dai PS con la presenza del corpo franoso. Per esempio combinando l’uso di curve di livello e della mappa di esposizione dei versanti con la proiezione sul piano orizzontale dei PS (frecce che indicano la direzione ed il verso lungo i quali è stato misurato il movimento dai PS) è possibile definire la probabile direzione di movimento nel piano orizzontale. Il cinematismo della frana dedotto dalla classificazione riportata nel progetto IFFI può fornire un valido supporto in questa fase.
 E’ necessario tenere presente che le deformazioni ottenute con la tecnica PSInSAR si riferiscono al bersaglio e quindi tali valori possono essere determinati anche da altri

fenomeni non connessi a movimenti di versante. Occorre di conseguenza fare un'analisi del tipo di bersaglio, distinguendo in particolare se si tratta di PS naturali (roccia), generalmente più attendibili, o artificiali (edifici, antenne, ecc...) le cui condizioni di fondazione e caratteristiche strutturali possono essere responsabili delle deformazioni registrate.

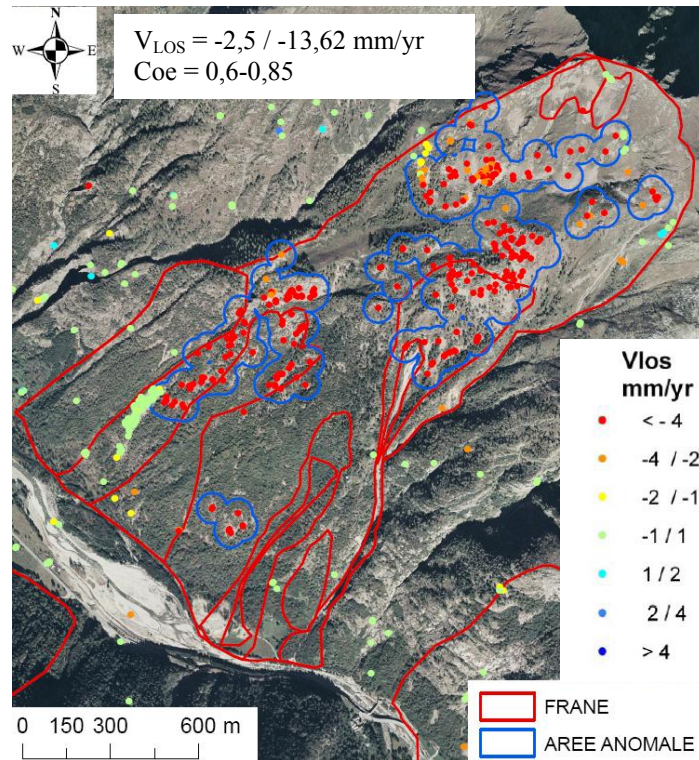


Fig. 3. 52. Esempio di area anomala all'interno di un'area già mappata in frana (causa fenomeno franoso): DGPV di Riva Valdobbia, Val Sesia (BI), Zona dioritico-kinzingitica Area: 2 Km2 190 PS/km2 (summer dataset).

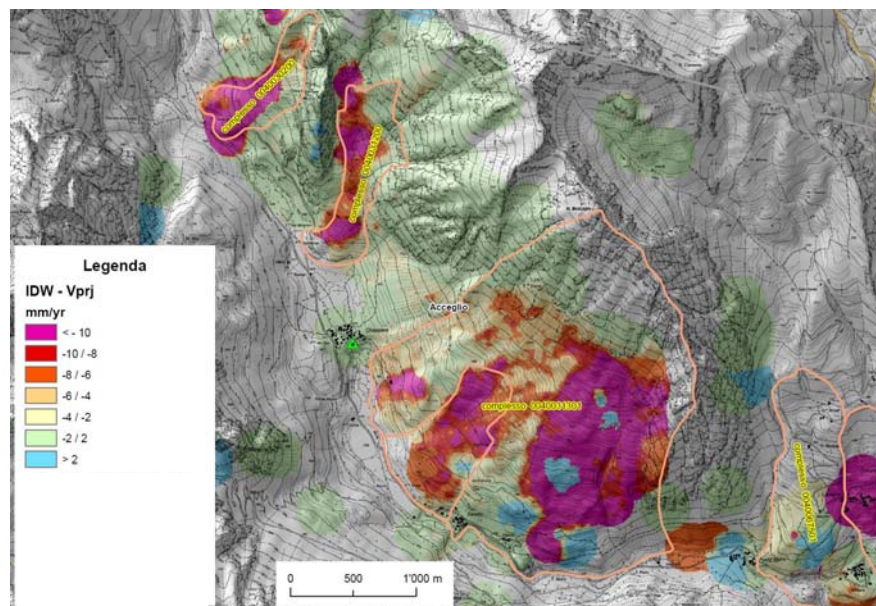


Fig. 3. 53. Frana di Acceglio (dataset Argentera full): suddivisione delle frane in diversi settori caratterizzate da differenti velocità.

Laddove la densità dei PS è particolarmente elevata la distribuzione delle V_{LOS} può permettere la suddivisione del fenomeno franoso in diversi settori (Fig.3.53).

- 2) Aree anomale prossime ad aree mappate in frana (Fig.3.54). L'analisi della morfologia dell'area attraverso la carta delle pendenze, dell'esposizione e le ortofoto permettono di valutare la possibilità di modificare i limiti del poligono in dissesto per comprendere l'area interessata dai PS. Se gli elementi morfologici non consentono di evidenziare la presenza di elementi che possano suggerire l'appartenenza ad un unico dissesto si può creare un nuovo poligono indipendente. In generale queste situazioni sono state indicate come n.d., in quanto tali aree necessitano di studi di maggior dettaglio per poter attribuire con certezza il movimento ad un fenomeno franoso e perimetrare il dissesto.

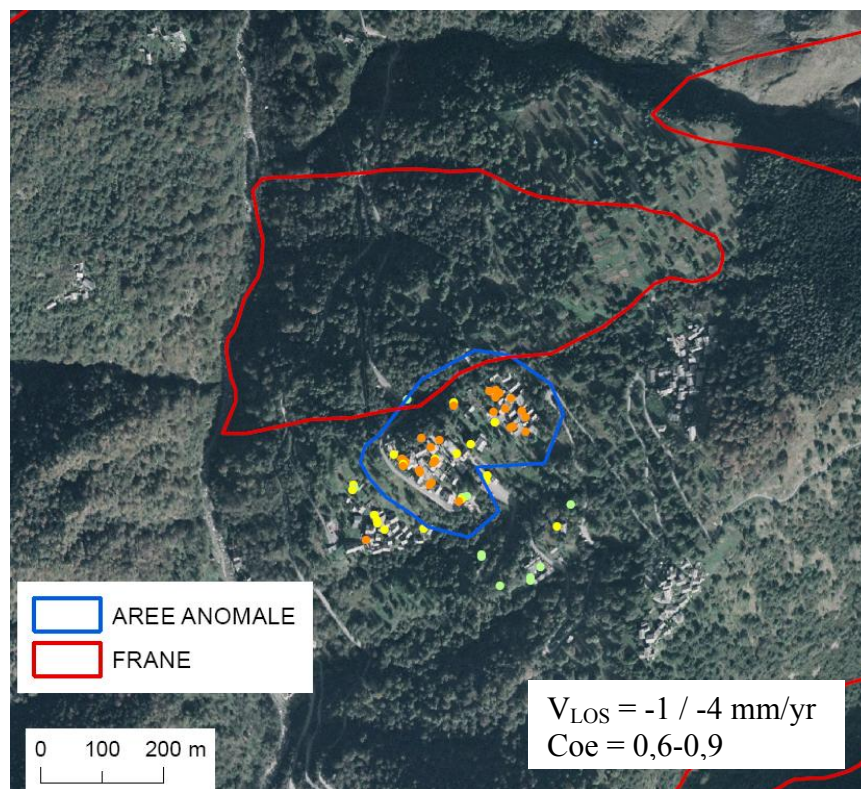


Fig. 3. 54. Alpi: Grondo (VC) (causa n.d.).

- 3) Aree anomale non in aree di dissesto
- identificazione e perimetrazione di nuove aree instabili non individuate con tecniche tradizionali (Fig.3.55)
 - identificazione di nuovi fenomeni di dissesto – attività mineraria, cedimento terreno di fondazione per l'esistenza di terreni problematici, ecc.... (Fig.3.56).

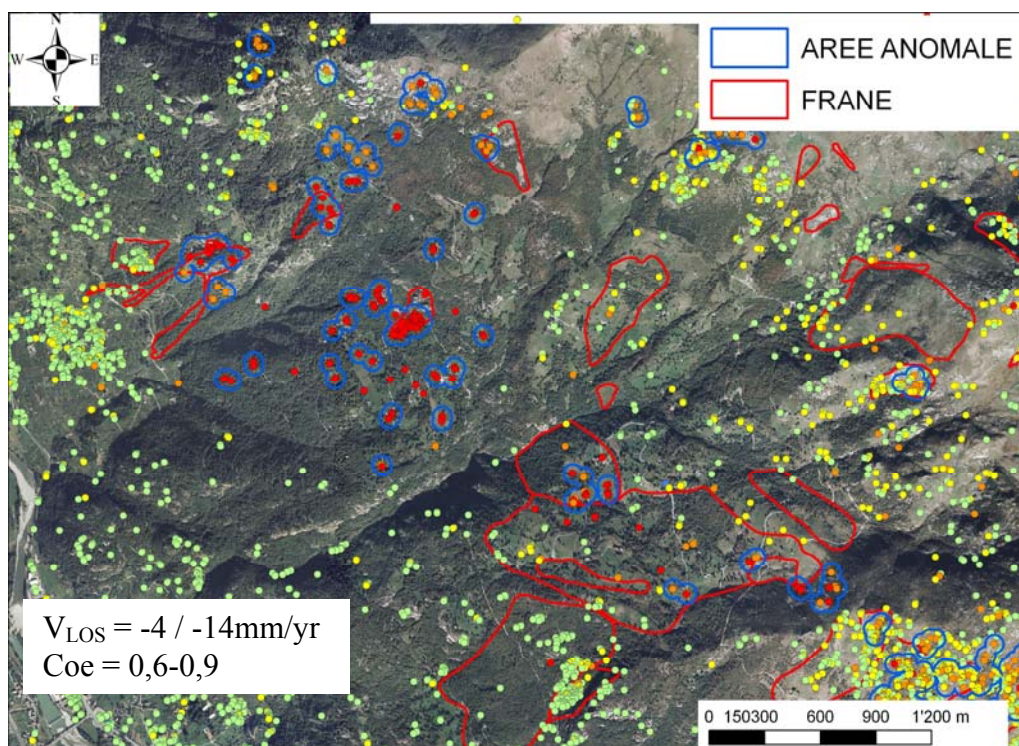


Fig. 3. 55. Carema (TO): L'inventario IFFI ha individuato alcuni fenomeni rapidi e di limitate proporzioni, principalmente crolli in roccia e colamenti superficiali. L'analisi PSInSAR ha messo in evidenza probabili movimenti più profondi non ancora conosciuti (causa: fenomeno franoso).

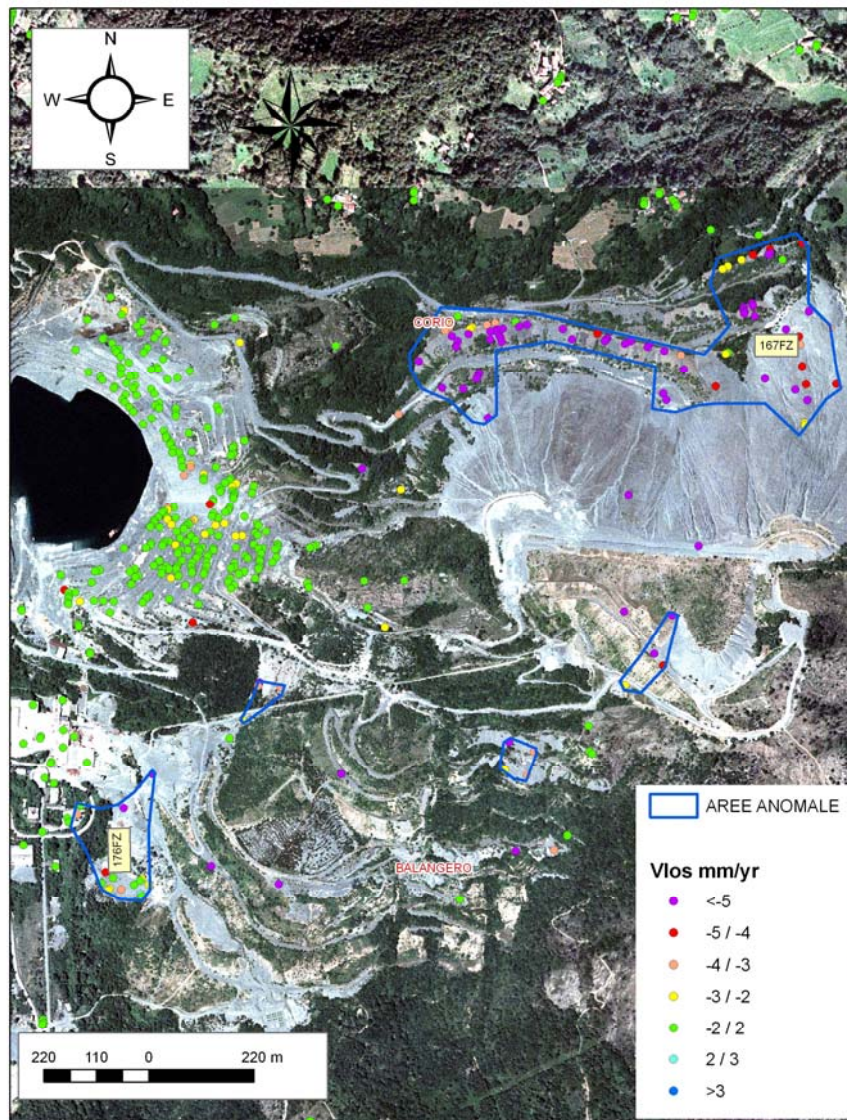


Fig. 3. 56. Movimenti causati da attività estrattive a cielo aperto (causa: altro).

Problematiche:

- L'individuazione di nuove frane e la modifica dei limiti di frane (Fig.3.57) già mappate richiede tuttavia un'indagine geomorfologia accurata tramite DEM e carte derivate, la fotointerpretazione e i rilievi di terreno. Infatti la distribuzione e densità dei PS è legata all'uso del territorio ed in particolare alla presenza di zone urbanizzate o rocce esposte e non sempre di conseguenza è possibile definire tramite l'analisi PSInSAR dei limiti tra zone stabili e instabili.

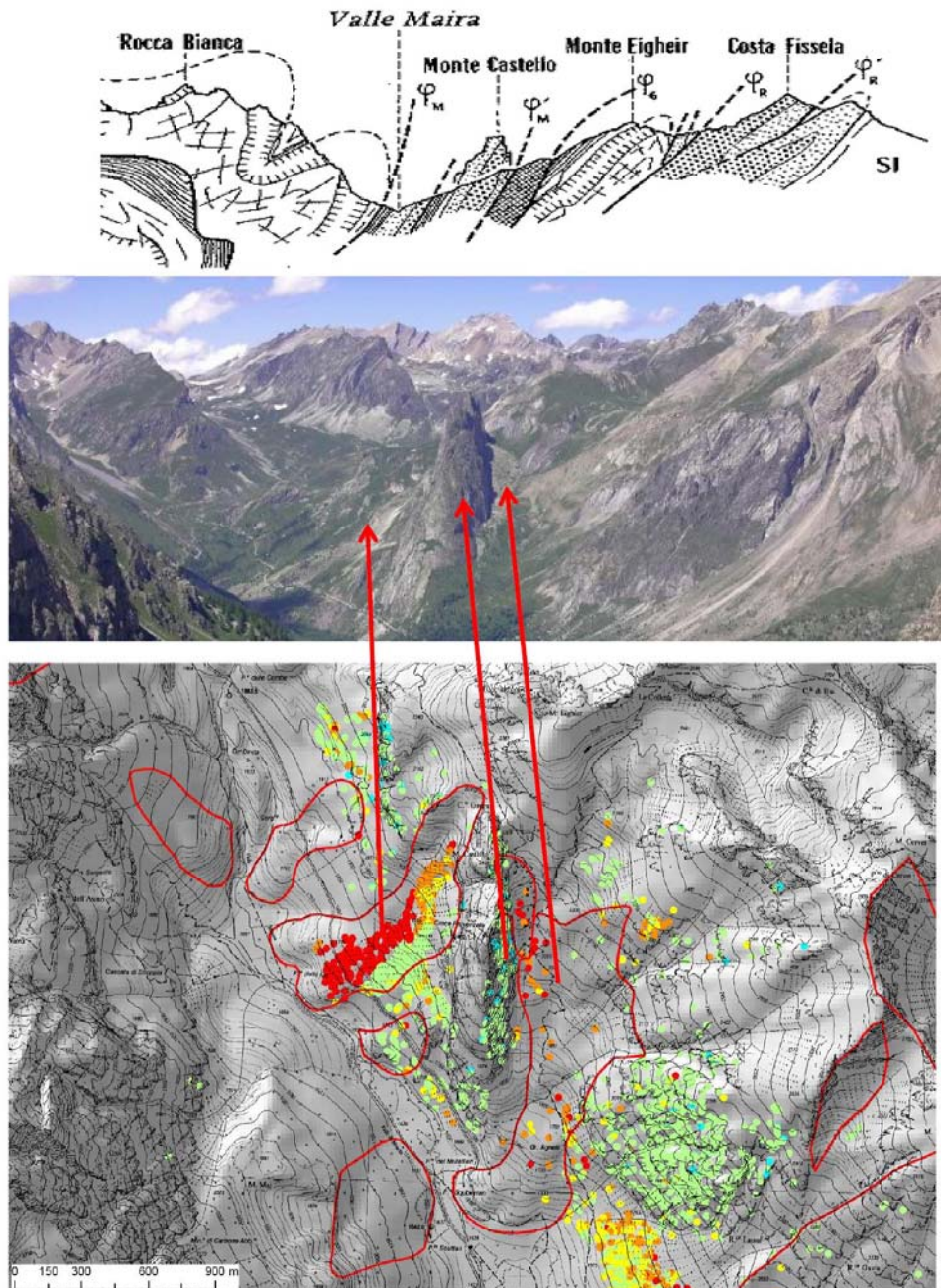


Fig. 3. 57. Frane di Aceglia. L'elevata densità dei PS (1227 PS/km2) permette di ripерimetrare il fenomeno franoso (di tipo complesso) sulla base delle differenze di velocità misurate dai bersagli radar

- Non tutti i movimenti identificati in corrispondenza di fenomeni franosi sono direttamente attribuibili a frana. L'interpretazione dei dati interferometrici è risultata in alcuni casi difficile a causa dell'influenza di diverse componenti del movimento non sempre chiaramente distinguibili (es. sovrapposizione interazione terreno-struttura, dissoluzione di rocce solubili). Tale difficoltà è soprattutto evidente in ambiente appenninico e nelle Langhe.

Un esempio è l'area anomala ubicata in corrispondenza del paese di Sant'Agata in Appennino (Fig.3.58). La zona dal punto di vista geologico è caratterizzata dalla

Formazione Gessoso-Solfifera su cui è impostato il paese e dai sovrastanti Conglomerati di Cassano Spinola. Una frana complessa è situata nel paese, è monitorata ed è attiva. Il movimento registrato dai PS si estende su un'area molto più vasta, non interessata da movimenti di versante (come evidenziato da rilevamenti di terreno), si tratta di un abbassamento probabilmente associato ad un fenomeno di dissoluzione dei gessi facenti parte della Formazione Gessoso-Solfifera.

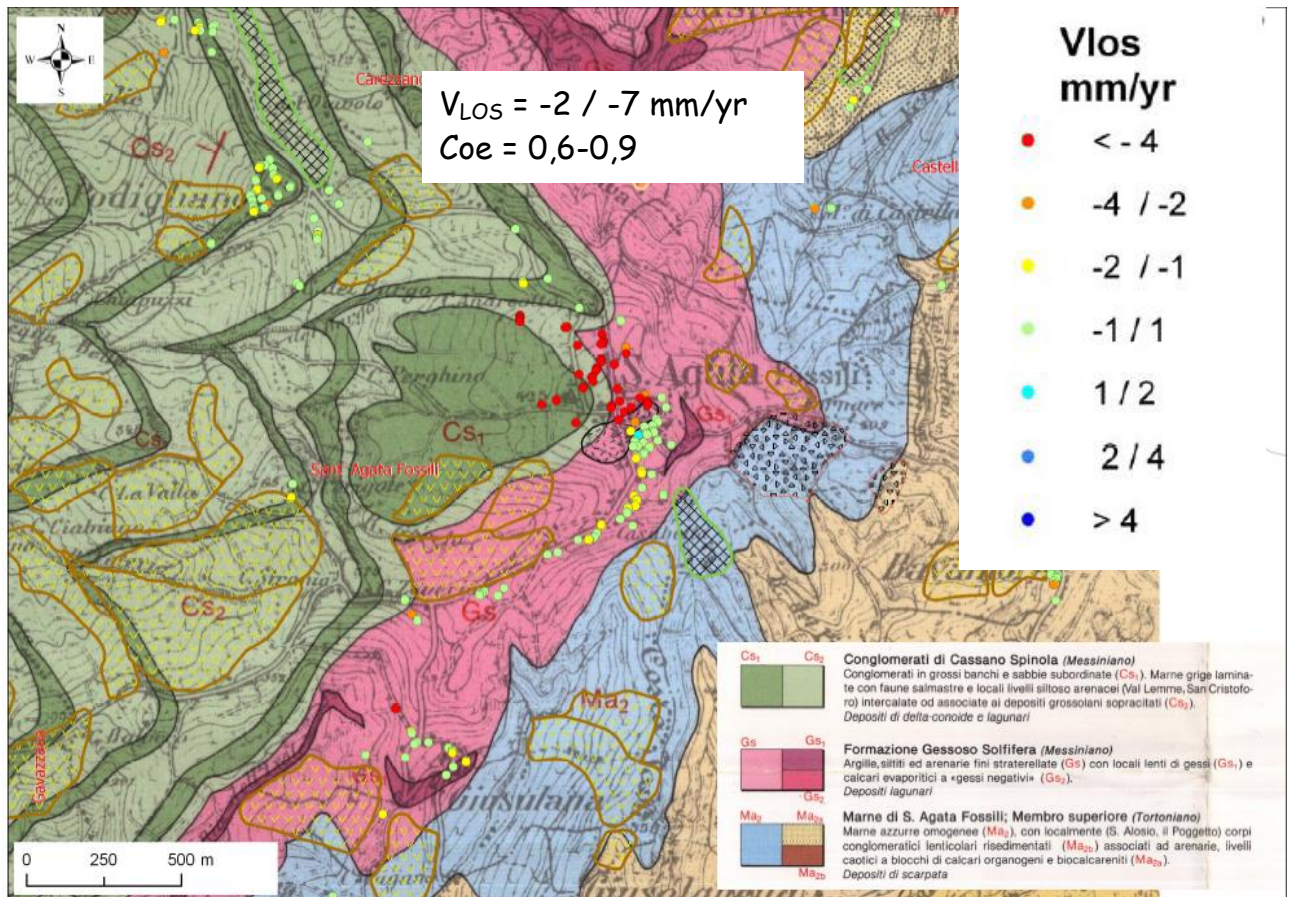


Fig. 3. 58. Probabile fenomeno di dissoluzione dei gessi (da Clari & Ghibaudo, 1983)

- Un numero elevato di aree anomale ricade in corrispondenza di accumuli detritici di versante (detriti di falda, ecc..) (Fig.3.59, 3.60). I PS in queste zone sono caratterizzati da movimenti anche significativi. E' assai probabile che si tratti di movimenti superficiali stagionali del detrito. La difficoltà di interpretazione potrebbero sorgere nel caso in cui tali coltri detritiche si trovino sul corpo di frana (Fig.3.60), risulterebbe infatti difficile la distinzione tra i fenomeni superficiali sopra descritti e gli eventuali movimenti più profondi dovuti al fenomeno franoso. Tale peculiarità andrà studiata su alcuni casi significativi tramite la ricerca di correlazioni tra litotipo (proprietà del materiale), geometria delle discontinuità e distribuzione dei PS.

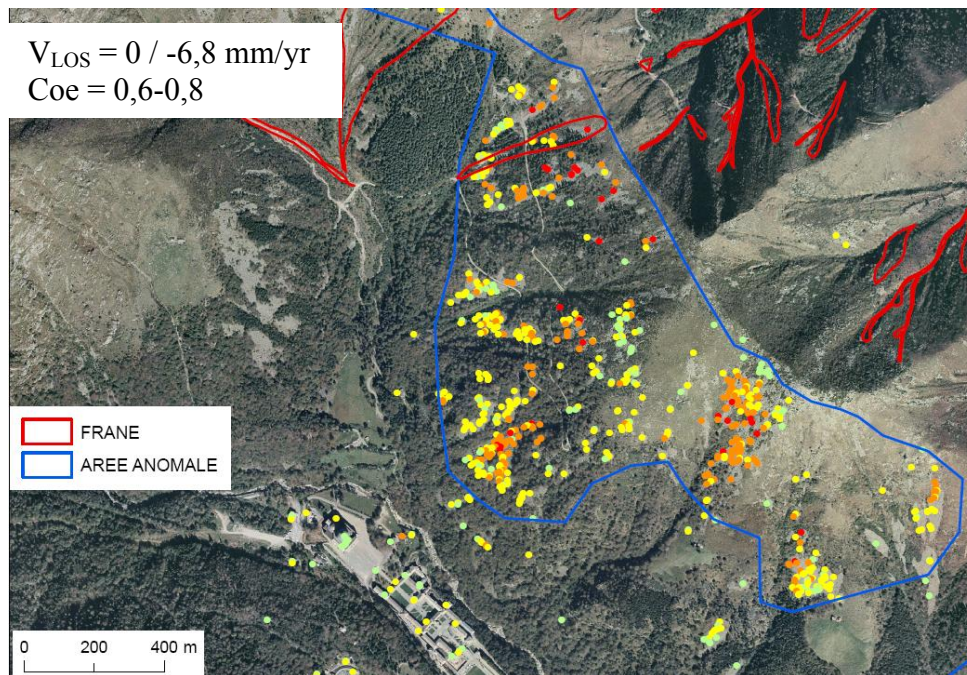


Fig. 3. 59. Alpi: Santuario di Oropa (BI) (causa: detrito di versante)

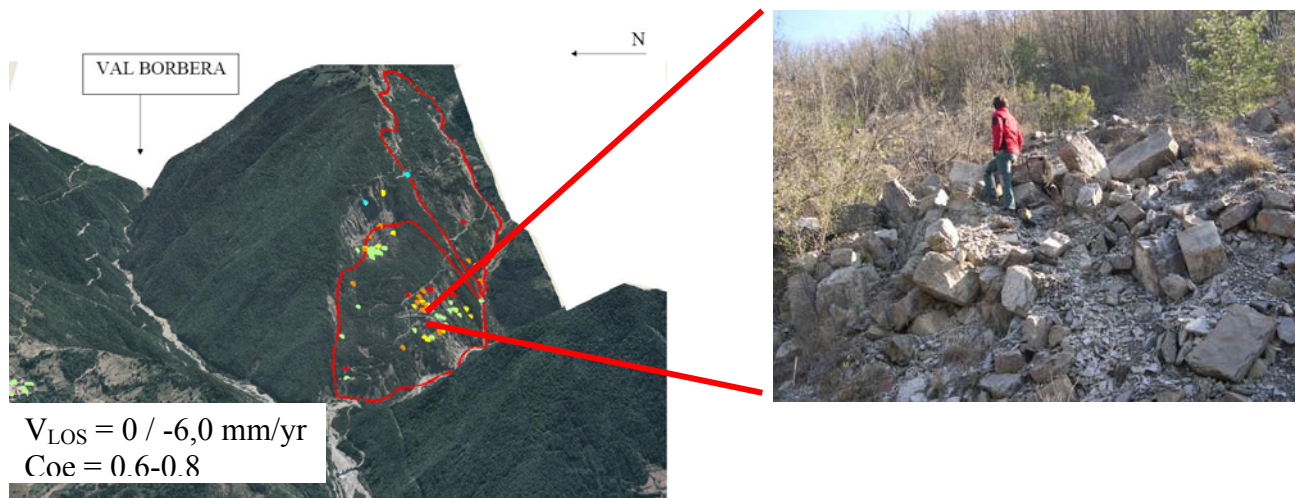


Fig. 3. 60. Appennino: Val Borbera (AL) Calcari di M. Antola

3.2.3.2. Aree anomale ubicate in pianura e nei fondovalle

La fig.3.61 illustra l'interpretazione preliminare delle aree anomale localizzate in pianura e nei fondovalle.

Considerato che i movimenti dei PS critici in ambiente di pianura o di fondovalle alluvionale sono sostanzialmente dovuti a fenomeni di "abbassamento" l.s., sono necessarie conoscenze relativamente dettagliate in ordine alla costituzione litologica di superficie e di sottosuolo, in particolare occorre conoscere:

- Aree con terreni dotati di scadenti caratteristiche geotecniche;
- Discariche di materiali inerti e discariche indifferenziate;
- Aree caratterizzate dalla presenza di terreni di riporto;
- distribuzione di pozzi per acqua.

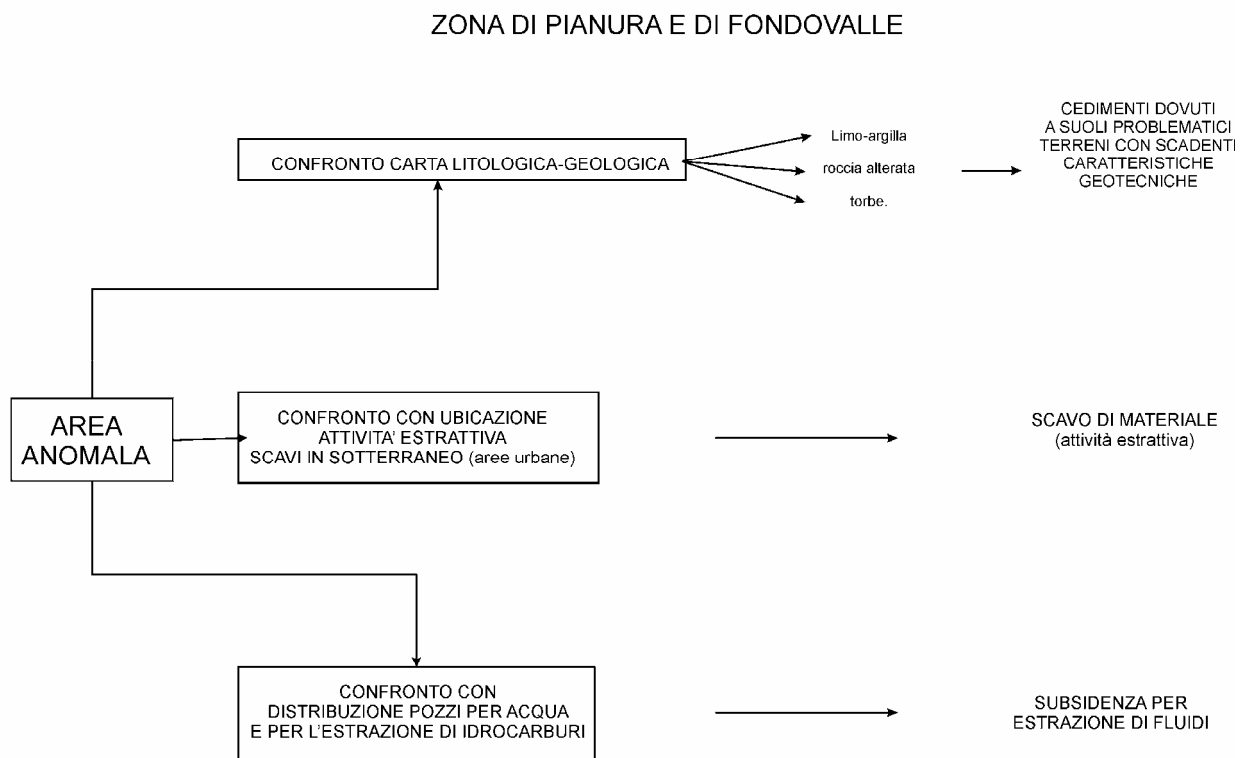


Fig. 3. 61. Metodologia di interpretazione delle aree anomale in pianura e nei fondovalle

L'esistenza di terreni recenti sottoconsolidati (depositi lacustri) nella zona che si estende da S. Antonino di Susa fino alla stretta di Alpignano (l'area era occupata da un esteso lago formatosi con l'inizio dell'ultimo ritiro glaciale) ha permesso di attribuire i movimenti misurati dai PS a subsidenza naturale per consolidazione di terreni recenti sottoconsolidati (Fig.3.62).

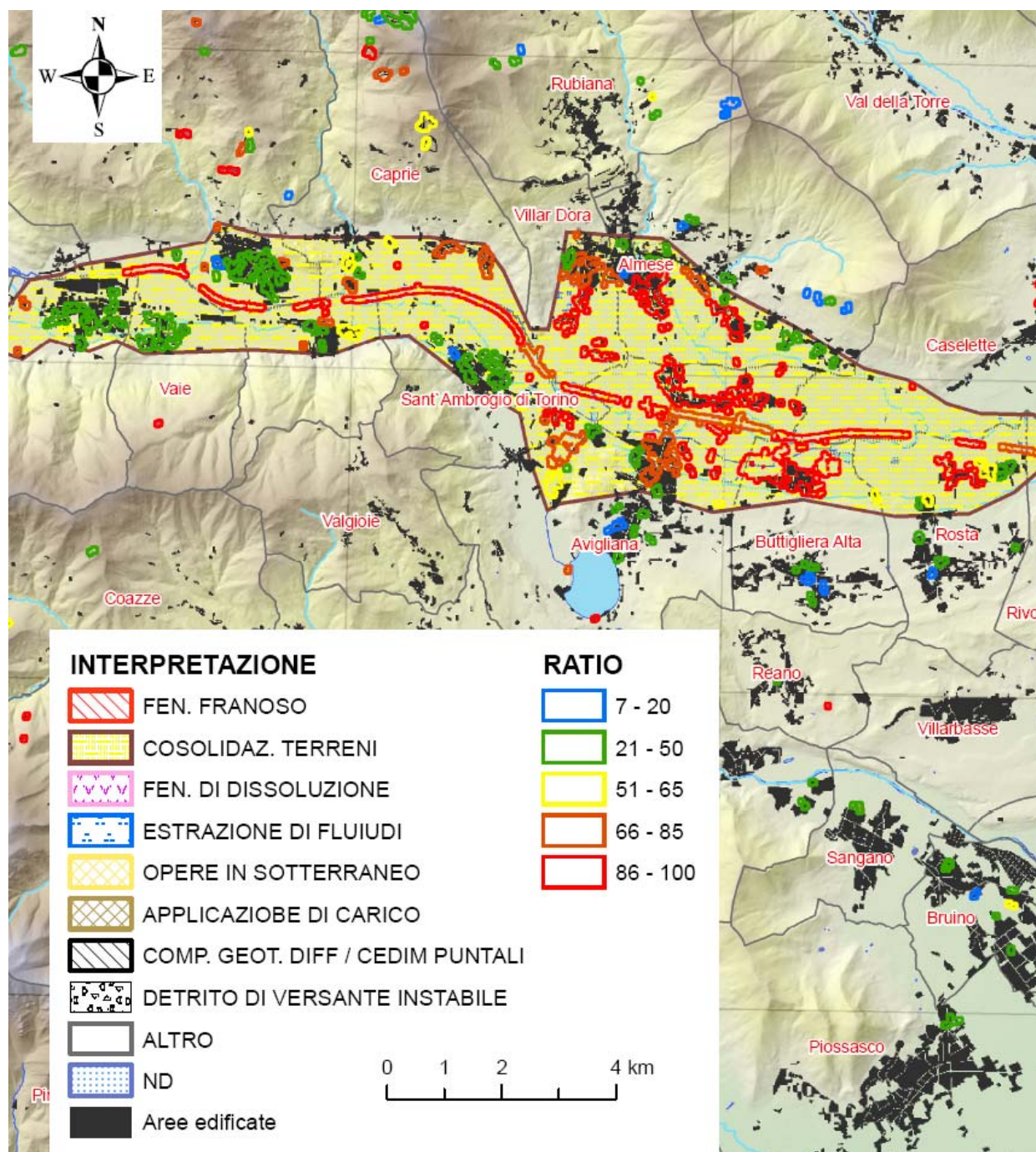


Fig. 3. 62. Esempio di subsidenza naturale per consolidazione di terreni recenti sottoconsolidati

In altre zone la concentrazione di attività di estrazione di fluidi (pozzi per acqua e irrigazioni) unita alla presenza di terreni comprimibili ha permesso di associare le velocità di abbassamento registrati dai PS come subsidenza indotta da estrazioni di fluidi (Fig.3.63).

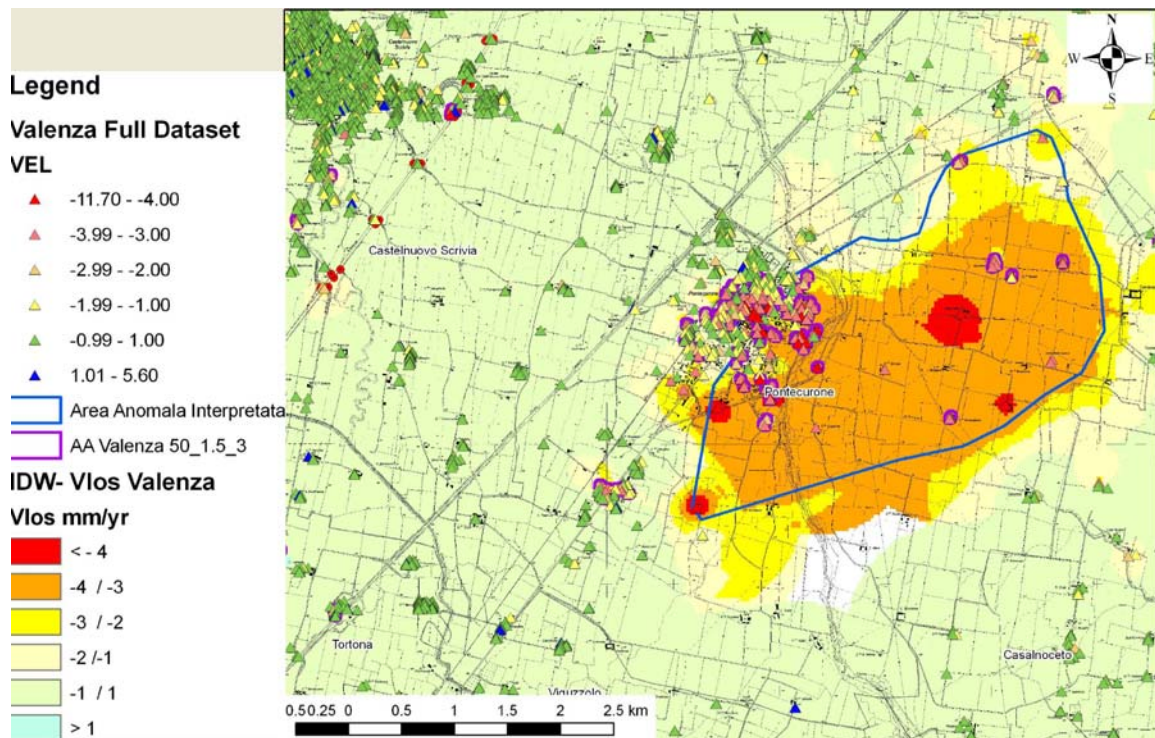


Fig. 3. 63. Esempio di area in subsidenza per estrazione di fluidi

Il confronto tra le Carte Tecniche Regionali (pre-1991) e le ortofoto (2000) ha evidenziato la presenza di edifici di nuova costruzione che corrispondono a PS con velocità anche considerevoli. I movimenti registrati appaiono imputabili a subsidenza indotta da applicazioni di carichi (Fig.3.64).

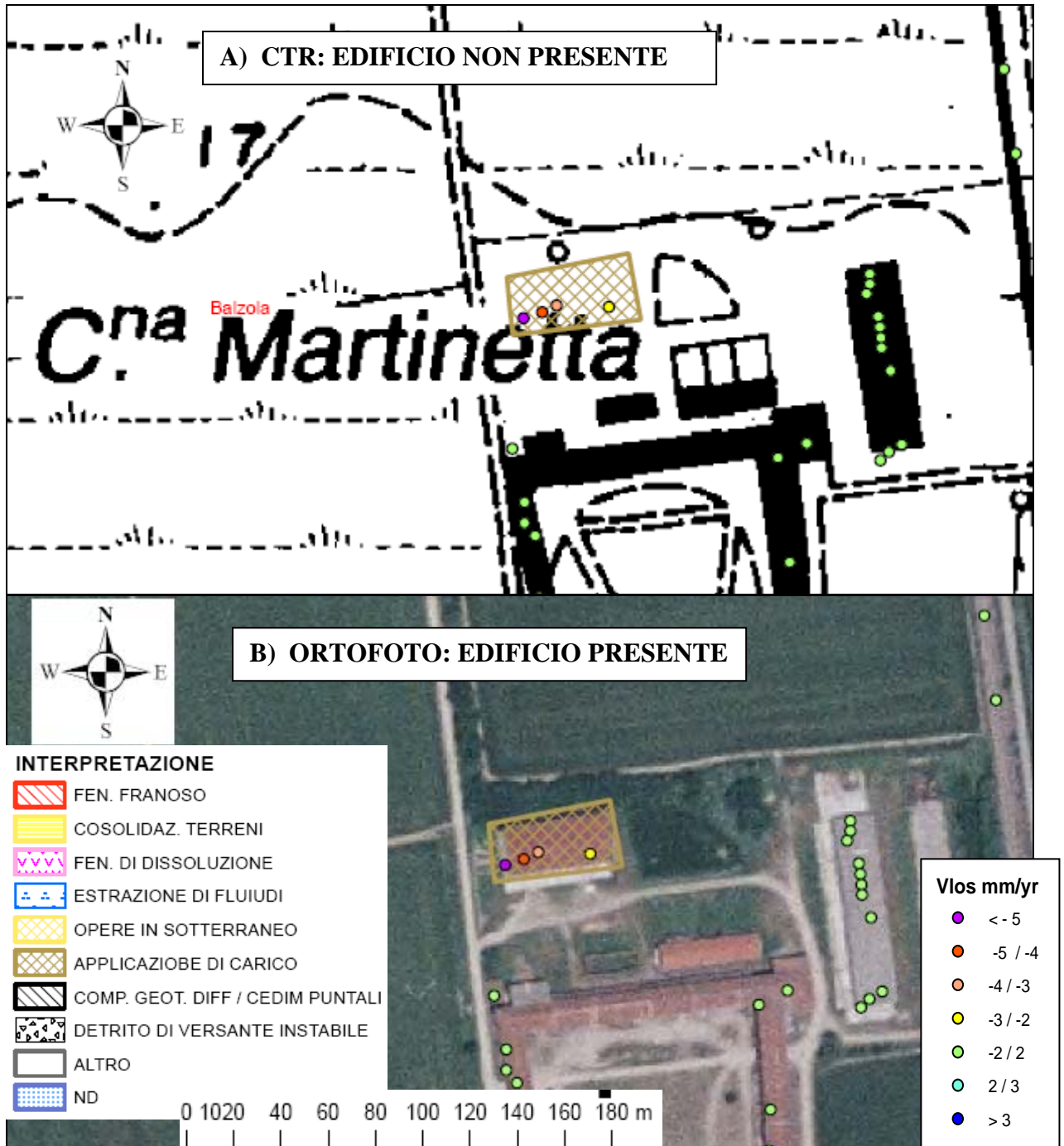


Fig. 3. 64. Esempio di subsidenza indotta da applicazioni di carichi

Nella maggior parte dei casi in ambiente di pianura le aree anomale corrispondono a situazioni puntuali (singoli edifici); in questo caso le cause dei movimenti registrati dai PS appaiono imputabili a problematiche connesse all'interazione terreno-struttura o a difetti di costruzioni (Fig.3.65).

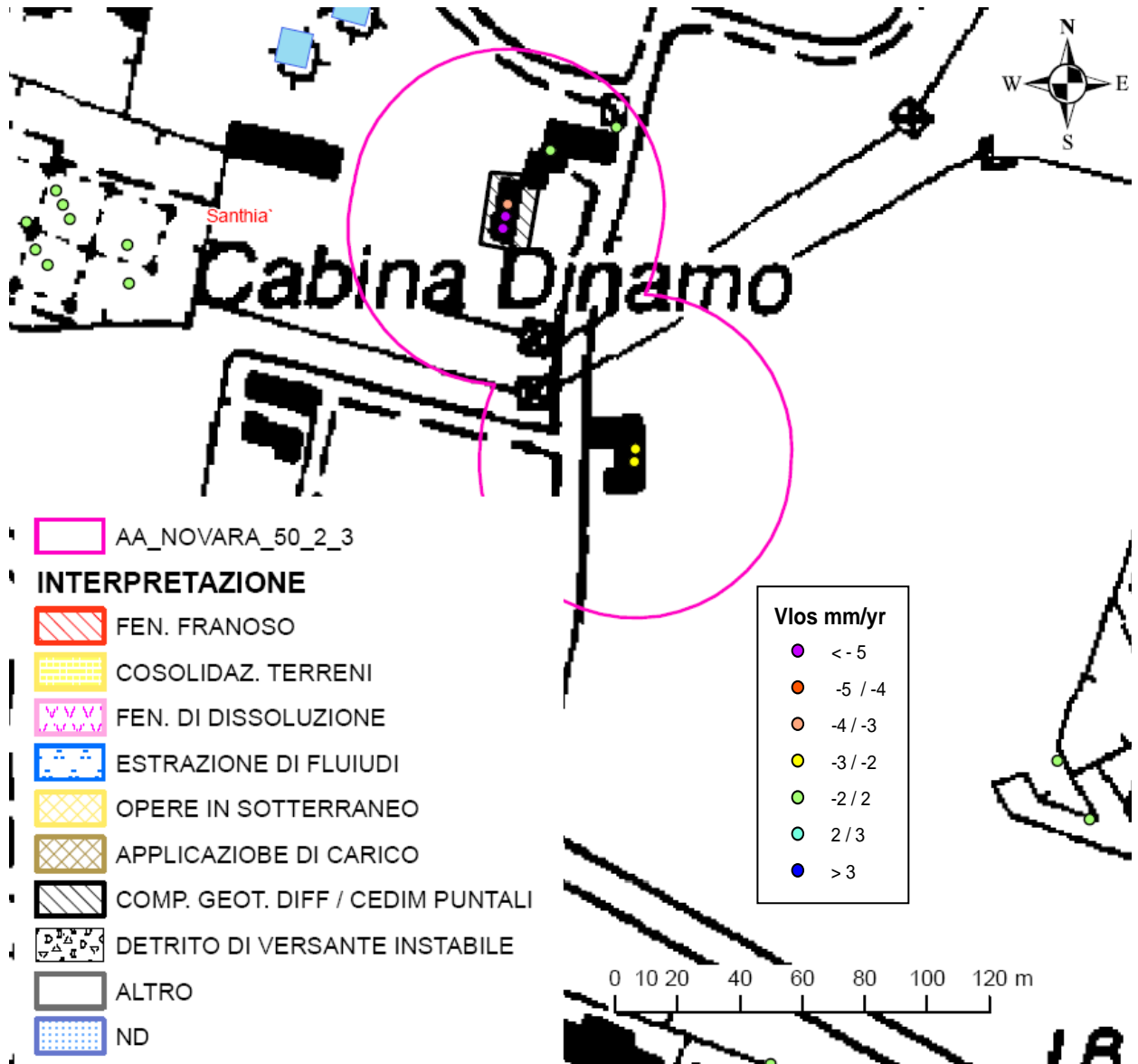


Fig. 3. 65. Esempio di comportamento geotecnico differenziale del terreno di fondazione e problematiche strutturali

Molte aree anomale in aree di pianura sono localizzate in corrispondenza di rilevati ferroviari o stradali, in questo caso l'identificazione della causa dei movimenti richiede studi più dettagliati (Fig.3.66).

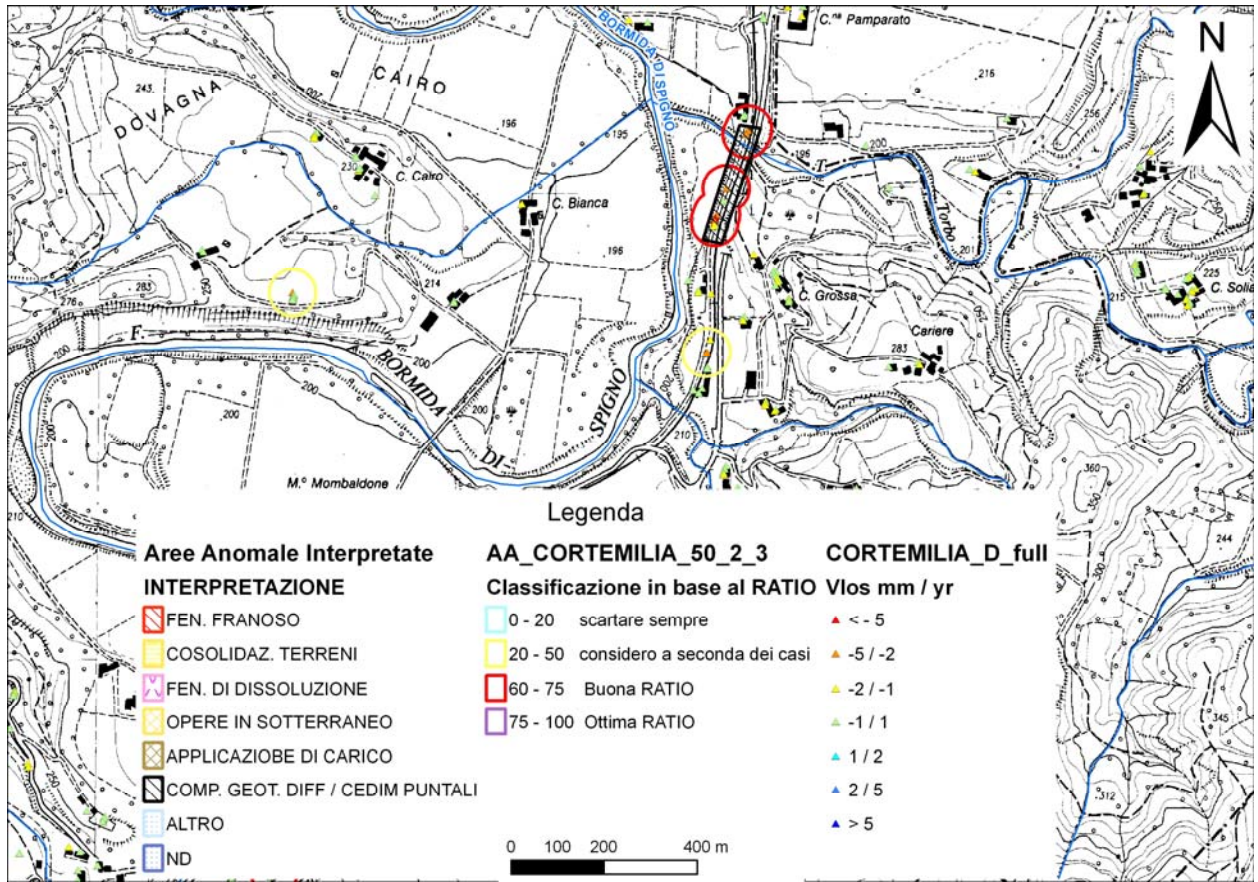


Fig. 3. 66. Esempio di cedimento di rilevato ferroviario (causa n.d.)

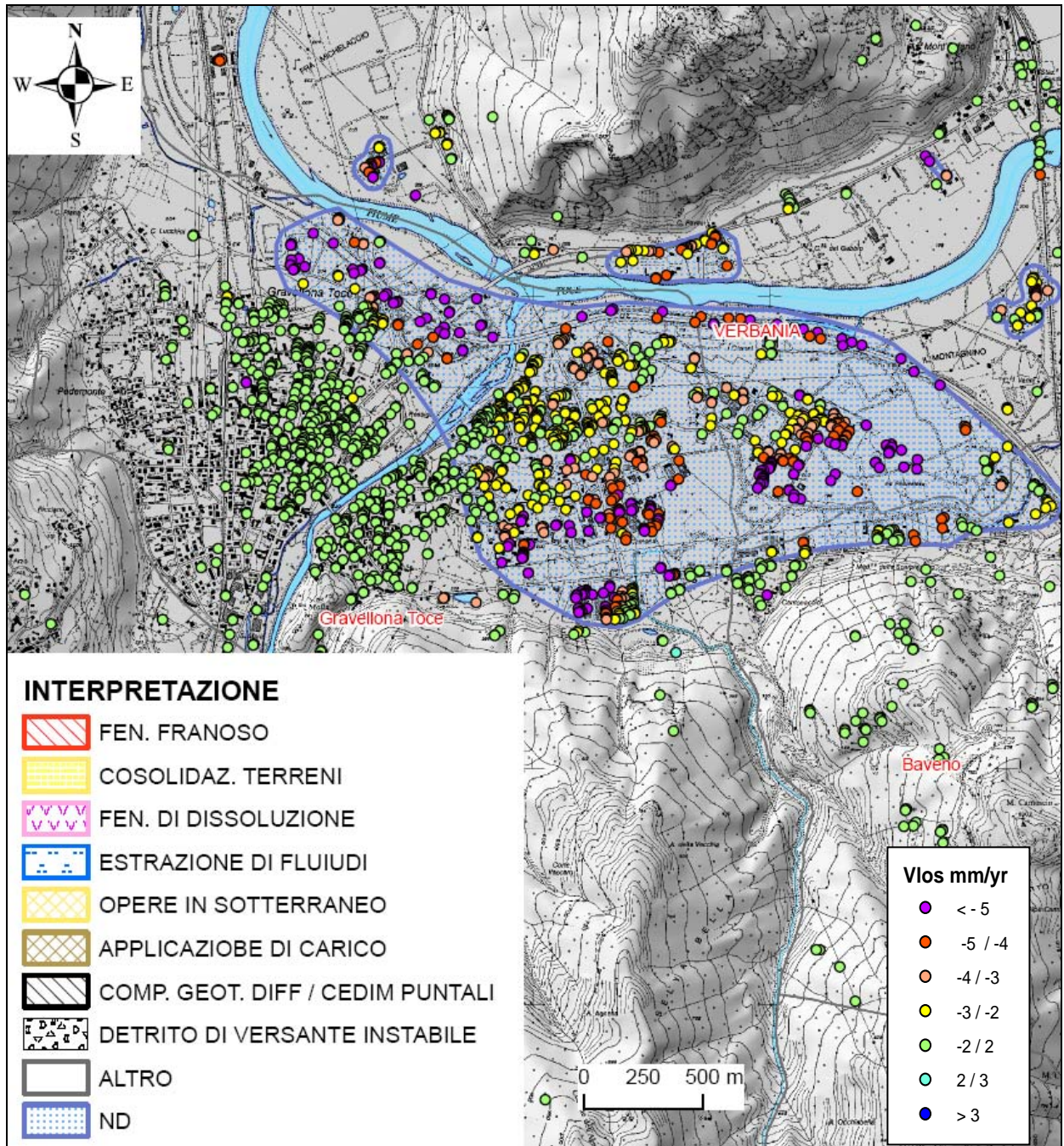


Fig. 3. 67. Gravelona toce (ND) L'area con maggiori cedimenti corrisponde ad un'area industriale di recente costruzione edificata su terreno di riporto, cedimenti analoghi anche lungo il rilevato dell'autostrada

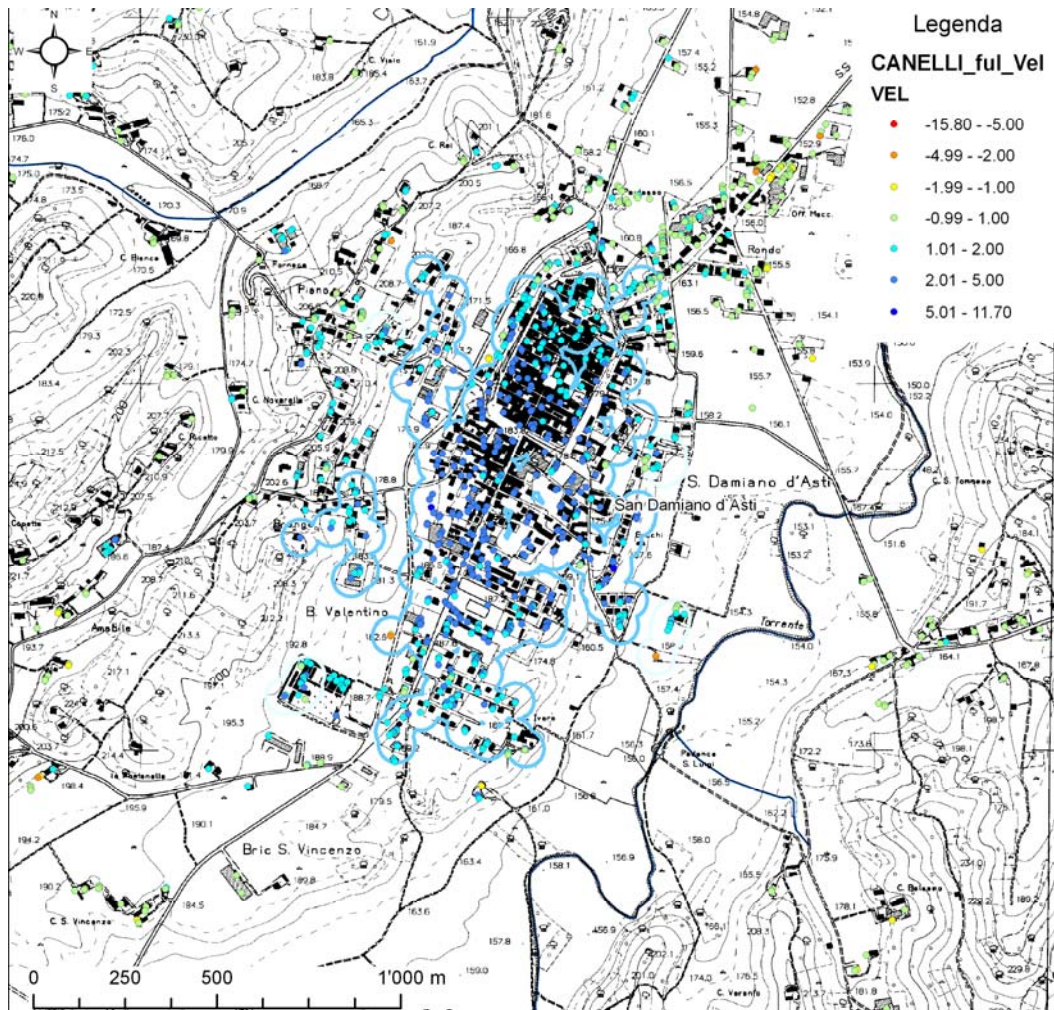


Fig. 3. 68. Esempio di area anomala in sollevamento di cui non è stata determinata la causa (causa n.d.)

3.2.2. Sviluppo e compilazione di un database riguardante le aree anomale

Il processo di analisi descritto nei paragrafi precedenti sia esso di tipo automatico che manuale, porta alla formazione di aree di interesse-anomale, caratterizzate come nel capitolo 3.1, da particolari pattern dei PS sia in termini di numerosità, di spazialità (relazione con strutture antropiche e morfologiche) che in termini di valori di velocità e coerenza.

Queste aree di interesse non rappresentano dei prodotti geologici pronti all'uso, anzi nella maggior parte dei casi sono state “segnalate” dal complesso operatore-sistema come degni di nota, su cui operare analisi specifiche finalizzate all'interpretazione preliminare descritta nel capitolo 3.2..

Per un utilizzo delle informazioni raccolte sotto forma di “aree anomale”, sulla base dell'esperienza della Regione Lombardia, si è sviluppato un sistema costituito da un database integrato ad un GIS.

L'intento è quello di fornire agli utenti un'interfaccia semplice ma capace di arricchire il prodotto dalla fase 1, mettendo a disposizione un ambito capace di portare alla vista tutte le informazioni disponibili, a concretizzare l'iniziativa di interpretazione geologica e rappresenta quindi un ambito a valore aggiunto. Di fondamentale importanza, inoltre, la possibilità di poter archiviare una serie di informazioni indirette legate alla tecnica PSInSAR. Tra queste si possono annoverare le informazioni legate ai bersagli che identificano PS, la loro posizione nello spazio, la tipologia dell'elemento fisico o antropico ecc.. Inoltre esso permette:

- la gestione del complesso di informazioni del 2 livello di flusso di lavoro
- la pubblicazione e reportistica

Il database dbradar, messo a punto congiuntamente ad ARPA Piemonte, consiste in più maschere riguardanti:

- i dati generali (Fig.3.69)
- il processo di elaborazione (Fig.3.70)
- le statistiche (Fig.3.71)
- le indagini (Fig.3.72)
- l'identificazione dei PS (Fig.3.73)
- l'interpretazione (Fig.3.74)
- i dati iconografici (Fig.3.75)

Nel database sono state inserite le aree anomale aggregate manuali.

Scheda analisi radar

Codice Scheda: 36

Dati Generali | Processo di elaborazione | Statistiche | Indagini

Identificazione PS | Interpretazione | Dati iconografici

Inquadramento geografico

Provincia: Alessandria
 Comune: Fabbrica Curone
 Località: Forotondo
 Sezione CTR: 196070

Coordinate UTM

x: 514753 y: 4955190
 quota: 839

Altre informazioni

Ambiente: Appennino/CollinaTo
 Esposizione: Ovest
 Uso suolo: Colt. agrarie prevalenti con preser
 Posizione: Parte bassa del versante

Compilazione

Data: 14/10/2007
 Compilatore: Marco Sala
 Istituzione: Università di Pavia

Ultima Modifica

Data: 18/02/2008
 Compilatore: Marco Sala
 Istituzione: Università di Pavia

Note

Fenomeno franoso descritto in tesi inedita "Analisi dello stato di dissesto del versante destro della val Curone (comune di Fabbrica Curone)", pp. 148-151, Alessia Cagni, Università degli studi di Pavia, Anno Accademico 2005-2006.

record: 32 di 119

Fig. 3. 69. Schema database DB-RADAR. Dati generali: nel campo note sono stati riportati i riferimenti bibliografici

Scheda analisi radar

Codice Scheda: 36

Dati Generali | **Processo di elaborazione** | Statistiche | Indagini

Identificazione PS | Interpretazione | Dati iconografici

Origine dati

Fornitore: TRE Europa
 Sensore: ERS-1/2
 Metodologia: SPSA-HR
 Periodo da: 30 Aprile 1992
 Periodo a: 03 dicembre 2000
 Anno elaborazione: 20061020
 Versione Software: PSproc.py
 n° Track: 480 / 2709
 Dataset rif: Ovada
 Punto rif: REF

Metodo interpretazione

Tipo: VISIVO
 Metodo: aggregatore1
 Scala analisi: 1:10.000
 n° min PS: 3
 Vel. soglia: v > 1,5 v < -1,5 mm/y
 Ambito: 50 m
 Compilatore:
 Descrizione:

record: 32 di 119

Fig. 3. 70. Schema database DB-RADAR. Processo di elaborazione: il campo metodo non è stato compilato

Scheda analisi radar

Codice Scheda: 36

Dati Generali | Statistiche | Indagini

Identificazione PS | Interpretazione | Dati iconografici

Statistiche

numero PS: 4

Area: 4087

	min	max	avg	
Velocità:	-9,92	-1,52	-5,6550000	Ratio: 100
Coerenza min:	0,58	0,65	0,6100000	

record: 32 di 119

Fig. 3. 71. Schema database DB-RADAR . Statistiche: la ratio rappresenta il rapporto tra PS in movimento e PS totali presenti nell'area anomala aggregata

Scheda analisi radar

Codice Scheda: 36

Dati Generali | Interpretazione | Indagini

Identificazione PS | Interpretazione | Dati iconografici

metodologia

- n.d.
- fotointerpretazione
- terreno
- monitoraggio
- dato storico
- segnalazione

data sopralluogo

08/02/2008

descrizione

I due PS con velocità di abbassamento maggiore (posti più a nord) corrispondono o a strutture in lamiera poggianti su una fondazione in cemento non lesionata oppure all'edificio adiacente che presenta alcune lesioni non serie. Dei restanti due PS quello più a sud è in corrispondenza di un edificio in fase di ristrutturazione e sottoconsolidato con micropali a causa dei numerosi problemi

evidenze morfologiche

record: 32 di 119

Fig. 3. 72. Schema database DB-RADAR. Indagini.

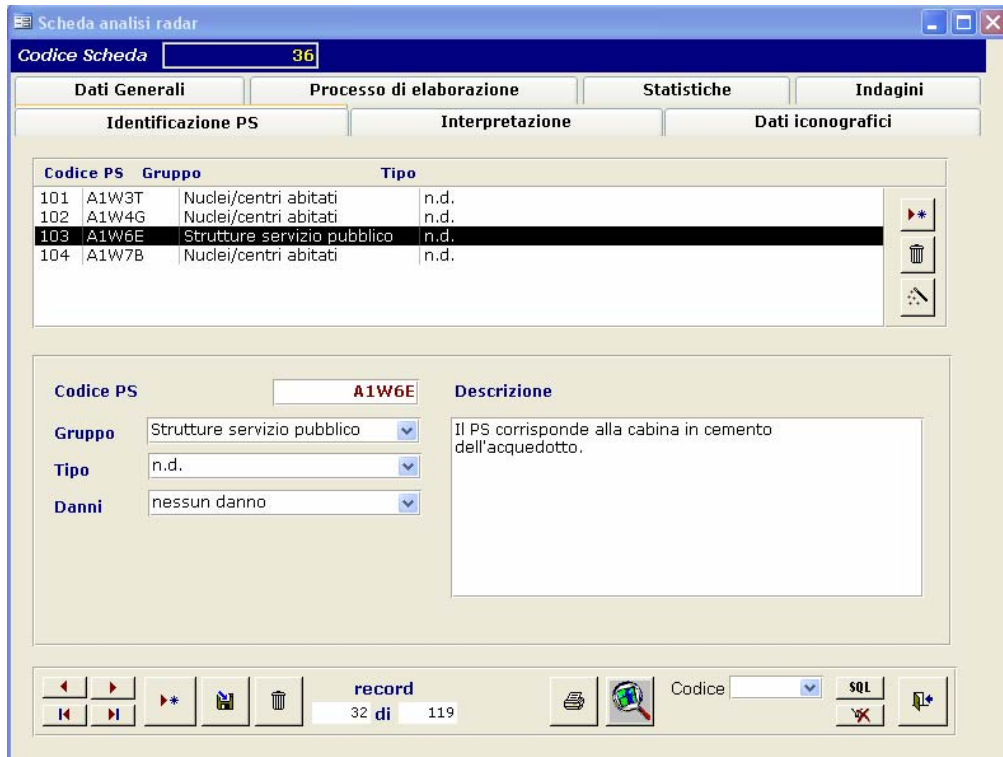


Fig. 3. 73. Schema database DB-RADAR. Identificazione dei PS.

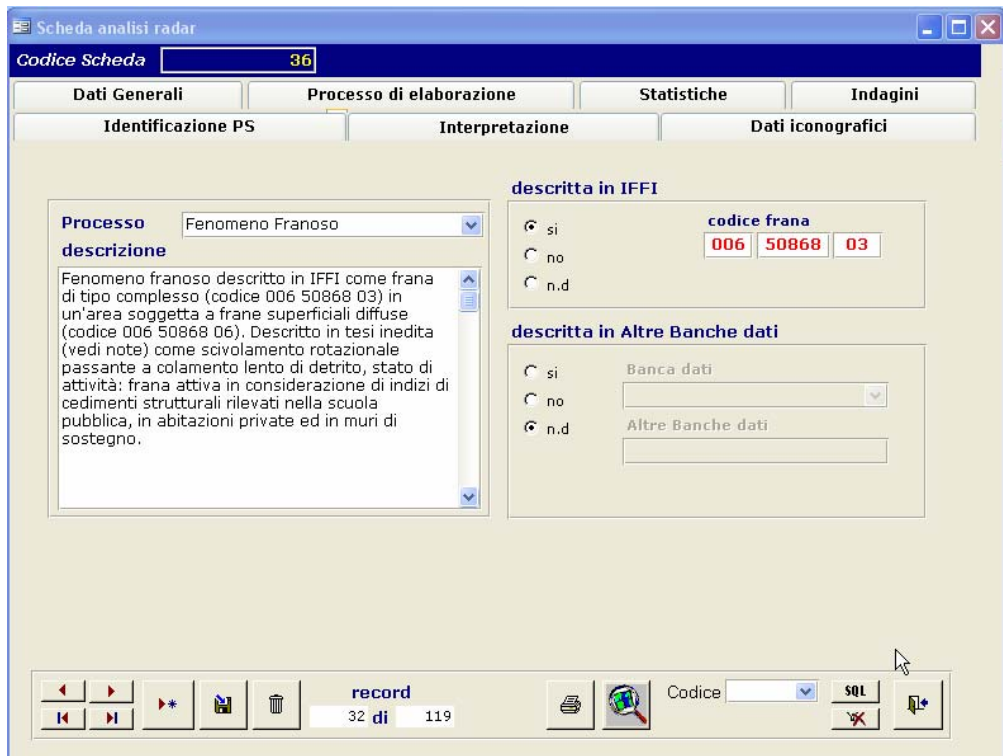


Fig. 3. 74. Schema database DB-RADAR. Interpretazione.

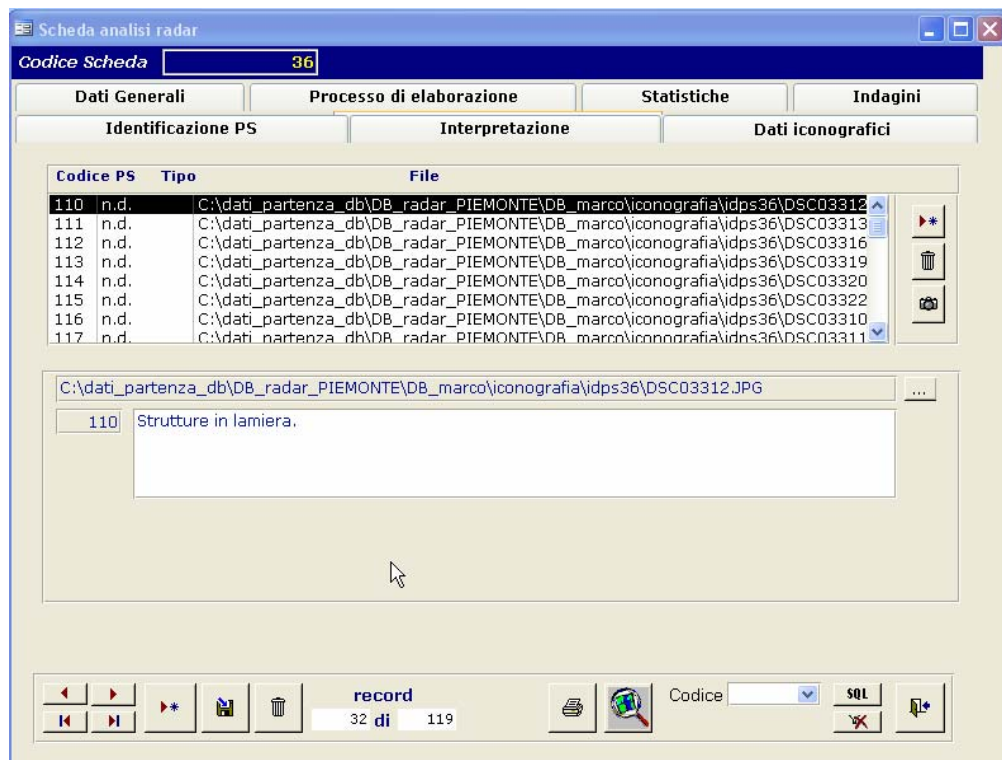


Fig. 3. 75. Schema database DB-RADAR . Dati iconografici.

3.2.3. Identificazione dei fenomeni franosi

La metodologia proposta si riferisce all'utilizzo della tecnica PSInSAR nell'identificazione dei fenomeni franosi a scala regionale e alla definizione del loro stato di attività relativamente al periodo di monitoraggio satellitare (1992-2001) (Fig.3.76).

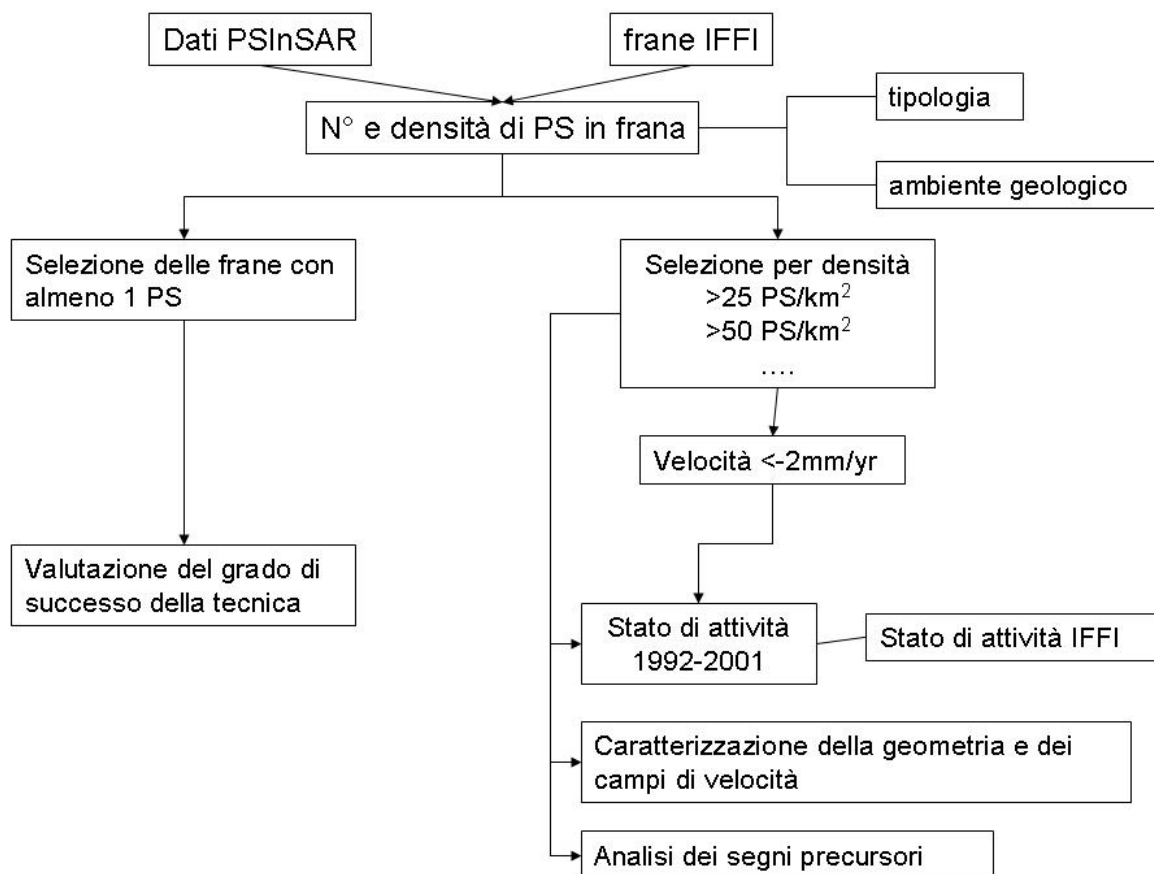


Fig. 3. 76. Identificazione di fenomeni franosi a scala regionale mediante la tecnica PSInSAR.

3.2.3.1. Numero e densità dei PS in frana

L'analisi della distribuzione dei dati PSInSAR rispetto ai fenomeni franosi è stata condotta in relazione ai diversi ambiti geologici della Regione Piemonte (Alpi e Prealpi, Langhe e Monferrato, Appennino e collina) e alla diversa tipologia. La semplice sovrapposizione in ambiente GIS dei due layer, ovvero i datasets PSInSAR (full) e l'inventario IFFI, ha permesso di individuare la percentuale di fenomeni franosi che dispongono di informazioni interferometriche (Tab. 3.5, 3.6, 3.7).

Nel settore alpino e prealpino il 21% dei fenomeni franosi presenta almeno 1 PS; i dati interferometrici sono per lo più localizzati (83,5% in termine areali) in corrispondenza delle cosiddette "grandi frane" (frane profonde caratterizzate da un'estensione maggiore di 0,2 km² e

da movimenti lenti e continui che ben si prestano all'applicazione della tecnica PSInSAR). Per questa tipologia di frana nel 60% dei casi i PS hanno registrato movimenti significativi ($<-+2$ mm/yr).

DESCRIZIONE TIPO	TIPO	n° frane	n° frane con almeno 1 PS	n° frane con ratio >50 e densità >25 PS/km2	% frane con almeno 1 PS	% frane con ratio >50 e densità >25 PS/km2
nd	0	339	42	1	12%	0.3%
frana di crollo	1	1627	275	26	17%	1.6%
scivolamento rotazionale - traslazionale	2	1388	243	29	18%	2.1%
colamento lento	4	523	79	5	15%	1.0%
colamento rapido	5	895	88	10	10%	1.1%
spfondamento	6	2			0%	0.0%
complesso	7	1480	400	46	27%	3.1%
DGPV	8	562	252	25	45%	4.4%
area soggetta a crolli/ribaltamenti diffusi	9	4549	1080	46	24%	1.0%
area soggetta a sprofondamenti	10	5			0%	0.0%
area soggetta a frane sup. diffuse	11	944	128	8	14%	0.8%
tot		12314	2587	196	21%	1.6%

Tab.3. 5. Distribuzione dei dati PSInSAR in corrispondenza di fenomeni franosi in ambiente alpino e prealpino.

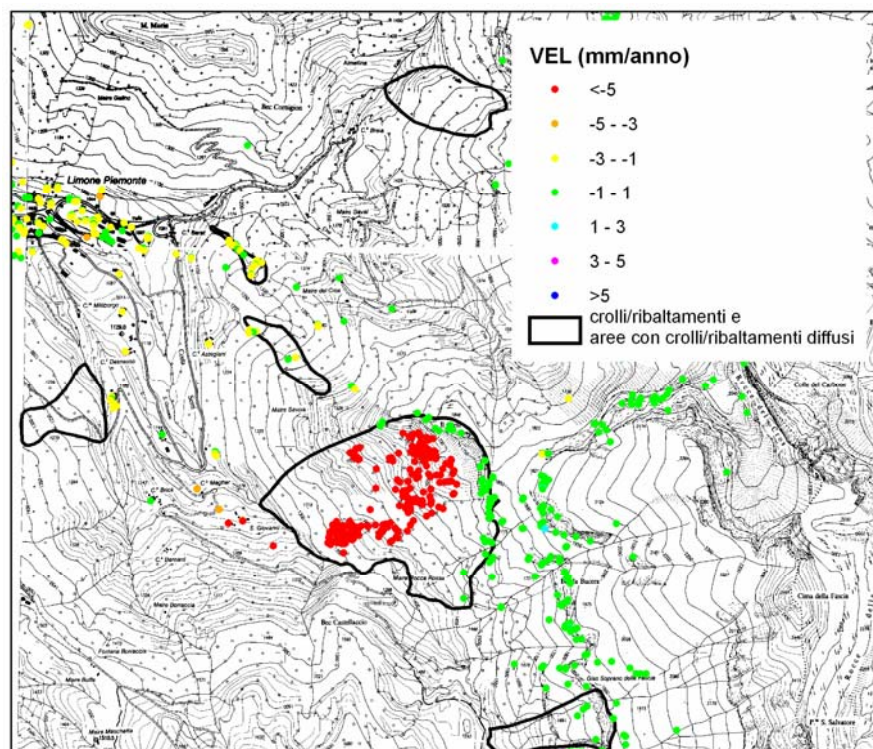


Fig. 3. 77. Esempio di frana di crollo con PS caratterizzati da movimenti significativi.

E' da sottolineare la presenza elevata di PS (con densità molto alta, in alcuni casi anche $>1000\text{PS}/\text{km}^2$) in corrispondenza di crolli/ribaltamenti e di aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi, ovvero di frane a cinematiso rapido. I PS sono generalmente localizzati in corrispondenza delle pareti di roccia e degli accumuli di detrito al piede del versante, che, per le loro caratteristiche geometriche e per il fatto di essere costituiti da roccia nuda o da blocchi di roccia, sono dei buoni riflettori. Solo il 18% delle frane di questa tipologia con informazioni interferometriche presenta PS con significativi movimenti di abbassamento ($<-2\text{mm}/\text{yr}$) (Fig.3.77).

In Appennino la percentuale di frane con informazioni interferometriche scende 6 % e si abbassa ulteriormente nella zona delle Langhe e del Monferrato (8%) (Tab. 3.4. e 3.5).

DESCRIZIONE TIPO	TIPO	n° frane	n° frane con almeno 1 PS	n° frane con ratio >50 e densità >25 PS/km2	% frane con almeno 1 PS	% frane con ratio >50 e densità >25 PS/km2
nd	0	667	27	3	4%	0.4%
frana di crollo	1	23			0%	0.0%
scivolamento rotazionale - traslazionale	2	2239	81	8	4%	0.4%
colamento lento	4	1146	91	12	8%	1.0%
colamento rapido	5	409	19	1	5%	0.2%
sprofondamento	6	19	2		11%	0.0%
complesso	7	556	85	12	15%	2.2%
DGPV	8	2			0%	0.0%
area soggetta a crolli/ribaltamenti diffusi	9	3	1		33%	0.0%
area soggetta a frane sup. diffuse	11	179	10	1	6%	0.6%
	Tot	5243	316	37	6%	0.7%

Tab.3. 6. Distribuzione dei dati PSInSAR in corrispondenza di fenomeni franosi in ambiente collinare e appenninico.

DESCRIZIONE TIPO	TIPO	n° frane	n° frane con almeno 1 PS	n° frane con ratio >50 e densità >25 PS/km2	% frane con almeno 1 PS	% frane con ratio >50 e densità >25 PS/km2
nd	0	62	2		3%	0.0%
frana di crollo	1	19			0%	0.0%
scivolamento rotazionale - traslazionale	2	4953	240	22	5%	0.4%
colamento lento	4	1257	43	8	3%	0.6%
colamento rapido	5	135			0%	0.0%
sprofondamento	6	13	1		8%	0.0%
complesso	7	271	39	6	14%	2.2%
DGPV	8	2			0%	0.0%
area soggetta a crolli/ribaltamenti diffusi	9	51	6	1	12%	2.0%
area soggetta a frane sup. diffuse	11	4216	308	11	7%	0.3%
sett carg	12	738	328	8	44%	1.1%
Tot		11717	967	56	8%	0.5%

Tab.3. 7. Distribuzione dei dati PSInSAR in corrispondenza di fenomeni franosi nelle Langhe e nel Monferrato.

I risultati ottenuti indicano il buon successo della tecnica nell'identificazione dei fenomeni franosi soprattutto in ambiente alpino, dove la presenza di frane a cinematismo lento ed estremamente lento (Fig.3.78) e situate su versanti esposti a W-NW (situazione ottimale nel caso di orbita discendente) ha sicuramente contribuito alla presenza di un numero elevato di PS. Le percentuali inferiori riscontrate negli altri ambienti sono attribuibili a:

- aree vegetate che limitano la presenza di PS (Appennino);
- frane a cinematismo intermittente, caratterizzate da movimenti rapidi connessi ad eventi alluvionali intensi (Appennino);
- evento alluvionale del Novembre 1994, che ha portato alla riattivazione/attivazione di fenomeni franosi rapidi (Langhe).

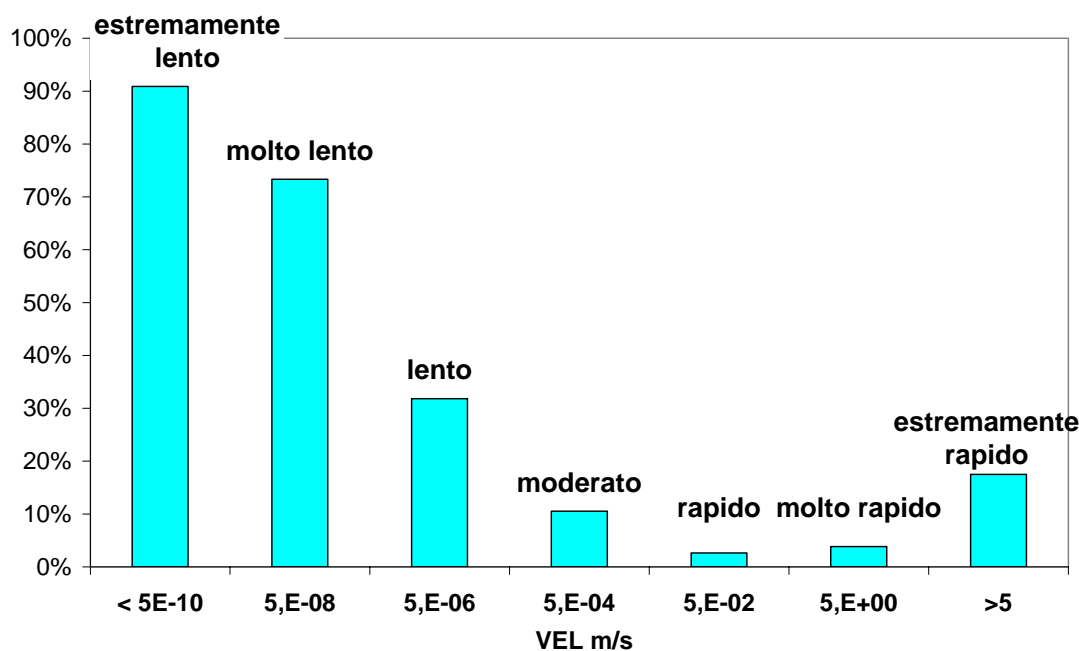


Fig. 3. 78. Percentuale frane classificate in funzione della loro velocità con almeno 1 PS (velocità desunte da IFFI). Si osserva che nel caso di fenomeni lenti ed estremamente lenti il 90 % presenta almeno 1 PS .

3.2.3.2. Determinazione dello stato di attività

Lo stato di attività determinato mediante la tecnica PSInSAR si riferisce al periodo di monitoraggio 1992-2001. A scala regionale la sua definizione richiede la selezione delle frane caratterizzate da una certa densità di bersagli permanenti (almeno 25 PS/km²) e l'individuazione di una soglia di velocità critica (sono state considerate attive le frane con $V_{LOS\text{minima}} < -2\text{mm/yr}$).

La definizione dello stato di attività dei fenomeni gravitativi risente profondamente dell'approccio metodologico utilizzato nella fase di rilevamento dei caratteri cinematici propri di ogni frana, in quanto ogni metodo fornisce indicazioni di differente dettaglio ed affidabilità. L'inventario IFFI Piemonte ha definito lo stato di attività delle frane mediante un approccio essenzialmente geomorfologico, principalmente basato sulla fotointerpretazione. Questo ha reso difficoltoso il confronto con lo stato di attività desunto dai dati PSInSAR.

3.2.3.3. Contributo della tecnica PSInSAR all'identificazione e allo studio dei fenomeni franosi in relazione alla tipologia di frana e all'ambiente geologico

1) Grandi frane permanenti nelle Alpi

Si tratta di fenomeni che si sviluppano nel tempo e nello spazio in modo permanente con dislocazione di tutta la massa o di parte di essa e spostamenti lenti e contenuti (Ramasco et al. 2002). Le grandi frane permanenti presentano le seguenti caratteristiche (Fig.3.79):

- Estensione > 0,2 km²
- Superfici di movimento profonde in roccia
- Velocità ridotte (da pochi millimetri ad alcuni centimetri anno)
- Movimenti tendenzialmente regolari e lineari con delle accelerazioni localizzate nel tempo
- Possibilità di fenomeni secondari più superficiali ad essi interconnessi (crolli, ribaltamenti, debris flows, fenomeni istantanei in genere).

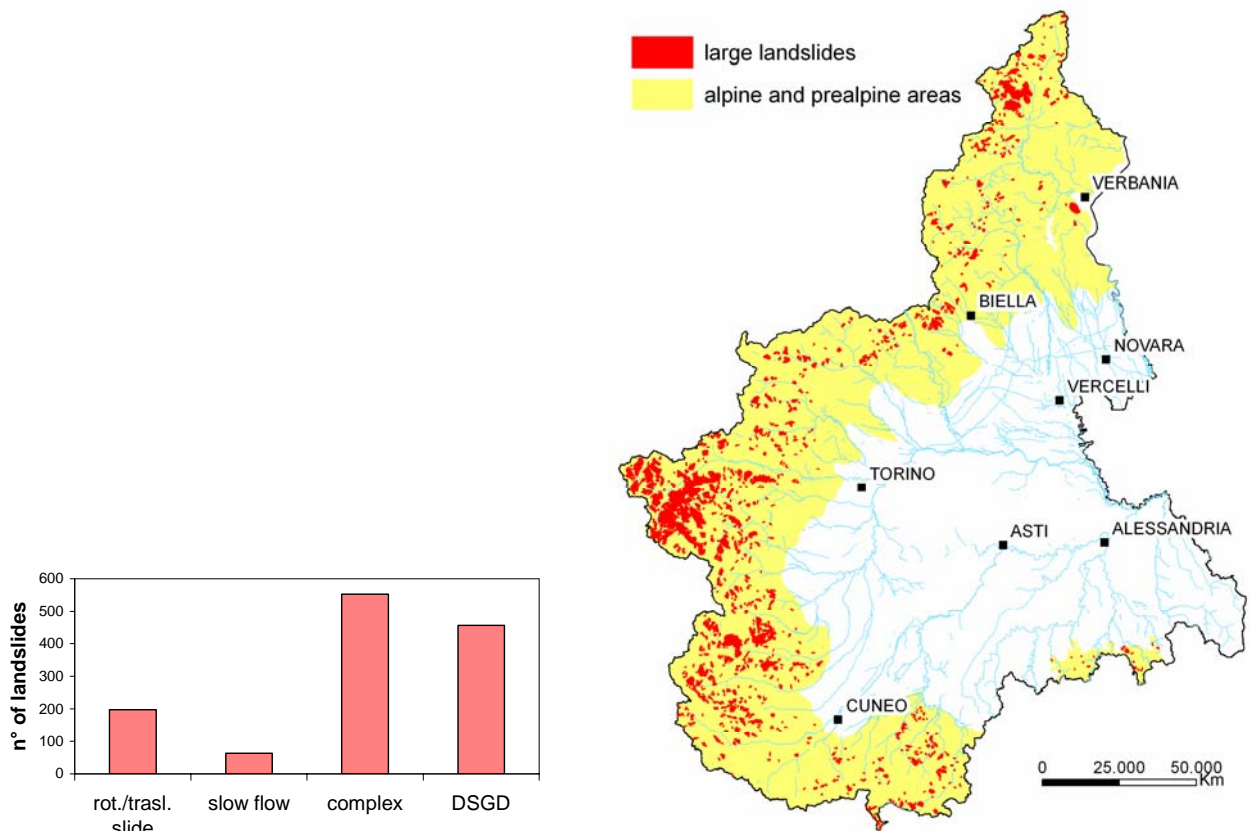


Fig. 3.79. Distribuzione e tipologie delle grandi frane permanenti in ambiente alpino e pre-alpino.

Lo studio e la comprensione di questi fenomeni risultano difficoltosi a causa di una serie di fattori quali:

- Difficoltà nella caratterizzazione della loro geometria e dei campi di velocità (difficoltà nel definire un limite netto tra aree interessate dalla DGPV ed aree indenni)
- Difficoltà nel comprendere a fondo i loro cinematismi

- La probabilità che si verifichi un evento parossistico che coinvolga l'intero ammasso è molto bassa, ma le conseguenze di un evento del genere possono essere disastrose (es. Val Pola, Vajont)
- Movimenti talmente lenti (quasi statico) in taluni casi al di sotto dell'errore strumentale delle tecniche di monitoraggio tradizionale.

Sono riportati di seguito alcuni esempi illustranti il contributo che la tecnica PSInSAR può fornire allo studio e alla comprensione di tali fenomeni.

a) Identificazione dei fenomeni

Tali frane sono in molti casi ubicate su versanti esposti a N-NW e ben si prestano di conseguenza all'applicazione della tecnica PSInSAR (orbita discendente), come comprovato dal fatto che il 21% delle grandi frane è caratterizzato da una densità di PS superiore a 50PS/km² (Fig.3.80). Le principali problematiche sono rappresentate da

- presenza di detrito superficiale, che come già più volte detto, può rendere difficile discriminare tra movimenti superficiali stagionali, creep e movimenti profondi;
- la presenza di aree vegetate e innevate, le quote elevate possono talora comportare una densità bassa di PS, spesso concentrati nella zona di fondovalle (Fig.3.80).

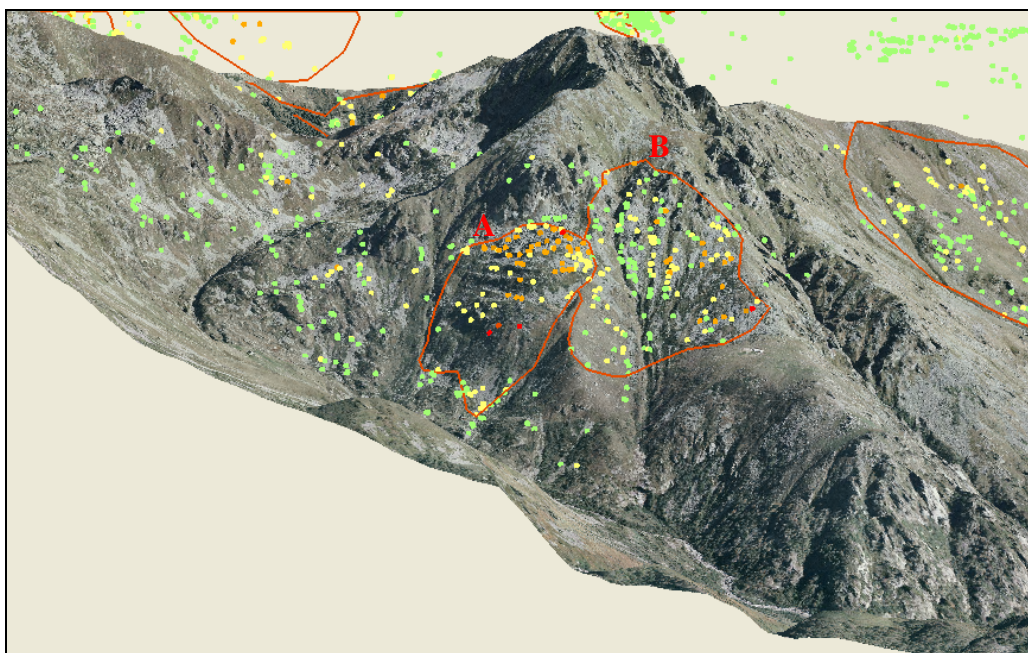


Fig. 3. 80. DGPV del M. Mucrone A (dataset Alagna, comune di Pollone- BI).

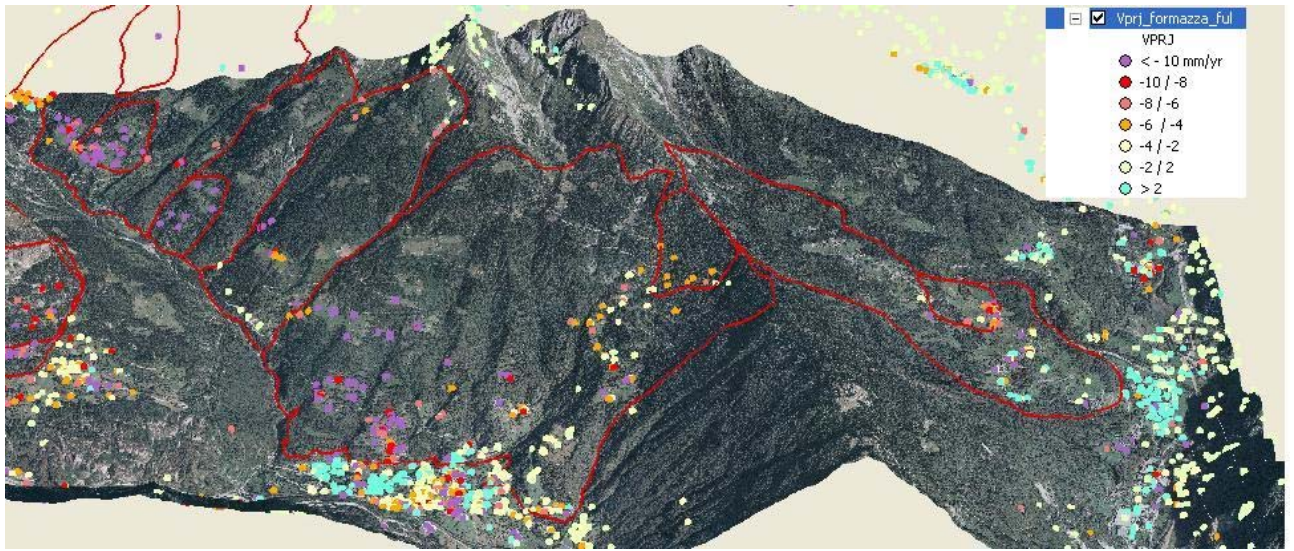


Fig. 3. 81. Settore della Valdossola tra Baceno, Crodo e Varzo, caratterizzato dalla presenza di deformazioni gravitative profonde di versante.

b) Caratterizzazione della geometria e dei campi di velocità

L'elevata densità dei PS può fornire un contributo nella caratterizzazione della geometria della frana (distinzione tra aree stabili e non stabili, suddivisione in diversi settori a partire dalla distribuzione dei PS e delle loro velocità) e di conseguenza nella comprensione dei cinematismi (Fig.3.82).

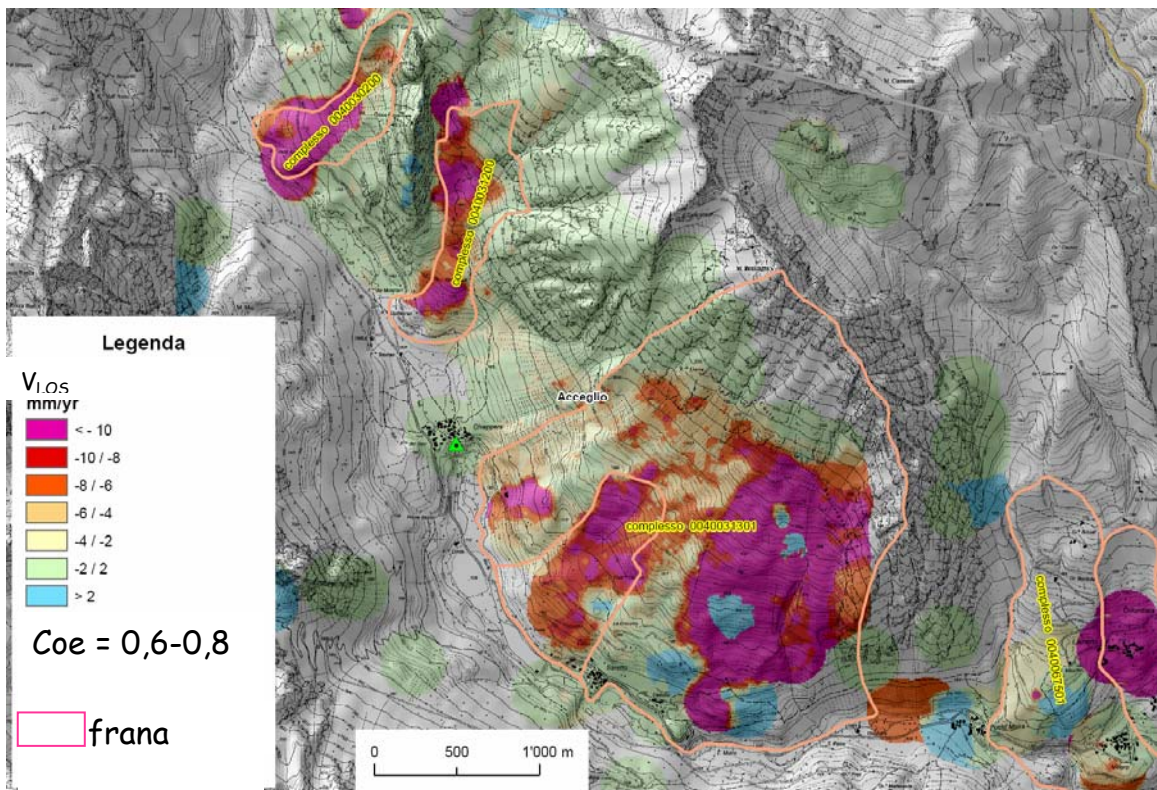


Fig. 3. 82. Frana di Acceglio (CN) (Area: 5,1 km²). La frana è caratterizzata da densità di PS molto elevata (96 PS/km²). La VLOS è stata interpolata con metodo IDW e ha permesso di evidenziare settori della frana caratterizzati da velocità differenti.

c) Analisi dei segni precursori (previsione delle deformazioni) Sono in grado i PS di identificare la fase di pre-rottura?

La DGPV dell'Alpe Baranca si sviluppa sul versante sinistro dell'alta Val Mastallone coinvolgendo totalmente un tratto di questo versante dalla cresta spartiacque fino al fondovalle. Il fenomeno ha coinvolto rocce appartenenti alla Serie Sesia-Val di Lanzo, rappresentate da micascisti e gneiss minuti, localmente molto fratturati, talora tettonizzati.

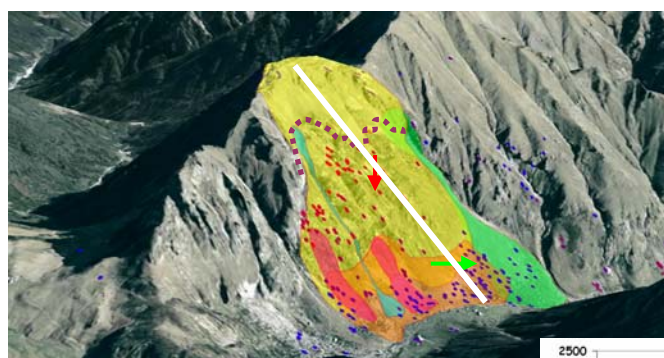
La Deformazione Gravitativa Profonda di Versante è caratterizzata da due settori nettamente differenziati dal punto di vista geomorfologico e dalla distribuzione delle V_{LOS} dei bersagli permanenti (Fig.3.83):

- un settore sommitale dove una serie di trench e sdoppiamenti di cresta dislocano la parte più francamente rocciosa della dorsale spartiacque
- un settore centrale di maggiori dimensioni, contornato da una fascia di pareti rocciose che costituiscono una sorta di coronamento e caratterizzato da un marcato rigonfiamento dovuto a fenomeni di dilatanza dell' ammasso roccioso, al piede del quale si trovano consistenti falde di detrito.

Nella primavera del 2001 è comparsa una frattura che si estende per circa 650 m con un rigetto di 4-6 m verosimilmente riferibile all'evento dell'ottobre 2000.

In figura 3.83 vengono confrontate le variazioni della V_{LOS} lungo il profilo topografico in asse frana. Il settore sommitale della DGPV risulta stabile ($V_{LOS}=0$), la parte intermedia presenta delle velocità elevate (>-16 mm/yr) rispetto al settore sommitale e al piede della frana. La brusca variazione di V_{LOS} nella porzione intermedia appare correlata alla frattura che si è formata nella primavera 2001. In questo caso quindi le deformazioni pre-rottura sono ben visibili nel profilo delle V_{LOS} .

Analisi dei segni precursori (previsione delle deformazioni)



Alpi:
DGPV
Alpe Baranca (VC)

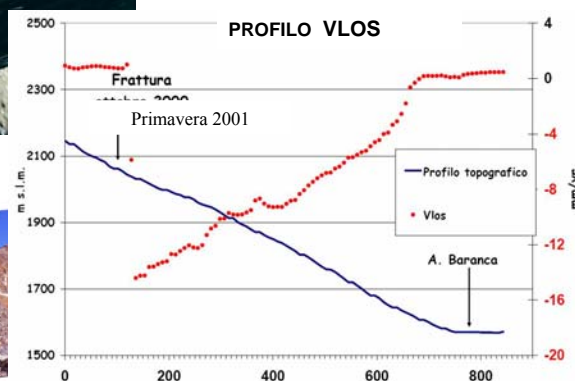


Fig. 3. 83. DGPV Alpe Baranca.

2) Scivolamenti planari nelle Langhe

Il territorio delle Langhe è costituito da una vasta area collinare interessata da una serie di processi di instabilità per traslazione (scivolamenti planari). Le forme del rilievo sono condizionate dalla situazione strutturale, che ha portato alla formazione di un paesaggio a valli asimmetriche caratterizzate da versanti “lunghi” a scarsa pendenza (10° - 12°) immergenti a Nord-Ovest con stratificazione a franapoggio, e versanti “corti” ad elevata pendenza (30° - 40°) immergenti a Sud-Est con stratificazione a reggipoggio. Gli scivolamenti planari si attivano nelle formazioni tardo mioceniche, costituite in prevalenza da litotipi marnosi, marnoso-siltosi ed arenaceo-sabbiosi in successioni ritmiche e disposte con una giacitura monoclinale immergente verso NW con debole inclinazione (8 - 12°). La quota del piano di scivolamento varia da 2-3 m al di sotto del piano di campagna ad oltre 15 m, con massime profondità di circa 40 m. Tali movimenti si originano lungo giunti aventi inclinazioni prossime a quelle dei pendii disposti a franapoggio e sono caratterizzati da un’alta ripetitività. I fattori scatenanti possono essere ricondotti essenzialmente alle particolari condizioni idrodinamiche che si instaurano lungo i versanti in seguito ad eccezionali eventi infiltrativi (Forlati & Campus, 1996).

Per quanto riguarda il cinematisimo, questo passa attraverso:

- Una prima fase preparatoria che può perdurare nel tempo anche per alcuni decenni ma che si può ridurre a scarsi segnali premonitori precedenti di poche ore o minuti il collasso vero e proprio.
- Il movimento propriamente detto, cioè la traslazione in massa di uno o più blocchi solidali che dura in genere da alcune ore, nei fenomeni più ampi, sino a pochi minuti, in quelli più circoscritti.
- Una terza ed ultima fase comprende poi movimenti relativi di adattamento e demolizione delle zolle traslate fino a giungere, in tempo relativamente breve e per gran parte dei fenomeni, alla costituzione di una copertura detritica continua che oblitera il piano di scorrimento già visibile e nella quale mal si distinguono vaghe prominente derivate dalle masse più voluminose.

a) Identificazione dei fenomeni

Durante il periodo di monitoraggio satellitare l’evento alluvionale del Novembre 1994 ha comportato situazioni di stabilità generalizzate a vaste porzioni di versante, in particolare sono stati censiti oltre 1000 fenomeni di scivolamento planare.

In Fig.3.84 sono riportate le frane dell’evento del 1994 e le aree anomale individuate nel presente studio. Dal loro confronto emerge che nessuna area anomala si trova in corrispondenza delle frane dell’evento 1994. Tale fatto è probabilmente dovuto alle elevate deformazioni (durante la fase di collasso si registrano velocità variabili da alcuni decimetri a centinaia di metri all’ora) che hanno comportato la perdita di coerenza dei PS.

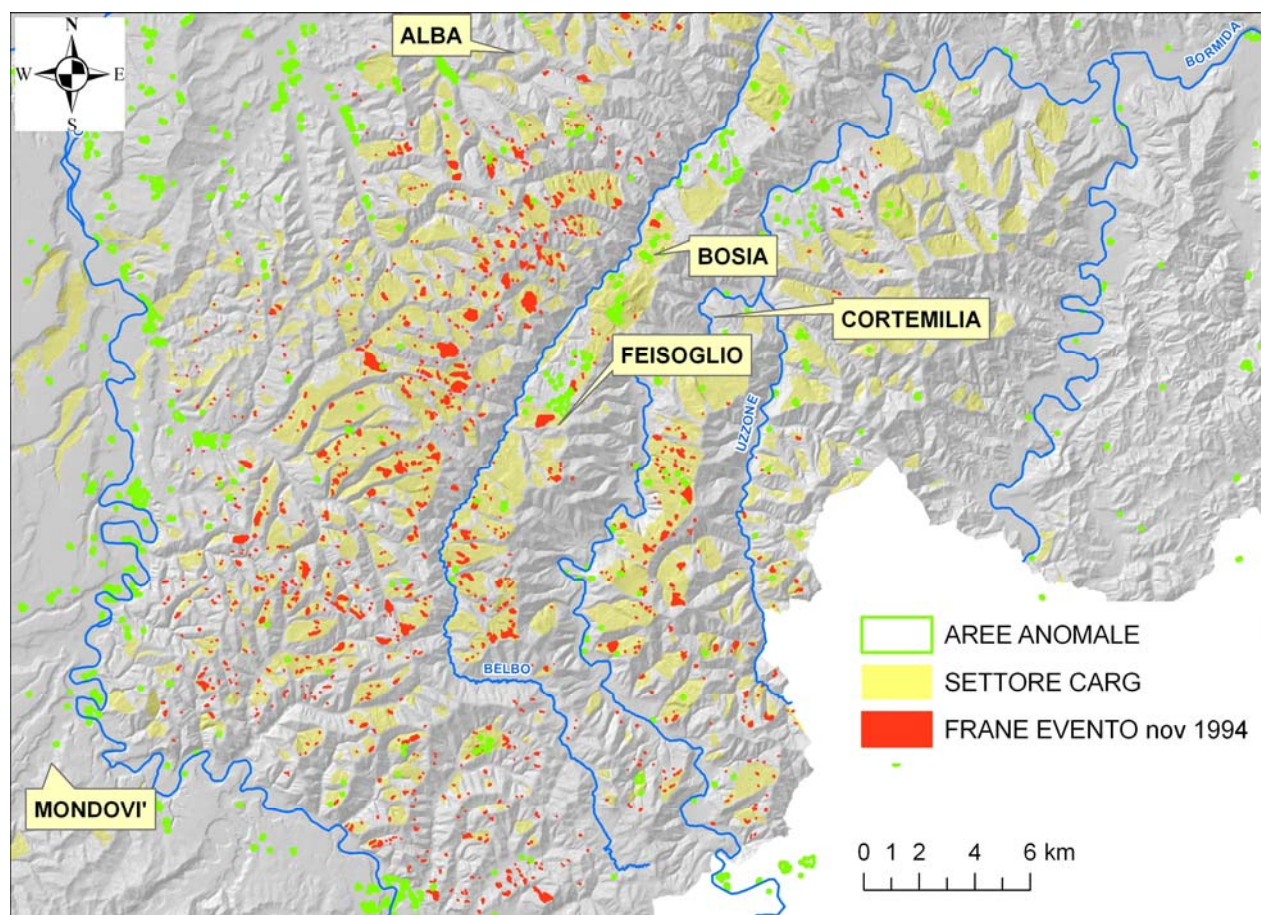


Fig. 3. 84. Confronto tra la distribuzione delle aree anomale, le frane dell'evento alluvionale del Novembre 2004 e i "settori Carg"

Il progetto CARG ha introdotto il concetto di "settore" definito come unità morfologica, che si può estendere a interi versanti, individuata dalla presenza di frane pregresse, di elementi morfostutturali non databili legati alla dinamica gravitativi. Tale unità rappresenta la normale evoluzione dei versanti per frane di scivolamento planare, secondo uno stile successivo e/o multiplo, ma talora può coincidere con un unico corpo di frana di grandi dimensioni.

Molte delle aree anomale individuate ricadono in corrispondenza di questi settori. In particolare appare interessante la concentrazione di queste aree in un tratto di versante tra Bosia e Feisoglio (Fig.3.85). In questa zona sono presenti alcune delle frane di maggiori dimensioni che si sono attivate in epoca storica. Le velocità che in questo caso sono state proiettate lungo il pendio (vedi capitolo successivo) ed interpolate mettono in evidenza movimenti anche superiori ai 5 mm/yr che potrebbero essere in relazione a movimenti di assestamento post-rottura (terza fase dell'evoluzione di questi fenomeni).

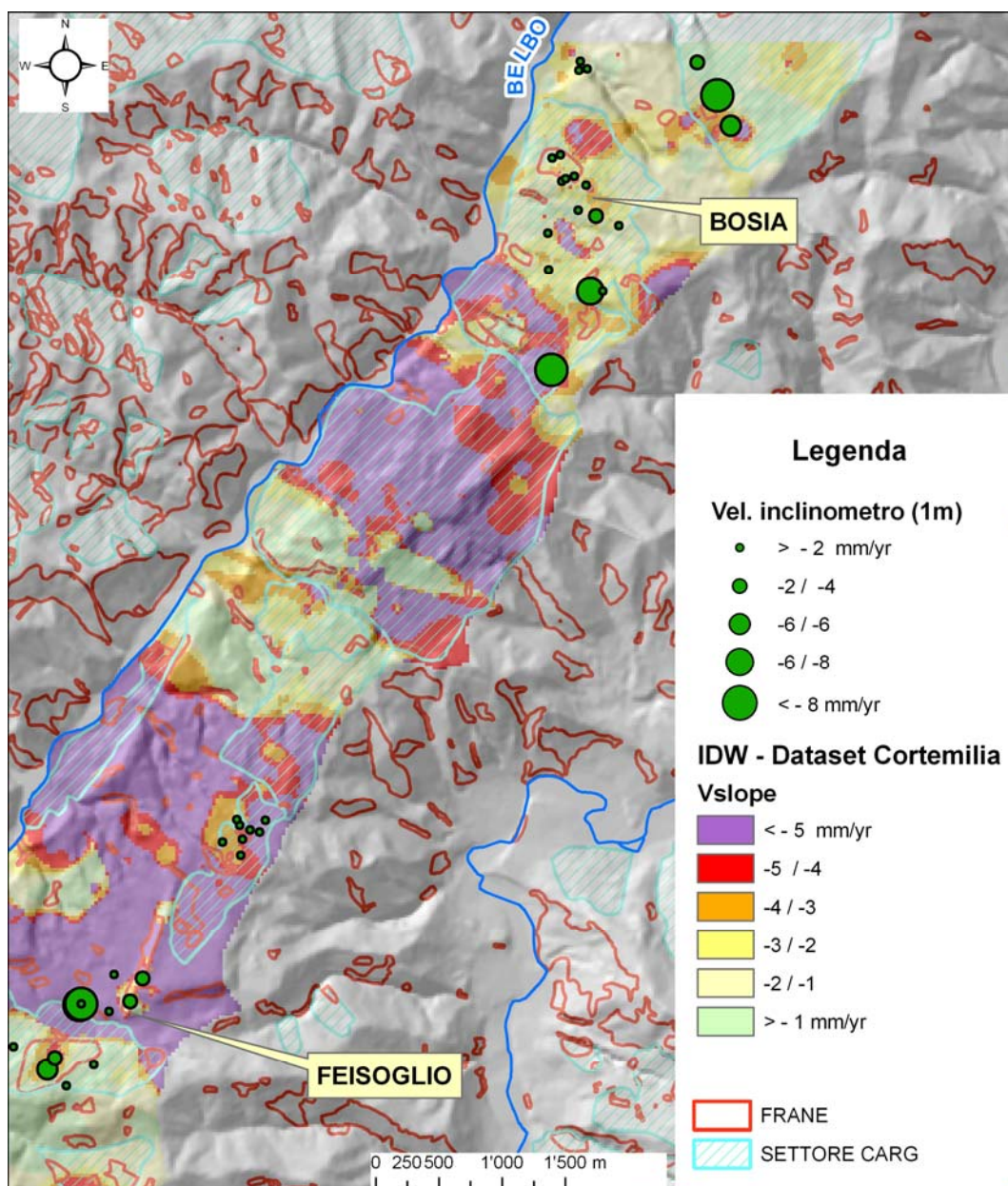


Fig. 3. 85. Particolare della zona tra Bosia e Feisoglio

In generale le frane di scivolamento planare ben si prestano all'applicazione della tecnica PSInSAR per i motivi di seguito esposti:

- si sviluppano su versanti esposti verso NW con scarsa pendenza, quindi ottimali per orbite discendenti (Tab.3.2.);
- si tratta di movimenti traslativi paralleli al pendio, in questa situazione è possibile proiettare la VLOS lungo pendio (vedi capitolo successivo);
- movimenti lenti durante la fase preparatoria (pre-rottura) e la fase finale (post-rottura).

Le principali problematiche risultano legate all'elevata velocità del movimento nella fase di collasso con conseguente perdita dei PS.

3) Frane complesse e colamenti lenti in Appennino

I movimenti di versante più importanti in Appennino corrispondono a frane complesse (movimenti rotazionali che evolvono in colamenti lenti) e a colamenti lenti per lo più in detrito (molti sono caratteristici dei Calcari di Monte Antola). L'attività di tali fenomeni è caratterizzata da movimenti lenti con riattivazioni stagionali o in occasioni di eventi meteorici intensi.

a) Identificazione dei fenomeni

Un esempio è costituito dalla frana in località Montaldo di Cosola e Aie di Cosola (Comune di Cabella Ligure, Provincia di Alessandria). Si tratta di una frana complessa che si è riattivata a seguito degli eventi alluvionali dell'autunno 1993. Il movimento di versante si è sviluppato su un accumulo detritico, di spessore variabile tra i 20 ed i 35 m attribuibile ad un antico episodio franoso, localizzato sopra un substrato calcareo-marnoso. La frana, innescata dall'incisione del Rio Montaldo, si esplica attraverso lenti ma continui movimenti. La superficie di scivolamento più superficiale è localizzata a circa 13,5 metri di profondità, in corrispondenza di uno strato argilloso intercalato tra due strati di limo-sabbioso (Fig.3.86).

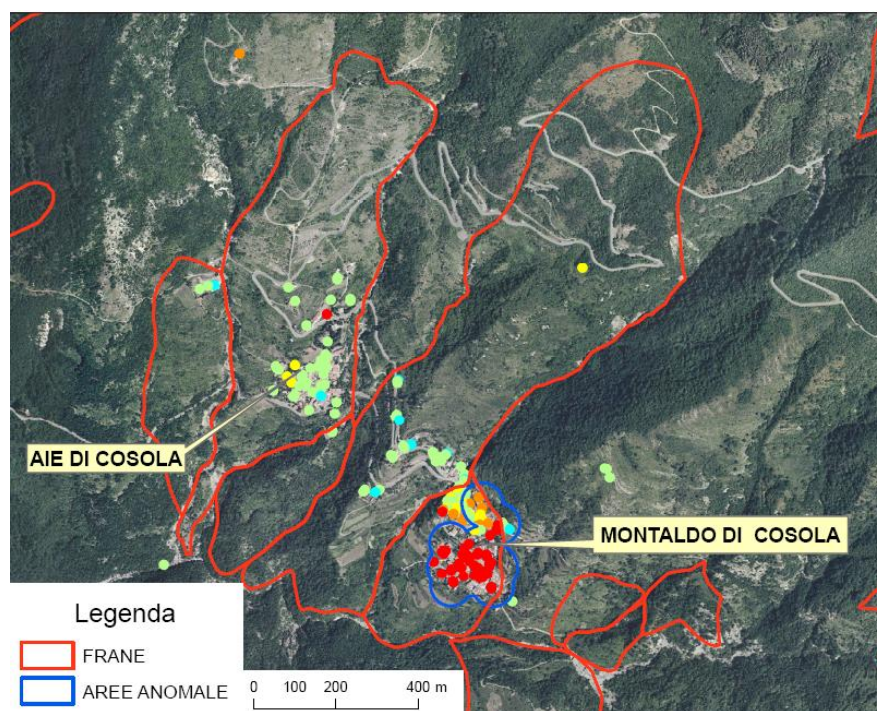


Fig. 3. 86. Frana di Montaldo e Aia di Cosola

L'analisi interferometrica ha identificato due settori nettamente distinti in corrispondenza del paese di Montaldo di Cosola, il settore di SE è caratterizzato da movimenti estremamente levati (>10 mm/anno) che sono in buon accordo con il quadro fessurativo degli edifici.

I colamenti lenti e le frane complesse dell'Appennino sono quindi caratterizzate da movimenti lenti che ben si prestano al monitoraggio satellitare e permettono laddove presenti di distinguere diversi settori caratterizzati da V_{LOS} differenti.

Le principali problematiche sono legate ai seguenti motivi:

- esistenza, specialmente in corrispondenza della placca del M. Antola, di vaste aree vegetate che limitano il numero di PS;

- PS corrispondenti nella maggior parte dei casi ad infrastrutture antropiche e quindi concentrati nei nuclei urbani, ne è conseguenza la bassa densità di PS che di solito si riscontra in corrispondenza dei fenomeni franosi;
- riattivazioni dei fenomeni a seguito di eventi alluvionali stagionali o pluriennali (movimenti non lineari).

3.3. 3° FASE: INTERPRETAZIONE DI DETTAGLIO

L'interpretazione di dettaglio riguarda quelle aree anomale che, per grado di rischio associato, richiedono uno studio più approfondito. La tipologia e la quantità dei dati necessari per l'interpretazione varia a seconda del tipo di fenomeno che causa i movimenti (Tab.3.8).

L'interpretazione può essere suddivisa in tre fasi:

1° fase. La fase é rivolta alla ricerca e al recupero dei dati “convenzionali”, tra i quali rivestono particolare importanza i dati topografici, rappresentati da:

- cartografia comunale 1:2000 o 1:5000 (ove disponibile), carte CTR (1:10.000),
- ortofoto,
- DTM.

Le carte geologiche 1:100.000 o 1:50.000 (progetti CARG) sono sufficienti nell'interpretazione speditiva preliminare, in quella di dettaglio occorre invece disporre di dati più completi consistenti in rilevamenti di terreno geologici, idrogeologici e geotecnici, stratigrafie derivanti da sondaggi geognostici, prove di laboratorio ed in situ (geofisiche e geotecniche).

Dati	ground motion trigger								
	neotectonic activity	groundwater extraction	oil-gas extraction	mining	landslide	collapsible soils	swell-shrinking soils	tunnelling	waste disposal
Topographical data	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Geology 2D	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Geology 3D	x	x	x	x	x	x	x	x	
Lithology		x	x	x	x	x	x	x	x
Superficials thickness					x	x	x		x
Mineralogical properties					x	x	x		
Local borehole data		x	x		x	x	x	x	x
Quarries / Underground Works				x					
Geotechnical properties		x		x	x	x	x	x	
Water Table		x			x	x	x		
Soil Moisture deficit							x		
temporal and spatial rainfall distribution					x		x		
Spring lines									
Extraction records		x	x						
Well locations		x	x						
Drainage Patterns					x		x		
Hydrogeological properties		x							
RS Optical Images	x	x	x	x	x	x	x	x	x
visible cracks / signs of ground deformation on buildings	x	x	x	x	x	x	x	x	

Tab.3. 8. (TerraFirma, 2006)

Altri dati comprendono:

- l'inventario dei fenomeni franosi (progetto IFFI),
- la carta pedologica (utile nell'identificare per esempio i vertisuoli soggetti a fenomeni di variazione di volume),
- la carta geomorfologica (e.g. utile nell'identificazione di paleoalvei),
- la carta delle formazioni superficiali;
- la carta della distribuzione dei terreni soggetti a variazione di volume,
- l'inventario delle cave e miniere,
- l' inventario degli edifici lesionati;
- i dati di monitoraggio topografico, geotecnico e idrogeologico.

2° fase. Questa fase consiste nell'elaborazione dei dati precedentemente raccolti al fine di elaborare un modello geologico dell'area in cui sono stati individuati i movimenti "anomali". Il modello deve essere validato attraverso rilevamenti sul terreno, mirati a:

- verificare il quadro del dissesto eventualmente segnalato dalla documentazione pregressa, anche mediante interviste agli abitanti, agli amministratori locali o a tecnici (geologi), operanti sul posto;
- verificare le condizioni geomorfologiche e geologiche del sito;
- rilevare eventuali ulteriori dissesti o fenomeni non cartografati precedentemente;
- esaminare e rilevare fotograficamente, in relazione al numero dei PS critici presenti ed alle loro caratteristiche (velocità media, coerenza), l'eventuale presenza di fessurazioni negli edifici o deformazioni in manufatti di vario tipo (sedi stradali, muretti a secco o di sostegno, muri di recinzione e quant'altro);
- esaminare e rilevare fotograficamente eventuali deformazioni superficiali del terreno, riconducibili a fenomeni di versante, superficiali o profondi (ondulazioni, trincee, ecc.);
- rilevare gli indizi ritenuti significativi ai fini della interpretazione delle deformazioni eventualmente riscontrate sui manufatti presenti (ad esempio, insediamenti realizzati su terreni "compressibili" appena prima dell'inizio del periodo di misurazione satellitare; ecc.).

Il modello è assunto come base per lo sviluppo di scenari di deformazione (subsidenza, ritiro del terreno a causa di periodi siccitosi, fenomeni di dissoluzione, ecc..) che possono essere confrontati con i risultati della tecnica PSInSAR.

3° fase. Le informazioni raccolte, omogeneizzate ed elaborate vengono sovrapposte in ambiente GIS ai dati interferometrici. Questi ultimi possono essere interpolati per facilitare il confronto. Alla fine di tale fase viene identificato e quantificato il fenomeno che ha provocato la deformazione.

3.3.1. Monitoraggio di fenomeni franosi

Tralasciando gli altri fenomeni viene trattato di seguito lo studio di dettaglio relativo a fenomeni franosi, ovvero vengono fornite indicazioni per l'utilizzo dei dati interferometrici per il monitoraggio dei movimenti di versante (Fig.3.87).

Sono stati selezionati a tale scopo alcuni siti campione:

- settore compreso tra Bosia e Feisoglio (CN) nelle Langhe;
- Cabella Ligure (AL), Appennino;
- Polverola (AL), Appennino;
- Villaggio La Gioia (AL), Appennino.

La loro scelta è stata fatta sulla base di:

- tipologia, estensione, intensità e cinematica dei fenomeni per verificare la differente risposta della tecnica PSInSAR;
- livello di conoscenza dei siti: esistenza di studi pregressi con indagini geognostiche e monitoraggio da terra;
- ambito geologico di appartenenza;
- risultati delle analisi interferometriche nella fase di interpretazione preliminare;
- grado di rischio associato.

Applicazione della metodologia

1° fase:

Raccolta dati:

- Dati geognostici: sondaggi, prove in sito ed in laboratorio;
- Dati di monitoraggio (inclinometri, piezometri, fessurimetri ecc.);
- Progetto IFFI;
- DTM (20x20 m) e prodotti derivati (acclività ed esposizione dei versanti)
- CTR, ortofoto IT2000

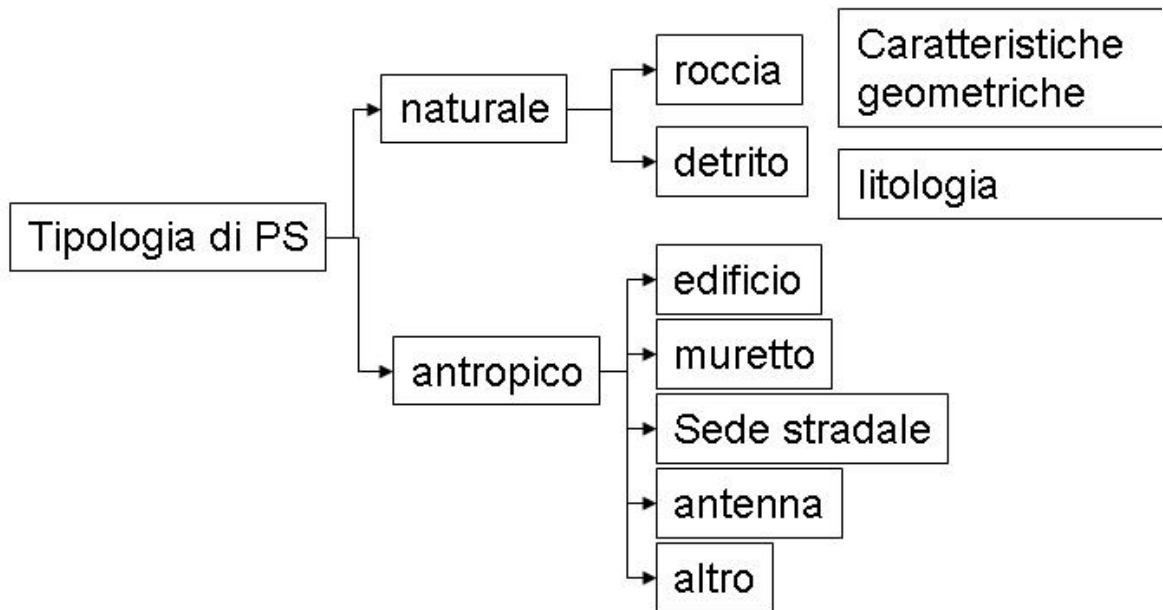
2° fase:

Sopralluoghi finalizzati a :

- verificare l'ubicazione degli strumenti di monitoraggio e delle eventuali opere di consolidamento;
- verificare il perimetro del movimento franoso;
- censire e analizzare gli edifici lesionati;
- localizzare i PS e compilare la scheda relativa (Fig.3.88)

Elaborazioni:

- Costruzioni di sezioni geologico-tecniche
- Analisi dei dati di monitoraggio



CARATTERISTICHE TECNICHE DEL FABBRICATO

DIMENSIONI DEL FABBRICATO

lunghezza	<input type="text"/>	m	larghezza	<input type="text"/>	m	altezza	<input type="text"/>	m	n° di piani fuori terra	<input type="text"/>
cantina parziale	<input type="checkbox"/>	si	<input type="checkbox"/>	no	cantina totale	<input type="checkbox"/>	si	<input type="checkbox"/>	no	
seminterrato parziale	<input type="checkbox"/>	si	<input type="checkbox"/>	no	seminterrato totale	<input type="checkbox"/>	si	<input type="checkbox"/>	no	
Profondità cantina	<input type="text"/>	m			Profondità seminterrato	<input type="text"/>			m	

TIPO DI FONDAZIONE

<input type="checkbox"/>	diretta	<input type="checkbox"/>	platea	<input type="checkbox"/>	travi continue	<input type="checkbox"/>	plinti	
<input type="checkbox"/>	su pali							
	Profondità della fondazione rispetto al p.c. esterno						<input type="text"/>	m
	Profondità della fondazione rispetto al piano pavimento						<input type="text"/>	m
	Condizioni di appoggio		<input type="checkbox"/>	in scavo	<input type="checkbox"/>	su riporto	<input type="checkbox"/>	non si sa

TIPO DI STRUTTURA

<input type="checkbox"/>	in muratura continua			<input type="checkbox"/>	in CA			
<input type="checkbox"/>	mista			<input type="checkbox"/>	prefabbricata			
	Utilizzazione dell'edificio							
	Anno di costruzione							
	Sistema di raccolta delle acque				tipo			
<input type="checkbox"/>	inesistente	<input type="checkbox"/>	poco efficace	<input type="checkbox"/>	efficace	<input type="checkbox"/>	non si sa	

Note

LESIONI

<input type="checkbox"/>	consolidate	<input type="checkbox"/>	in atto	Data di comparsa	<input type="text"/>	Data di aggravamento	<input type="text"/>
	cidiche	<input type="checkbox"/>	si		<input type="checkbox"/>	no	
	STATO DEL FABBRICATO		<input type="checkbox"/>	agibile	<input type="checkbox"/>	non agibile	

Note

Fig. 3. 88. Scheda di rilevamento dei PS

3° fase:

In relazione alla metodologia indicata in Fig.3.87 le risultanze dei dati di monitoraggio vengono confrontati con i dati interferometrici. Se viene verificata la sovrapposizione temporale dei dati l'approccio utilizzato può essere di tipo quantitativo, nel caso contrario ci si deve fermare a delle indicazioni qualitative.

Vengono di seguito descritte le principali operazioni e problematiche.

1) Distribuzione delle V_{LOS} sul corpo di frana, con eventuale delimitazione di settori caratterizzati da diverse velocità (es. paese di Montaldo di Cosola).

Problemi:

- Bassa densità dei PS in corrispondenza di fenomeni franosi in Appennino, dovuti alla presenza di vegetazione;
- PS “concentrati” in corrispondenza dei centri abitati e corrispondenti a strutture antropiche (vedi esempio Montaldo di Cosola, Polverola e Villaggio La Gioia);
- i dati PSInSAR forniscono misure di una sola componente della deformazione che in realtà avviene in tre dimensioni (componente lungo la LOS);
- dato che l'angolo di incidenza per i satelliti ERS è $i = 23^\circ$ il sistema è molto sensibile a deformazioni verticali, poco a quelle orizzontali;
- nel monitoraggio dei fenomeni franosi rivestono particolare importanza due componenti del movimento: quella lungo il pendio (in caso di movimenti paralleli al pendio, es. scivolamenti planari delle Langhe) e quella verticale (nel caso di movimenti prevalentemente rotazionali)

Una soluzione al problema n°3, che attualmente è in corso di verifica, può essere la combinazione di analisi fatte con differenti geometrie di acquisizione (dati ascendenti e discendenti) (Rocca, 2003), tenendo conto della minore affidabilità del dato ascendente e del fatto che non tutto il Piemonte risulta coperto da dataset ascendenti (Fig 3.89, 3.90)

Nelle aree in cui sono a disposizione sia un risultato in geometria ascendente che un risultato in geometria discendente è possibile calcolare, applicando una scomposizione dei vettori velocità, la componente orizzontale e verticale del moto. Per fare questo si ipotizza che il moto effettivo del punto non abbia alcuna componente nel piano orizzontale diretta lungo la direzione Nord-Sud, infatti il sistema non è in grado di rilevare spostamenti lungo questa direzione. Noti i valori di velocità ascendenti e discendenti e noti i parametri di puntamento del satellite all'istante di acquisizione si calcolano i vettori di velocità orizzontale e verticale. Per effettuare la scomposizione del moto si interpola il campo di velocità dato dai PS e lo si ricampiona su un reticolo regolare di punti, per ovviare al problema che il PS del risultato ascendente non coincida esattamente con il PS del discendente.

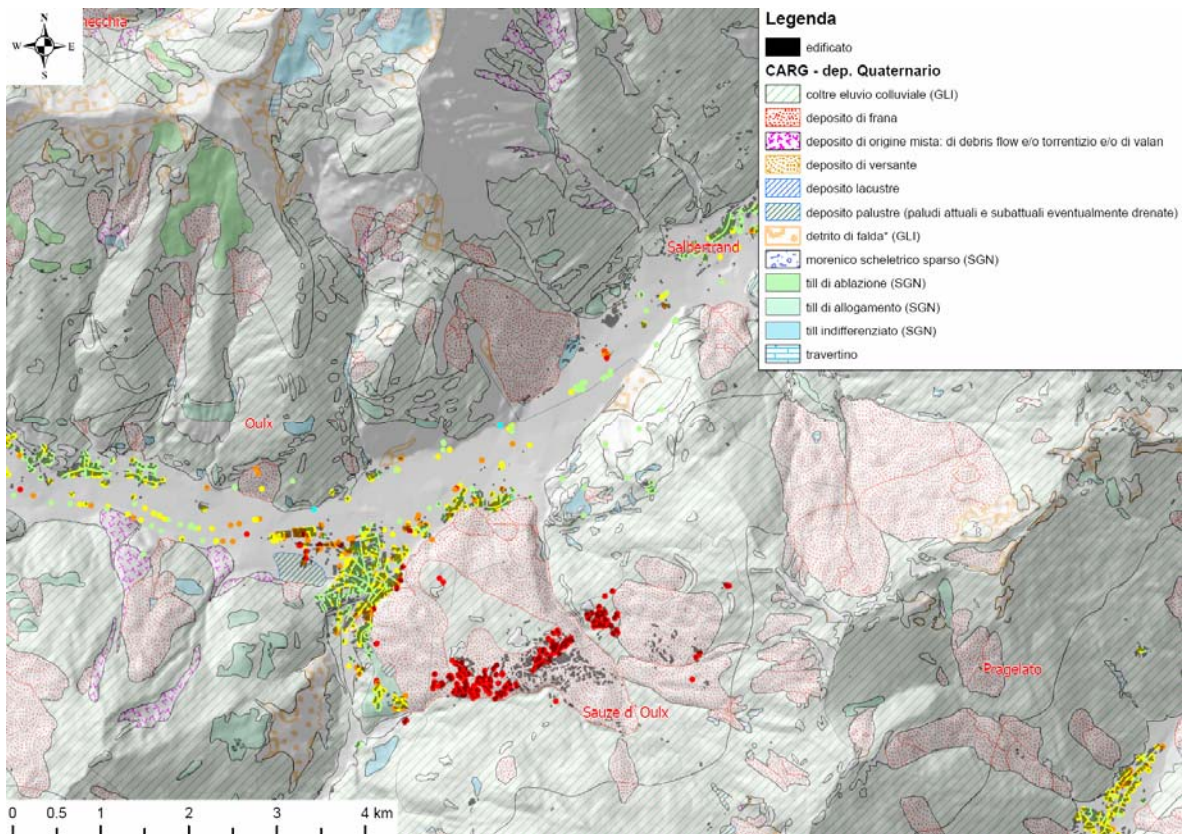


Fig. 3. 89. Frana di Sauze d'Oulx: Dataset Pragelato discendente,

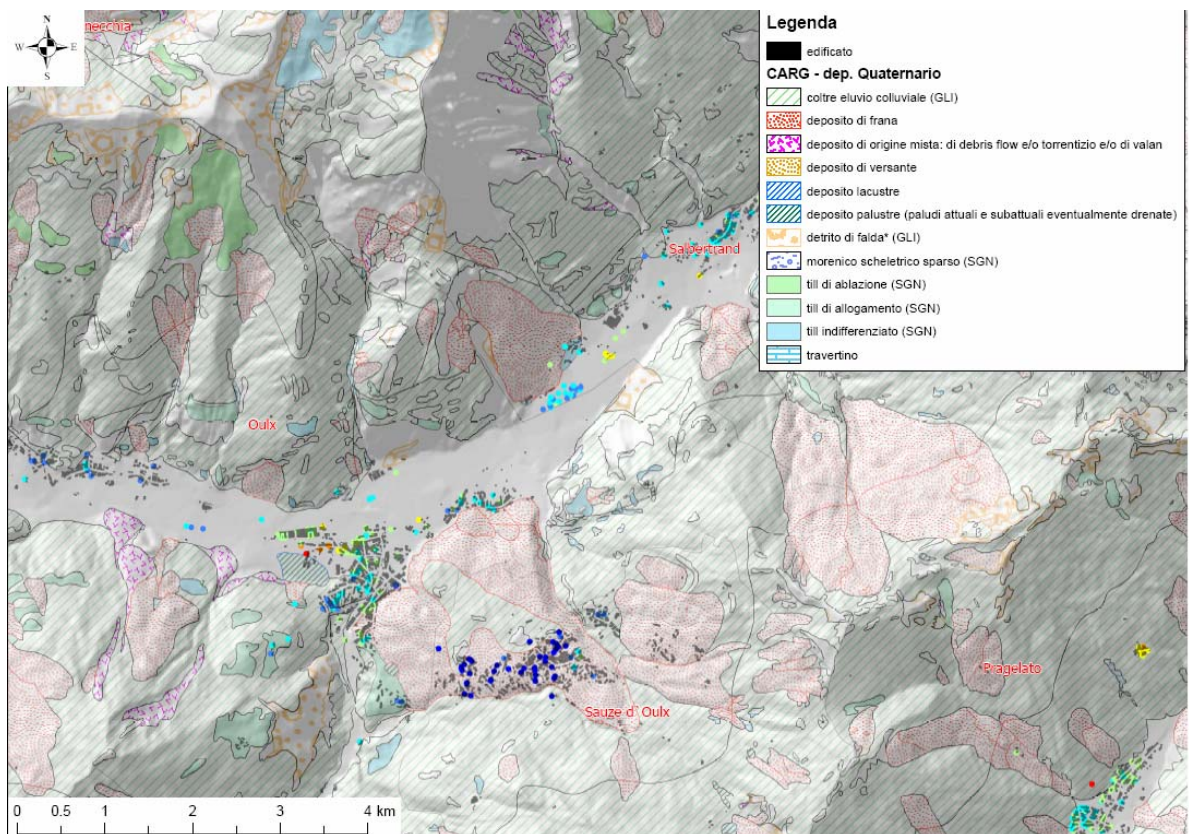


Fig. 3. 90. Frana di Sauze d'Oulx: Dataset ascendente "Fenestrelle"

2) Esecuzione di profili di V_{LOS} lungo il pendio

Quando la densità dei dati PS è elevata i dati PS possono essere utilizzati per fornire alcune informazioni sul meccanismo di movimento predominante. Nel caso di movimento di scivolamento traslazionale le V_{LOS} presentano una buona correlazione con l'inclinazione del pendio (v. Fig. 3.91). Nel caso di movimenti di tipo rotazionale si osserva una generale inversione del segno delle V_{LOS} (movimento di abbassamento nella parte alta del pendio e di sollevamento al piede) (Colesanti e Wasowski, 2006).

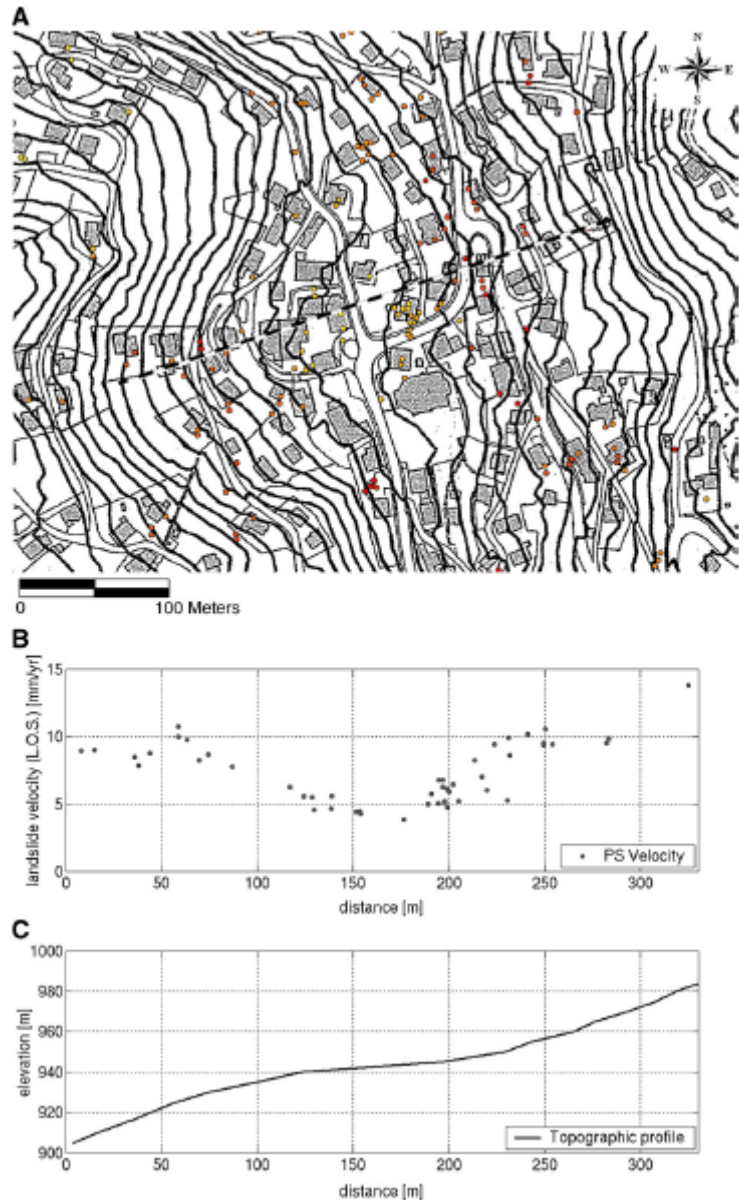


Fig. 3. 91. Frana di Triesenberg: esempio di profilo della V_{LOS} lungo il profilo longitudinale parallelo alla direzione di movimento della frana (B) e confronto con il relativo profilo topografico (C) (Colesanti e Wasowski, 2006). Si può osservare una chiara relazione tra i due profili che fa presupporre un movimento di tipo traslazionale del fenomeno franoso.

3) Proiezione della V_{LOS} lungo pendio

La velocità dei PS è la componente del moto effettivo del punto lungo la direzione che congiunge sensore e bersaglio. Può essere utile calcolare, a partire dalla velocità del PS, la componente di moto lungo la direzione di massima pendenza del versante in analisi. Questa operazione è attuabile unicamente sotto la rigida ipotesi secondo cui il moto sia dovuto ad uno *scivolamento diretto nella direzione di massima pendenza del terreno* su cui è posizionato il PS (TRE, 2006).

Partendo da questa ipotesi, utilizzando gli angoli di esposizione e pendenza del versante su cui giace il PS in analisi, è possibile calcolare la componente di velocità del PS sulla direzione di massima pendenza (Fig.3.92).

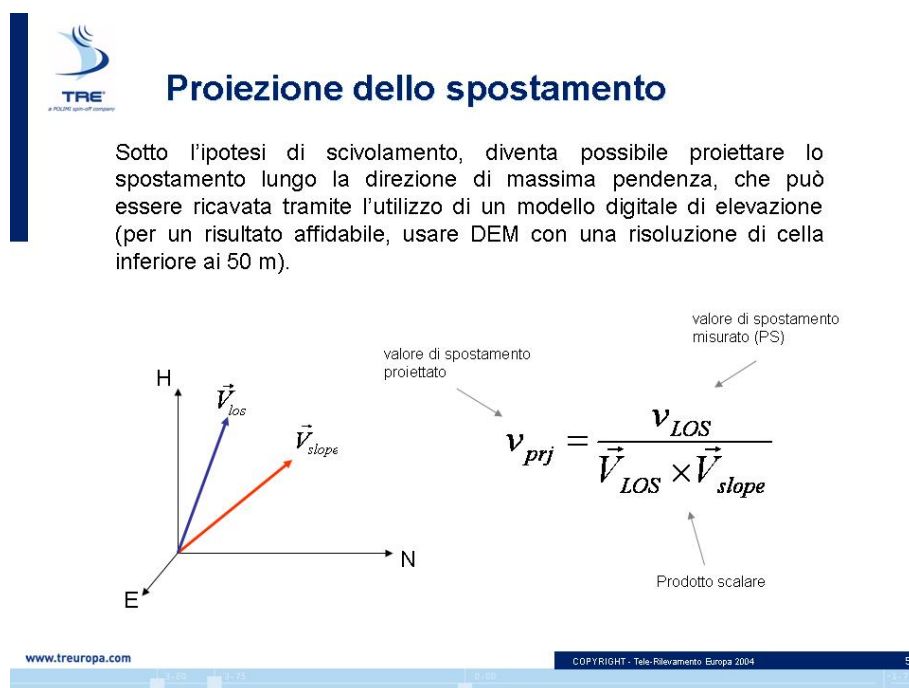


Fig. 3. 92. Calcolo della componente di velocità del PS sulla direzione di massima pendenza del pendio

In generale è emersa una forte dipendenza dei risultati dalla topografia (in particolare esposizione dei versanti), che rendono necessaria un'adeguata verifica preliminare sul terreno del PS e della sua posizione geometrica.

Tale metodologia inoltre può essere applicata per meccanismi di scivolamento lungo pendio (es. scivolamenti planari delle Langhe).

4) Confronto con dati di monitoraggio

- Scelta di PS in prossimità di strumenti di monitoraggio (es. inclinometri)
- Calcolo della velocità misurata dall'inclinometro in prossimità della superficie topografica (1 m dal p.c.)
- Confronto della velocità calcolata da misure inclinometriche con quella misurata dai PS e proiettata lungo la direzione di massima pendenza (vedi punto 3).

Ipotesi di partenza: le velocità misurate dai PS sono velocità relative rispetto ad un punto di riferimento, occorre di conseguenza verificare che questo non sia in movimento (es. movimenti tettonici regionali) attraverso misure GPS, il confronto livellazioni topografiche.

Problematiche emerse dagli esempi riportati nelle pagine seguenti:

- mancanza di dati di monitoraggio nel periodo 1992-2001 (gran parte degli strumenti sono stati installati a partire dal 1999-2000);
- i dati nel periodo 1992-2001 sono misurati manualmente e perciò risultano discontinui (inclinometri automatici installati a partire dal 2000);
- buona corrispondenza nel caso di scivolamenti planari, per le altre tipologie di frane (per lo più colamenti lenti) il confronto va verificato caso per caso.

Esempi:**A) Langhe**

Tipologia di frane: scivolamenti planari, situazione ottimale per proiettare la V_{LOS} nella direzione di massima pendenza.

Strumenti di monitoraggio: dopo l'evento del 1994 sono stati installati numerosi inclinometri (Fig. 3.88).

Dati interferometrici: SPSA, discendenti (dataset Cortemiglia)

Risultati: Nella Fig.3.93 sono confrontate le velocità misurate dagli inclinometri nel periodo 1994-2000 e quelle dei PS proiettate lungo la direzione di massima pendenza ed interpolate. In generale la corrispondenza è buona.

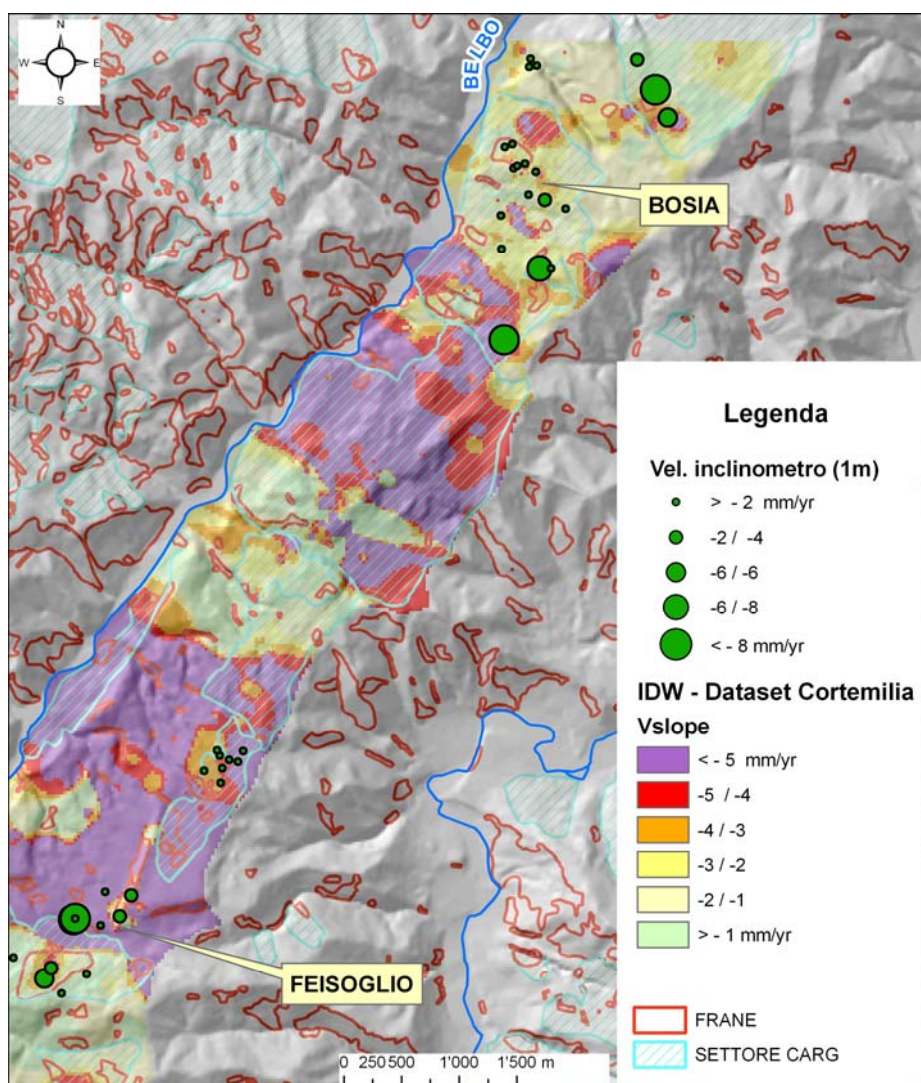


Fig. 3. 93. Versante tra Bosia e Feisoglio: confronto tra le velocità misurate dagli inclinometri e le velocità misurate dai PS proiettate lungo la direzione di massima pendenza.

B) Appennino

Frana di Montaldo di Cosola (AL)

Tipologia di frane: frana complessa (rotazionale che evolve in un colamento lento di detrito).

Strumenti di monitoraggio: inclinometri

Dati interferometrici: dati ottenuti da una precedente elaborazione advanced APSA (fig.3.94)

Risultati: la corrispondenza è buona.

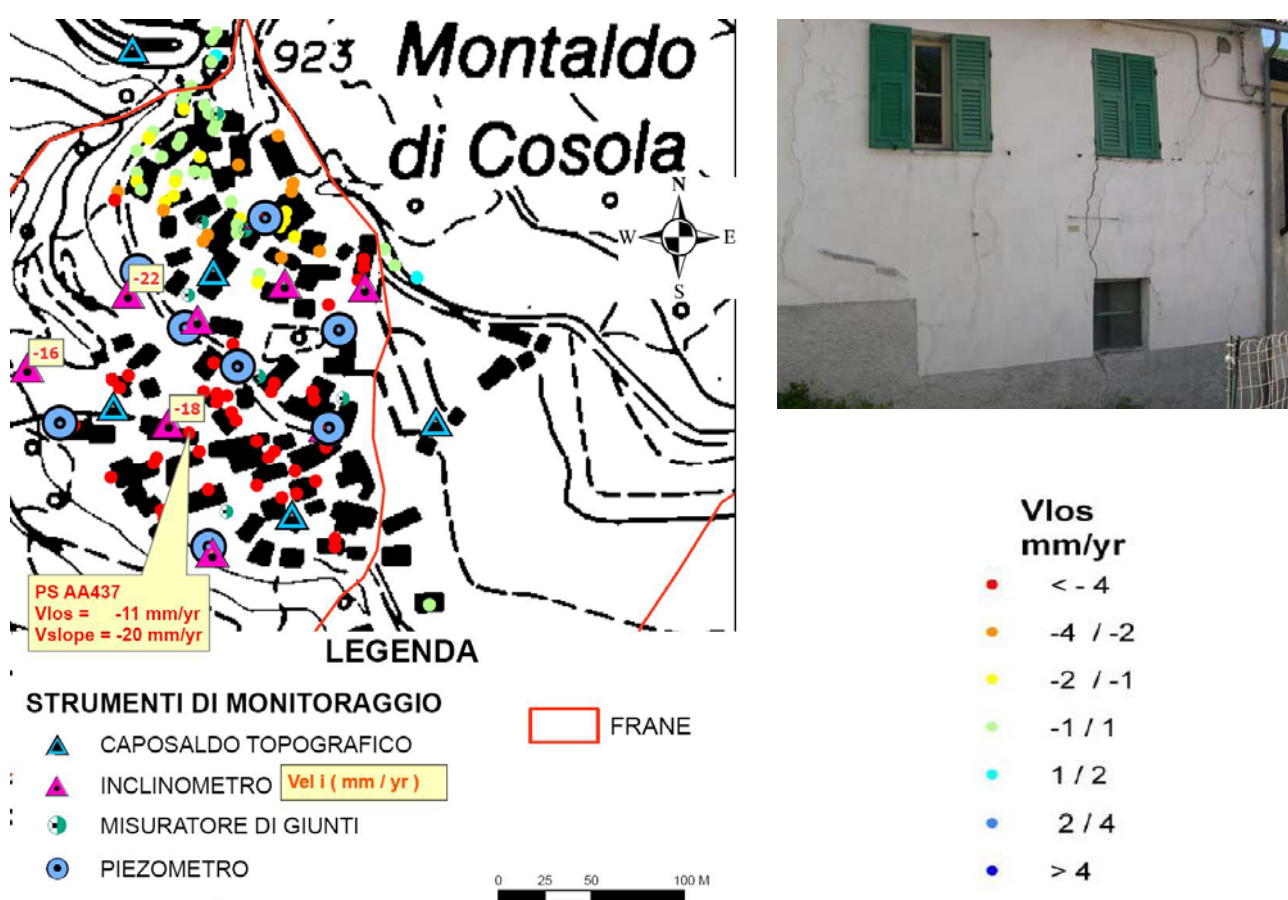


Fig. 3. 94. Frana di Cabella: confronto tra le velocità misurate dagli inclinometri e le velocità misurate dai PS proiettate lungo la direzione di massima pendenza (Vslope).

Frana di Polverola (AL)

Tipologia di frane: frana complessa (rotazionale che evolve in un colamento lento). Il fenomeno franoso è ubicato sul versante sinistro della Val Curone in comune di Casasco (AL) (Fig.3.95). Si tratta di una frana tuttora attiva che interessa la coltre di copertura costituita da limo con argilla sabbiosa su un substrato marnoso (Marne di Antognola). I fattori predisponenti il dissesto sono imputabili alle scadenti caratteristiche geotecniche della coltre eluvio-colluviale,

all'erosione esercitata al piede del pendio del pendio dal Rio Polverola; eventi meteorologici intensi costituiscono i fattori scatenanti.

Strumenti di monitoraggio: inclinometri installati a partire dal 1999, estensimetri (nel periodo 1999-2003)

Dati interferometrici: SPSA, discendenti (dataset Ovada)

Risultati: La frana presenta una superficie di scivolamento variabile da -2 a -17 m dal p.c. I dati PSInSAR individuano delle velocità di abbassamento variabili da -0,2 a -7,1 mm/yr (Fig.3.95 - Fig. 3.96), con i valori massimi in corrispondenza del settore occidentale e risultano pertanto confrontabili in termini qualitativi con le velocità misurate dagli inclinometri (Fig.3.97), pur tenendo presente il diverso periodo di monitoraggio.

Il rilevamento sul terreno e il monitoraggio degli edifici ha evidenziato che gli edifici maggiormente dissestati sono ubicati nella parte orientale dell'abitato in disaccordo con i dati ricavati dal monitoraggio PSInSAR.

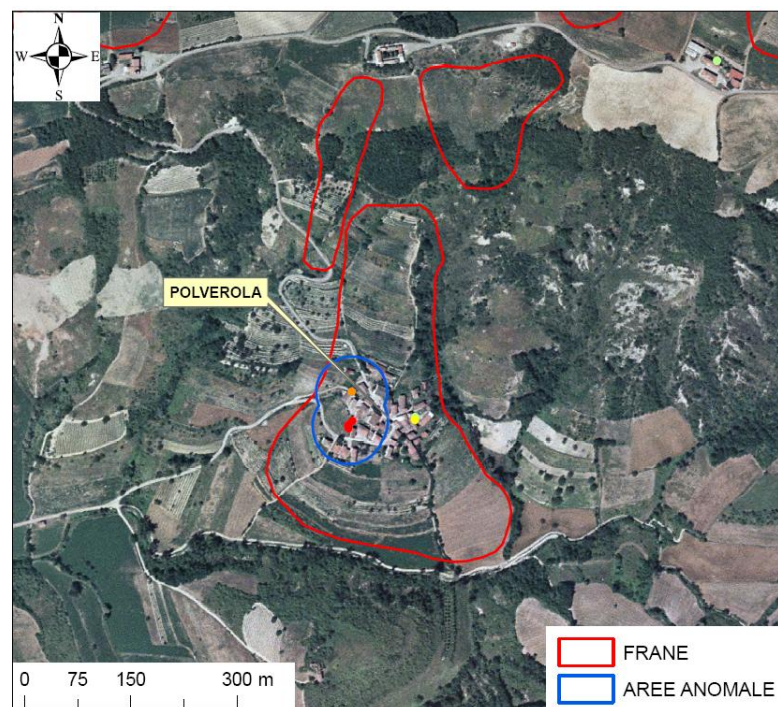


Fig. 3. 95. Frana di Polverola

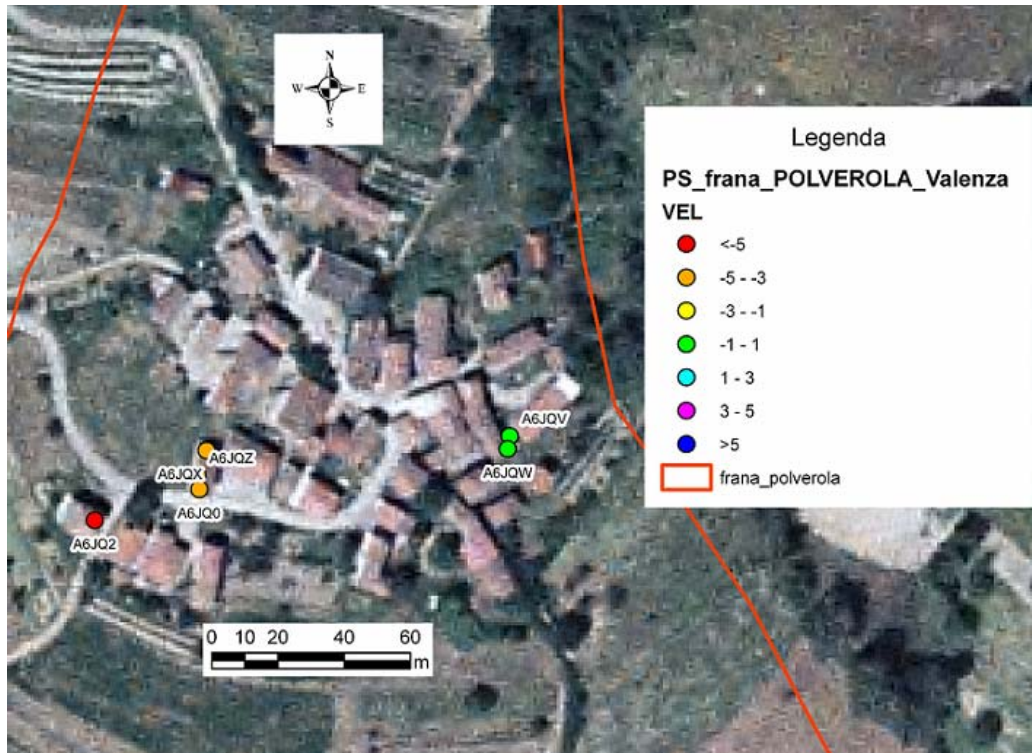


Fig. 3. 96. Carta della distribuzione dei dati PS (SPSA) in corrispondenza della frana di Polverola. Le velocità sono espresse in mm/anno.

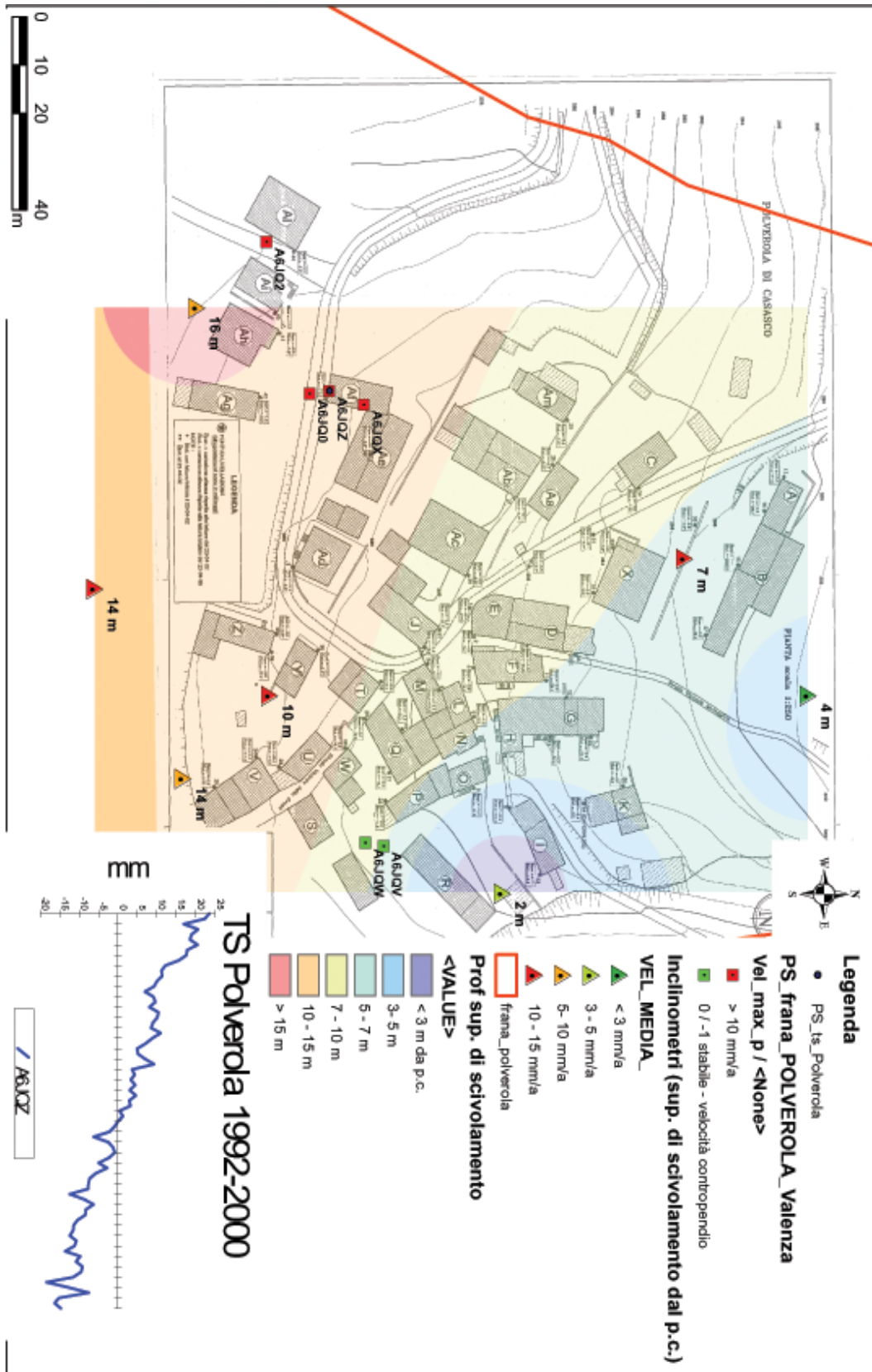


Fig. 3. 97. Confronto tra VLOS, misure inclinometriche, profondità della superficie di scivolamento.

Villaggio La Gioia (AL)

Tipologia di frane: frana complessa (rotazionale che evolve in un colamento lento di detrito).

Strumenti di monitoraggio: inclinometri installati a partire dal 1999

Dati interferometrici: SPSA, discendenti (dataset Valenza)

Risultati: Disaccordo tra le misure inclinometriche ed i dati interferometrici. Le misure inclinometriche hanno permesso di individuare una superficie di scivolamento a 20 m, lungo la quale non si registrano più movimenti a partire dal 2002 ed una superficie a 14,5 m di profondità che invece continua a registrare spostamenti (150 mm dal novembre 1999 a Marzo 2005). I PS non hanno registrato nessun spostamento nel periodo 1992-2001.

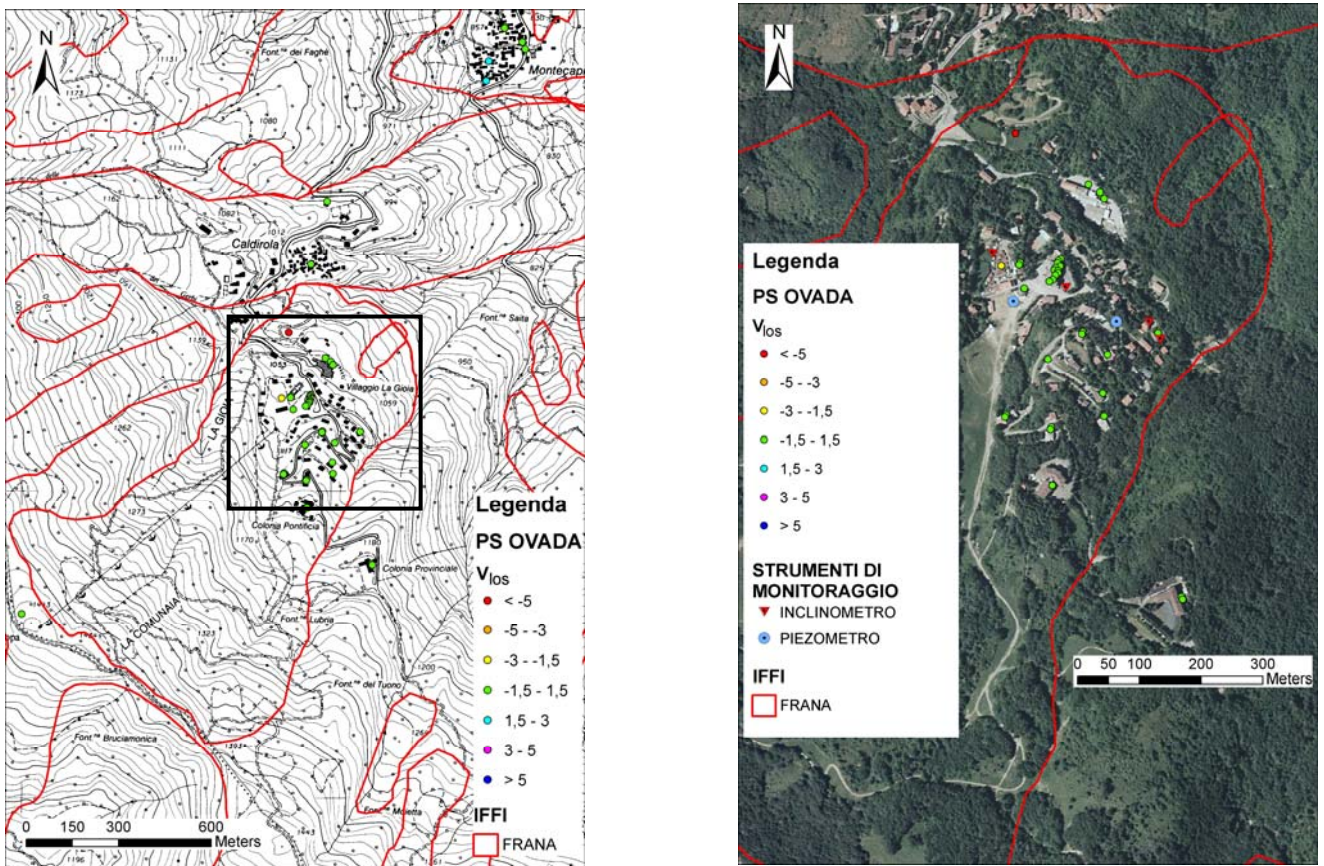


Fig. 3. 98. Frana di villaggio La Gioia.

4. RISULTATI

L'applicazione del metodo di processamento automatico e manuale per individuare e perimetrare le aree in movimento, descritti nel capitolo precedente, ha portato all'identificazione delle aree anomale interpretate nell'intero territorio regionale.

Nell'allegato 1 è riportata la sintesi dei risultati ottenuti per ogni dataset utilizzato (dati generali, interpretazione, note e aree anomale risultate particolarmente interessanti).

Nel DVD allegato alla presente relazione, sono contenuti i seguenti dati:

- dataset utilizzati in formato shape (nei files discendenti.shp e ascendenti.shp viene riportata una sintesi dei datasets e delle problematiche correlate anche attraverso dei link verso documentazione);
- aree anomale automatiche suddivise per dataset (in formato .shp);
- DB-RADAR, aree manuali aggregate suddivise in cartelle a seconda del compilatore.

4.1. Interpretazione preliminare delle aree anomale

Nelle Tabelle 4.1/5 vengono riportate la distribuzione delle cause delle aree anomale aggregate nell'intero territorio Piemontese e distribuite per ambienti geologici.

INTERO PIEMONTE			
INTERPRETAZIONE	ID fenomeno	N°aree anomale aggregate	% aree anomale aggregate
Attività neotettonica e sismica	1		
Fenomeno franoso	2	335	14.66
Subsidenza naturale	3	1	0.04
Subsidenza connessa a fenomeni di dissoluzione	4	1	0.04
Subsidenza indotta da estrazione di fluidi	5	11	0.48
Subsidenza indotta da attività sotterranea	6		
Applicazione di carichi	7	163	7.12
Comportamento geotecnico differenziale/Cedimenti strutturali	8	306	13.37
Altro	9	15	0.66
Detrito di versante instabile	10	338	14.77
N.d.	11	1118	48.86

Tab.4. 1 – Aree anomale interpretate suddivise per causa di movimento nell'intero Piemonte

APPENNINO E COLLINA DI TORINO			
INTERPRETAZIONE	ID fenomeno	N°aree anomale aggregate	% aree anomale aggregate
Attività neotettonica e sismica	1		
Fenomeno franoso	2	30	22.22
Subsidenza naturale	3		
Subsidenza connessa a fenomeni di dissoluzione	4		
Subsidenza indotta da estrazione di fluidi	5		
Subsidenza indotta da attività sotterranea	6		
Applicazione di carichi	7	6	4.44
Comportamento geotecnico differenziale/Cedimenti strutturali	8	16	11.85
Altro	9		
Detrito di versante instabile	10		
N.d.	11	83	61.48

Tab.4. 2. Aree anomale interpretate suddivise per causa di movimento - Appennino e collina di Torino

LANGHE E MONFERRATO			
INTERPRETAZIONE	ID fenomeno	N°aree anomale aggregate	% aree anomale aggregate
Attività neotettonica e sismica	1		
Fenomeno franoso	2	75	14.97
Subsidenza naturale	3		
Subsidenza connessa a fenomeni di dissoluzione	4	1	0.20
Subsidenza indotta da estrazione di fluidi	5	1	0.20
Subsidenza indotta da attività sotterranea	6		
Applicazione di carichi	7	67	13.37
Comportamento geotecnico differenziale/Cedimenti strutturali	8	109	21.76
Altro	9	3	0.60
Detrito di versante instabile	10	1	0.20
N.d.	11	244	48.70

Tab.4. 3 Aree anomale interpretate suddivise per causa di movimento - Langhe e Monferrato

ALPI			
INTERPRETAZIONE	ID fenomeno	N°aree anomale aggregate	% aree anomale aggregate
Attività neotettonica e sismica	1		
Fenomeno franoso	2	229	19.52
Subsidenza naturale	3	1	0.09
Subsidenza connessa a fenomeni di dissoluzione	4		
Subsidenza indotta da estrazione di fluidi	5	1	0.09
Subsidenza indotta da attività sotterranea	6		
Applicazione di carichi	7	25	2.13
Comportamento geotecnico differenziale/Cedimenti strutturali	8	81	6.91
Altro	9	7	0.60
Detrito di versante instabile	10	337	28.73
N.d.	11	492	41.94

Tab.4. 4 Aree anomale interpretate suddivise per causa di movimento - Alpi

PIANURA			
INTERPRETAZIONE	ID fenomeno	N°aree anomale aggregate	% aree anomale aggregate
Attività neotettonica e sismica	1		
Fenomeno franoso	2	1	0.2
Subsidenza naturale	3		
Subsidenza connessa a fenomeni di dissoluzione	4		
Subsidenza indotta da estrazione di fluidi	5	9	1.9
Subsidenza indotta da attività sotterranea	7		
Applicazione di carichi	6	65	13.6
Comportamento geotecnico differenziale/Cedimenti strutturali	8	100	20.9
Altro	9	5	1.0
Detrito di versante instabile	10		
N.d.	11	299	62.4

Tab.4. 5 Aree anomale interpretate suddivise per causa di movimento - Pianura

In sintesi le principali cause di movimento nelle aree anomale aggregate (tab 4.1/5) sono da ricondurre a frane, in particolare per l'area Appennino e Collina di Torino e la zona ALPI e a fenomeni puntuali connessi all'interazione terreno/struttura che assumono particolare rilevanza in area di PIANURA. In ambiente alpino un gran numero di aree anomale (29%) risultano associate a movimento di detrito. E' da sottolineare il numero elevato di aree anomale per le quali non è stato possibile fornire un'interpretazione (in Appennino arrivano al 62% dei casi). Occorre tuttavia sottolineare che i casi "non determinabili" possono corrispondere a:

- probabili fenomeni franosi, la cui esistenza è da verificare con sopralluoghi sul terreno ed esame delle foto aeree;
- probabili fenomeni di dissoluzione;
- cedimenti di rilevati stradali e ferroviari;
- aree piuttosto ampie in zone di pianura il cui movimento potrebbe essere imputabile a diversi fenomeni, quali estrazione di fluidi, ecc.

Con il termine "altro" si intendono diversi fenomeni quali attività estrattiva a cielo aperto ed erosione di sponda.

5. CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

Le questioni aperte e gli sviluppi futuri vengono qui riportati in maniera sintetica e senza l'obiettivo di essere esaustivi; anzi la funzione di questo capitolo è di fornire materiale su cui aprire una discussione sia nello sviluppo di linee guida che nello specifico dell'analisi dei dati PS-PIEMONTE:

-- Un miglior approccio interpretativo richiederebbe un avvicinamento del produttore del dato al power-user, tenuto conto della forte dipendenza del risultato (i PS, le time series...) dalla modalità di inversione. Il power-user deve avere la possibilità di richiedere dati con certe caratteristiche (vedi cap.3.1.) e sono da analizzare con maggior dettaglio i differenti approcci di elaborazione del segnale rispetto alle dimensioni dell'area in esame, alle intensità dei processi e della loro storia (analisi a scala di bacino e a scala di fenomeno);

-- La selezione di Reference Point deve precedere i processi di estrazione degli scatteratori e deve se possibile basarsi su criteri di "stabilità" geologica.

-- La possibilità di integrare i PS, o altre tipologie di dati da interferometria SAR, con dati geodetici (GPS, livellazioni ...) appare davvero essenziale, a patto di utilizzare dati con caratteristiche note, con ampiezze spazio-temporali adeguate e quindi investimenti o "chiamate in correo" in questo campo sono probabilmente necessari. Da questo punto di vista, appare esemplare, malgrado gli scarsi risultati, l'esperienza con livellazioni IGM in cui a seguito di scarsa documentazione e supporto da parte di IGM, è stata verosimilmente preclusa la possibilità di estrarre e fondere informazioni di qualche valore da questa base dati. Informazioni ed esperienza che appaiono necessari, anche in un ottica di rafforzamento della confidenza nell'uso integrato di dataset terzi rispetto all'interferometria.

-- Per analisi "true 3D" è necessario procedere ad acquisizioni da geometrie differenti (Disc, Asc, left e right). In questo momento è possibile, almeno parzialmente solo con dati RADARSAT e per questo sarebbe utile procedere a test su ambiti con disponibilità di dataset eterogenei geologici e geodetici;

-- Per analisi di dettaglio (es. a scala di isolato e/o singolo edificio) è necessario che i dataset PS presentino caratteristiche di georeferenziazione certa, in modo da poter operare nella fase interpretativa con analisi discriminative delle tipologie di movimento. Analisi di questo tipo trovano aiuto anche nello studio della polarizzazione del segnale (es. ENVISAT, RADARSAT, ALOS-PALSAR...).

-- E' da prendere in considerazione il ruolo di corner reflector e tecnologie affini, nella prospettiva soprattutto di rafforzare la parte tra le più deboli della catena, il monitoraggio;

-- Previsione di applicazioni e prodotti in prospettiva e attualità delle nuove e future missioni satellitari (ALOS-PALSAR, Cosmo-SkyMed, Terra-SarX, RADARSAT2, Sentinel-ESA) con particolare riguardo alle lunghezze d'onda, tempi di rivisitazione e risoluzioni spaziali. E' prevedibile un aumento dei campi di applicazione e il rafforzamento delle capacità (invero

limitate al momento) di monitoraggio, probabilmente con le configurazioni in costellazione (es. Cosmo-SkyMed) anche quasi real-time.

-- Sistemi di ripresa non convenzionali: i GB-SAR, in integrazione con le piattaforme satellitari per in analisi di grande dettaglio spazio-temporali.

Proposte di sviluppi futuri:

1. aggiornamento inventario dei dissesti IFFI: l'interpretazione preliminare delle aree anomale ha individuato circa 57 probabili nuove frane, la cui esistenza va verificata sul terreno tramite analisi di foto aeree e rilevamenti sul terreno. In alcuni altri casi le aree anomale interpretate definiscono dei movimenti che non corrispondono al perimetro individuato dall'IFFI, si tratta in questo caso di valutare la possibilità di modificare i limiti del poligono in dissesto per comprendere l'area individuata dai PS;

2. analisi del dato PSInSAR in corrispondenza di grandi frane alpine (frane complesse e DGPV). L'analisi interpretativa ha portato ad individuare alcune aree anomale particolarmente interessanti che ricadono in corrispondenza di alcune di queste frane:

- Acceglio
- Campertogno
- M. Mucrone
- Crodo-Varzo-Trasquera
- Paesana
- San Peire
- Ceresole Reale
- Cesana Torinese
- Salice d'Ulzio
- Alpe Baranca

In questo caso si tratta di applicare il terzo livello della metodologia (analisi di dettaglio)

3. Analisi della tipologia dei PS

4. Interpretazione di dati RADARSAT

- Alpe Baranca
- Carema
- Bosia - Feisoglio
- Cabella Ligure

5. GB-SAR

- Cesana Torinese
- Sampeyre

6. BIBLIOGRAFIA

- ARPA EMILIA ROMAGNA, 2005. L'uso del telerilevamento satellitare per lo studio della subsidenza nei territori nella bassa pianura romagnola. Rilevamento del territorio.
- Bamler R., Kampes B., Adam N., Suchandt S. (2005) - Assessment of Slow Deformations and Rapid Motions by Radar Interferometry 'Photogrammetric Week 05' Dieter Fritsch, Ed. Wichmann Verlag, Heidelberg 2005.
- Berardino, P., Constantini, G., Franceschetti, G., Iodice, L., Pietranera, L., Rizzo, V., 2003. Use of differential SAR interferometry in monitoring and modelling large slope instability at Matera (Basilicata, Italy). *Engineering Geology* 68/1-2, 31-51.
- Bovenga, F., Nutricato, R., Refice, A., Wasowski, J., 2006. Application of multi-temporal differential interferometry to slope instability detection in urban/peri-urban areas. *Engineering Geology* 88, 219-240.
- Bürgmann, R., Hilley, G. E., and Ferretti, A., Resolving Vertical Tectonics in the San Francisco Bay Area from Permanent Scatterer InSAR and GPS Analysis, *Geology*, 34(3), p.221-224.
- Canuti P., Casagli N., Farina P., Ferretti A., Marks F., Menduni G. 2006. Analisi dei fenomeni di subsidenza nel bacino del fiume Arno mediante interferometria radar. *Giornale di Geologia Applicata*, 4, 131-136,
- Carnec, C., Delacourt, C., 2000. Three years of mining subsidence monitored by SAR interferometry, Gardanne, France. *Applied Geophysics* 43, 43-54.
- Catani F., Colombo D., Farina P., Fumagalli A., Kukavivic M., Marks F., Menduni G., Moretti S., 2006. Utilizzo di dati telerilevati nella mappatura e nel monitoraggio dei fenomeni franosi e nell'analisi della suscettibilità da frana. *Giornale di Geologia Applicata*, 3, 173-180.
- Colesanti C. & Wasowski J, 2006. Investigating landslides with space-borne Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry. *Engineering Geology*, 88, 173-199.
- Colesanti C., Ferretti A., Prati C. and Rocca F. (2001). Seismic Faults Analysis in California by Means of the Permanent Scatterers Technique. Keynote Paper, Proceedings of the Third International Symposium on Retrieval of Bioand Geophysical Parameters from SAR Data for Land Applications, Sheffield (United Kingdom) 11-14 September 2001, ESA SP-475, January 2002, 125-131
- Colesanti, C., Ferretti, A., Novali, F., Prati, C., Rocca, F., 2003b. SAR monitoring of progressive and seasonal ground deformation using the Permanent Scatterers technique. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 41, 1685-1700.
- Colesanti, C., Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F., 2003a. Monitoring landslides and tectonic motion with the Permanent Scatterers technique. *Engineering Geology* 68/1-2, 3-14.
- Colesanti, C., Wasowski, J., 2004. Satellite SAR interferometry for wide-area slope hazard detection and site-specific monitoring of slow landslides. Proceedings of the ninth International Symposium on Landslides, Rio de Janeiro (Brazil), 28 June- 2 July 2004, vol. 1, pp. 795-802.
- Dehls J. (2006) - Permanent Scatterer InSAR processing: Forsmark. SKB Rapport R-06-56.
- Dehls, 2004, Preliminary analysis of InSAR data over Trondheim with respect to future road development. Report n° 2004.043, GSN.
- Farina P., Colombo D., Fumagalli A., Marks F., Moretti S., 2006. Permanent Scatterers for landslide investigations: outcomes from the ESA-SLAM project. *Engineering Geology*, 88, 200-217.

- Ferretti A., Colesanti C., Ferrucci F., Prati C., Rocca F. (2000). Monitoring Known Seismic Faults Using the Permanent Scatterers(PS)Technique. Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS 2000, Honolulu (USA) 24-28 July 2000, VOL. 5, 2221-2223
- Ferretti, A., Novali, F., Burgmann, R., Hilley, G. & Prati C. 2004. InSAR Permanent Scatterer Analysis Reveals Ups and Downs in San Francisco Bay Area. *EOS*, 85(34), 1-3.
- Hilley, G., Burgmann, R., Ferretti, A., Novali, F. & Rocca F. 2004. Dynamics of Slow-Moving Landslides from Permanent Scatterer Analysis. *Science* 2004-304: 1952-1955.
- Hilley, G.E., Burgmann, R., Ferretti, A., Novali, F., Rocca, F., 2004. Dynamics of slow-moving landslides from Permanent Scatterer analysis. *Science* 304, 1952–1955.
<http://dude.uibk.ac.at/projects/muscl/>.
- Ketelaar, V.B.H., R.F.Hanssen, A.P.E.M. Houtenbos, R.C. Lindenbergh, 2006. Idealization precision of point scatterers for deformation modelling. In Proceedings of: 4th International Symposium on Retrieval of Bio- and Geophysical Parameters from SAR Data for Land Applications, Innsbruck, Austria, 16-19 Nov 2004, pp. 320-327 (2005).
- Meisina, Zucca F., Fossati D., Ceriani M, Allievi J.(2006). Ground deformations monitoring by using the Permanent Scatterers Technique: the example of the Oltrepo Pavese (Lombardia, Italy), *Engineering Geology*, 88, 240-259.
- Mora O., Mallorquí J. J., Duro J., Broquetas A. Long-term subsidence monitoring of urban areas using differential interferometric SAR techniques
- Nagler, T., 2002. Monitoring Urban Subsidence, Cavities and Landslides by Remote Sensing (MUSCL). Technical Report WP330 “DInSAR Methods for Alpine Valleys”, available online:
- Nagler, T., Rott, H., Kamelger, A., 2002. Analysis of landslides in Alpine Areas by means of SAR Interferometry. Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2002), Toronto (Canada), 24–28 June 2002, vol. 1, pp. 198–200.
- Rocca, F., 2003. 3D Motion recovery with multi-angle and/or left right Interferometry. Proceedings of the third International Workshop on ERS SAR Interferometry (FRINGE 2003), Frascati (Italy), 2–5 December 2003. ESA SP-550, available also online: <http://earth.esa.int/fringe03/proceedings/>.
- Rott, H., Mayer, C., Siegel, A., 2000. On the operational potential of SAR interferometry for monitoring mass movements in Alpine areas. Proceedings of the 3rd European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR 2000), Munich, Germany.
- Rott, H., Scheuchl, B., Siegel, A., Grasemann, B., 1999. Monitoring very slow slope movements by means of SAR interferometry: a case study from a mass waste above a reservoir in the Ötztal Alps, Austria. *Geophysical Research Letters* 26, 1629–1632.
- Singhroy, V., Molch, K., 2004. Characterizing and monitoring rockslides from SAR techniques. *Advances in Space Research* 33, 290–295.
- Telerilevamento Europa, 2006. Rapporto di elaborazione. Regione Piemonte. Ref: 05.0J6C-REP1.0.
- Worawattanamateekul J., Hoffmann J., Adam N., Kampes B. Urban deformation monitoring in Bangkok metropolitan (Thailand) using permanent scatterer and differential interferometry techniques.

ALLEGATO 1

DATASET ALAGNA

Nome DBF originale: ALAGNA_REPROC_ERS_D_T251_2678_ARPA_full-dataset_UTM32_Vel.dbf

Il dataset Alagna si trova nel settore settentrionale del Piemonte ed occupa gran parte dei bacini del f. Sesia (provincia di Vercelli) del t. Cervo (provincia di Biella) e del t. Anza (provincia di Verbania). Il dataset è interamente ubicato nell'ambiente alpino massivo e alpino scistoso.

DATI GENERALI

Numero PS	17036
Numero Aree Anomale Automatiche totali	109
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20	102
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20 considerate	95
Numero Aree Anomale Interpretate	55
Rapporto 95/55	1.73

CLASSIFICAZIONE DELLE AREE ANOMALE INTERPRETATE

Tipologia di Interpretazione	Numero	Percentuale
Attività neotettonica e sismica		
Fenomeno franoso	11	20%
Subsidenza naturale		
Subsidenza connessa a fenomeni di dissoluzione		
Subsidenza indotta da estrazione di fluidi		
Subsidenza indotta da attività sotterranea		
Applicazione di carichi	1	2%
Comportamento geotecnico differenziale/ Cedimenti strutturali	3	5%
Detrito di versante instabile	28	51%
Altro		
N.d.	12	22%

NOTE:

- 11 aree anomale interpretate come fenomeno franoso ricadono in frane IFFI;
- 3 aree anomale interpretate come detrito di versante sono localizzate su frane descritte in IFFI e quindi riportate nel dbradar con il codice identificativo;
- In questo dataset la maggior parte dei PS sono costituiti da roccia in posto o detrito,
- nel settore meridionale, specie nella Valle Cervo, la maggior parte delle aree anomale sono state interpretate come detrito di versante instabile sia per la presenza di abbondante detrito come visibile da ortofoto sia per valori di ratio bassi e velocità eterogenee;
- i PS che ricadono su edifici sono piuttosto scarsi in questo dataset e di conseguenza anche le aree anomale interpretate come comportamento geotecnico differenziale sono ridotte;
- sono presenti 2 aree interpretate come fenomeno franoso che non ricadono in IFFI (idps 533 e idps 538)

LE AREE ANOMALE DI MAGGIORE INTERESSE

IDPS	COMUNE	INTERPRETAZIONE	NOTE
540	Fobello	Fenomeno franoso	L'area si trova su una DGPV dell'Alpe Baranca
546	Rimella	N.D	L'area si trova in prossimità di una frana complessa
552	Riva Valdobbia	Fenomeno franoso	L'area si trova su una DGPV I PS sembrano delineare bene il limite del movimento franoso
555	Campertogno	Fenomeno franoso	L'area si trova su una DGPV

DATASET ARGENTERA

Nome DBF originale: ARGENTERA_ERS_D_T22_2709_ARPAP_full-dataset_UTM32_Vel.dbf

Il dataset Argentera copre un territorio ubicato nell' estrema porzione SW della Regione Piemonte nella provincia di Cuneo.

Dal punto di vista geomorfologico gli ambienti che condizionano il presente territorio sono l' Alpino scistoso e l' Alpino massivo.

DATI GENERALI

Numero PS	3587
Numero Aree Anomale Automatiche totali	195
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20	44
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20 considerate	41
Numero Aree Anomale Interpretate	21
Rapporto 412/21	1.9

CLASSIFICAZIONE DELLE AREE ANOMALE INTERPRETATE

Tipologia di Interpretazione	Numero	Percentuale
Attività neotettonica e sismica		
Fenomeno franoso	5	24%
Subsidenza naturale		
Subsidenza connessa a fenomeni di dissoluzione		
Subsidenza indotta da estrazione di fluidi		
Subsidenza indotta da attività sotterranea		
Applicazione di carichi		
Comportamento geotecnico differenziale/ Cedimenti strutturali		
Detrito di versante instabile	4	19%
Altro		
N.d.	12	57%

NOTE

-5 delle aree anomale manuali interpretate come fenomeno franoso sono riportate nella scheda IFFI.

-la maggior parte delle aree anomale sono state interpretate come non determinabili, ciò è dovuto principalmente all'incertezza sulla validità dei dati di partenza. Sono stati indicati con n.d. casi di fenomeno franoso dubbio o le aree di fondovalle in abbassamento.

-Si evidenzia una soddisfacente correlazione tra le poche aree automatiche in comune tra il dataset Argentera e Demonte nella zona di sovrapposizione dei dataset.

-Si precisa che per la presente interpretazione sono stati considerati solo i dati full senza alcuna considerazione dei summer in quanto registravano solo valori in eccessivo abbassamento.

LE AREE ANOMAME DI MAGGIORE INTERESSE SONO

IDPS	COMUNE	INTERPRETAZIONE	NOTE
548-549	Acceglio	Fenomeno franoso	Le aree si trovano su una frana complessa Frane con la maggior densità di PS del Piemonte

DATASET ARONA

Nome DBF originale: ARONA_ERS_D_T251_2678_ARPAP_full-dataset_UTM32_Vel_menocost.dbf

Il dataset Arona copre il settore NE della regione Piemonte, che si estende dalla Val d'Ossola a Nord alla città di Cameri a Sud.

DATI GENERALI

Numero PS	118039
Numero Aree Anomale Automatiche totali	448
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20	388
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20 considerate	143
Numero Aree Anomale Interpretate	136
Rapporto 136/140	1,05

CLASSIFICAZIONE DELLE AREE ANOMALE INTERPRETATE

Tipologia di Interpretazione	Numero	Percentuale
Attività neotettonica e sismica		
Fenomeno franoso	2	2%
Subsidenza naturale		
Subsidenza connessa a fenomeni di dissoluzione		
Subsidenza indotta da estrazione di fluidi		
Subsidenza indotta da attività sotterranea		
Applicazione di carichi	5	4%
Comportamento geotecnico differenziale/ Cedimenti strutturali	14	10%
Detrito di versante instabile	3	3%
Altro		
N.d.	113	81%

NOTE

- 2 aree anomale interpretate come fenomeno franoso ricadono in frane IFFI;
- Si può osservare la quasi totale assenza di aree anomale nella porzione occidentale del dataset;
- L'81% delle aree anomale sono state classificate come non determinabili.
- 14 casi sono stati interpretati come cedimenti strutturali e si tratta di fenomeni puntuali che interessano il singolo edificio.

LE AREE ANOMALE DI MAGGIORE INTERESSE

IDPS	COMUNE	INTERPRETAZIONE	NOTE
316-317	Loreglia	Fenomeno franoso	Le aree si trovano su fenomeni franosi classificati come movimenti di tipo complesso
298	Gravellona Toce	N.D	Si tratta di una vasta area in fondovalle, ma a cui non è stato possibile attribuire un fenomeno preciso

DATASET ASTI

Nome DBF originale: ASTI_spianato_ERS_D_T251_2696_ARPAP_full-dataset_UTM32_Vel.dbf

Il dataset Asti copre un territorio ubicato nella porzione E della Regione Piemonte tra le province di Asti e Alessandria

Dal punto di vista geomorfologico gli ambienti che condizionano il presente territorio sono il Monferrato, la Collina di Torino e la Pianura.

DATI GENERALI

Numero PS	97147
Numero Aree Anomale Automatiche totali	310
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20	267
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20 considerate	108
Numero Aree Anomale Interpretate	107
Rapporto 108/107	1

CLASSIFICAZIONE DELLE AREE ANOMALE INTERPRETATE

Tipologia di Interpretazione	Numero	Percentuale
Attività neotettonica e sismica		
Fenomeno franoso	2	2%
Subsidenza naturale		
Subsidenza connessa a fenomeni di dissoluzione		
Subsidenza indotta da estrazione di fluidi		
Subsidenza indotta da attività sotterranea		
Applicazione di carichi	36	34%
Comportamento geotecnico differenziale/ Cedimenti strutturali	32	30%
Detrito di versante instabile		
Altro		
N.d.	36	34%

NOTE

- 2 aree anomale interpretate come fenomeno franoso ricadono in frane IFFI;
- un'area anomala manuale è stata interpretata come nuovo fenomeno franoso ed è riportata nella scheda IFFI e classificata come scivolamento rotazionale/traslazionale;
- l'alta percentuale di aree anomale interpretate come applicazione di carico è dovuta all'elevata recente edificazione;
- la percentuale di aree interpretate come comportamento geotecnico differenziale/cedimenti strutturali è dovuta alla notevole presenza di edifici in abbassamento spesso isolati, soprattutto nelle zone di pianura;
- situazioni non determinabili si sono riscontrate nelle zone di fondovalle e pianura dove si registrano abbassamenti, soprattutto nei centri urbani, e in quei casi in cui è difficoltoso scegliere un singolo fattore come causa di movimento. Rientrano in questo gruppo alcune aree anomale localizzate in corrispondenza delle linee ferroviarie Asti_Torino, Valenza_Mortara e Asti_Chivasso e lungo l'autostrada Torino_Piacenza.

Problematiche sorte con il dataset ASTI_ERS_D_T251_2696_ARPAP_full-dataset_UTM32_Vel

Nell'interpretazione del presente dataset sono sorti dei problemi che hanno portato a tralasciare, durante la fase di interpretazione, molte delle aree anomale automatiche. Questo perché non si è trovata corrispondenza tra i valori di velocità di movimento dei PS del dataset Asti e di quello Ovada, che in corrispondenza di Alessandria si sovrappongono. Si è osservato che l'abitato di Alessandria e il territorio circostante risultano in forte subsidenza dall'interpretazione fatta sul dataset Asti, mentre per il dataset Ovada i PS relativi alla medesima zona sono sostanzialmente fermi.

DATASET BIELLA

Nome DBF originale : BIELLA_ERS_D_T251_2678_App_ARPAP_full-dataset_UTM32_Vel.dbf

Il dataset Biella occupa il settore nord-occidentale del Piemonte, al confine con la Valle D'Aosta interessando le province di Torino, Biella e Vercelli.

Dal punto di vista geologico-geomorfologici il dataset è per la maggior parte costituito da ambiente di pianura e dall'ambiente prealpino nel quale è compreso l'intero apparato morenico di Ivrea e del Canavese, solo la porzione più settentrionale del dataset ricade nell'ambiente alpino

DATI GENERALI

Numero PS	183396
Numero Aree Anomale Automatiche totali	659
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20	499
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20 considerate	278
Numero Aree Anomale Interpretate	170
Rapporto 278/170	1.6

CLASSIFICAZIONE DELLE AREE ANOMALE INTERPRETATE

Tipologia di Interpretazione	Numero	Percentuale
Attività neotettonica e sismica		
Fenomeno franoso	10	6%
Subsidenza naturale		
Subsidenza connessa a fenomeni di dissoluzione		
Subsidenza indotta da estrazione di fluidi	1	1%
Subsidenza indotta da attività sotterranea		
Applicazione di carichi	11	6%
Comportamento geotecnico differenziale/ Cedimenti strutturali	31	18%
Detrito di versante instabile	25	15%
Altro		%
N.d.	92	54%

NOTE

- 9 aree anomale interpretate come fenomeno franoso ricadono in frane IFFI;
- 8 aree anomale interpretate come detrito di versante sono localizzate su frane descritte in IFFI e quindi riportate nel dbradar con il codice identificativo;
- Nella zona del comune di Carema sul versante sinistro della valle della Dora Baltea i PS evidenziano un'ampia zona in movimento solo in parte segnalata in IFFI, il dataset ascendente "Ivrea" evidenzia un analogo fenomeno sul versante opposto;
- Nella zona di Oropa sono presenti estese zone con detrito di versante;
- E' presenta un'area anomala classificata come in frana che non ricade in IFFI (IDPS 262).

LE AREE ANOMALE DI MAGGIORE INTERESSE

IDPS	COMUNE	INTERPRETAZIONE	NOTE
229-249-232	Carema	Fenomeno franoso	I PS sembrano evidenziare un movimento ben più esteso (DGPV?) rispetto alle frane di piccole dimensioni cartogafe in IFFI che rientrano in tali aree.
255	Pollone	Fenomeno franoso	L'area si trova in prossimità di una DGPV
634	Vigliano Biellese	Estrazione di fluidi	L'abbassamento è in corrispondenza di un'industria tessile
453	Perosa Canavese	N.D.	I PS mostrano un abbassamento considerevole su più edifici (presenza di depositi più fini?).

DATASET CANELLI

Nome DBF originale: CANELLI_ERS_D_T251_F2696Append2714_ARPAP_full_UTM32_Vel.dbf

Il dataset Canelli copre un territorio ubicato nella porzione SE della Regione Piemonte tra le province di Asti, Alessandria e Cuneo.

Dal punto di vista geomorfologico gli ambienti che condizionano il presente territorio sono: il Monferrato, dove si individua il maggior numero di aree anomale, le Langhe e la Pianura.

DATI GENERALI

Numero PS	85125
Numero Aree Anomale Automatiche totali	251
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20	244
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20 considerate	203
Numero Aree Anomale Interpretate	159
Rapporto 201/157	1.28

CLASSIFICAZIONE DELLE AREE ANOMALE INTERPRETATE

Tipologia di Interpretazione	Numero	Percentuale
Attività neotettonica e sismica		
Fenomeno franoso	8	5%
Subsidenza naturale		
Subsidenza connessa a fenomeni di dissoluzione		
Subsidenza indotta da estrazione di fluidi	2	1%
Subsidenza indotta da attività sotterranea		
Applicazione di carichi	45	28%
Comportamento geotecnico differenziale/ Cedimenti strutturali	41	26%
Detrito di versante instabile		
Altro		
N.d.	64	40%

NOTE:

- 15 delle aree anomale manuali interpretate ricadono in un fenomeno franoso riportato nella scheda IFFI;
- delle 7 aree anomale manuali interpretate come fenomeno franoso 5 sono riportate nell'inventario IFFI. Di queste ultime 4 sono ubicate in un settore CARG e 1 sono classificata come scivolamento rotazionali/traslazionale.
- subsidenza indotta da estrazione di fluidi è stata ipotizzata per una singola area anomala ubicata in prossimità di una località denominata Acqua Marcia e dove sono presenti la Sorgente Minerale e la Fonte Salutis;
- l'alta percentuale di aree anomale interpretate come applicazione di carico è dovuta all'elevata recente edificazione, soprattutto nelle aree urbanizzate;
- la percentuale di aree interpretate come comportamento geotecnico differenziale/cedimenti strutturali è dovuta alla notevole presenza di edifici in fondovalle spesso isolati e con significati indici di movimento. Da segnalare la situazione che si registra lungo un tratto della Ferrovia Torino_Genova nel comune di Villafranca d'Asti (Asti);
- le aree anomale relative all'abitato di San Damiano d'Asti e di Canale sono state interpretate come ND in quanto si tratta di due zone in sollevamento,
- Situazioni non determinabili sono state riscontrate soprattutto nelle zone di fondovalle dove si registrano abbassamenti in centri urbani e in quei casi in cui è difficoltoso scegliere un singolo fattore come causa di subsidenza. Tra le aree anomale non determinabili rientra anche una zona in sollevamento (visionata anche su terreno) situata presso Canelli (località Castagnole) dove si può ipotizzare che il sollevamento sia determinato dalla spinta esercitata dalla frana soprastante l'abitato. Il sopralluogo ha mostrato la presenza di piccole lesioni sugli edifici.

LE AREE ANOMALE DI MAGGIORE INTERESSE

IDPS	COMUNE	INTERPRETAZIONE	NOTE
70	San Damiano d'Asti	N.D	Area in sollevamento
71	Cossano Belbo	Fenomeno franoso	
242	Villafranca d'Asti	Applicazione di carichi	Rilevato ferroviario

DATASET CORTEMILIA

Nome DBF originale: CORTEMILIA_ERS_D_T251_F2714_ARPAP_full_UTM32_Vel.dbf

Il dataset Cortemilia occupa il settore centro-meridionale del Piemonte, coprendo le province di Cuneo, Asti e Alessandria. Il dataset è per la maggiorparte ubicato sull'ambiente geomorfologico delle Langhe, con una piccola porzione di pianura Cuneese e di Monferrato.

DATI GENERALI

Numero PS	57659
Numero Aree Anomale Automatiche totali	475
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20	431
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20 considerate	307
Numero Aree Anomale Interpretate	213
Rapporto 307/213	1.4

CLASSIFICAZIONE DELLE AREE ANOMALE INTERPRETATE

Tipologia di Interpretazione	Numero	Percentuale
Attività neotettonica e sismica		
Fenomeno franoso	58	27%
Subsidenza naturale		
Subsidenza connessa a fenomeni di dissoluzione		
Subsidenza indotta da estrazione di fluidi		
Subsidenza indotta da attività sotterranea		
Applicazione di carichi	7	3%
Comportamento geotecnico differenziale/ Cedimenti strutturali	31	15%
Detrito di versante instabile	1	
Altro		
N.d.	116	55%

NOTE:

- 48 aree anomale interpretate come fenomeno franoso ricadono in frane IFFI;
- Le aree anomale classificate come fenomeno franoso si concentrano soprattutto sul versante destro della Valle Belbo fra i comuni di Feisoglio e Castino e sul versante destro della valle Bormida di Millesimo fra Prunetto e Perletto un'altra area è presente nella zona di La Morra e Cherasco in destra idrografica del f. Tanaro;
- le aree anomale presenti in valle Bormida e Belbo spesso coincidono con i settori CARG dell'IFFI e sono in condizioni geologiche geomorfologiche simili: versante a franapoggio con formazioni marnoso-argilloso-arenacee con immersione monoclinale a NW di 10-15°. Non sono però presenti in genere aree anomale dove si sono verificate delle frane di scivolamento planare nell'evento del Novembre 1994;
- La zona di Cherasco - La Morra, (che rientra nell'Ambiente del Monferrato) presenta alcuni problemi di interpretazione: La presenza della Formazione Gessoso-Solfifera sono possibili fenomeni di dissoluzione come causa o concausa del movimento (*Giardino & Zerbatò. (2006)*);
- Sono presenti due aree (IDPS 125 e 186) interpretate come fenomeno franoso anche nel settore di pianura perchè in corrispondenza di scarpate di terrazzo con notevoli dislivelli (50 m);
- Le aree anomale in di pianura e di fondovalle sono in gran parte legate a fenomeni puntuali legati a singoli edifici, solo poche alcune aree sembrano avere (dubbi) fenomeni di subsidenza più diffusa.

LE AREE ANOMALE DI MAGGIORE INTERESSE

IDPS	COMUNE	INTERPRETAZIONE	NOTE
4-13	Feisoglio e Castino	Fenomeno franoso	
16-18-19	Perletto e San Giorgio Scarampi	Detrito di versante instabile	
72	Paroldo	Fenomeno franoso	
77	Priero	Fenomeno franoso	
134-144	Cherasco e La Morra	Fenomeno franoso	Frane probabilmente legate a fenomeni di dissoluzione

DATASET DEMONTE

Nome DBF originale: DEMONTE_REPROC_ERS_D_T22_2709_ARPAP_full-dataset_UTM32_VEL.dbf

Il Dataset Demonte occupa il settore sud-Occidentale del Piemonte ed è interamente in provincia di Cuneo. L'area si trova principalmente nell'ambiente geomorfologico Alpino Massivo (Massiccio cristallino dell'Argentera e rocce calcaree/dolomitiche mesozoiche) e prealpino con piccole zone in ambiente alpino Scistoso.

DATI GENERALI

Numero PS	27308
Numero Aree Anomale Automatiche totali	111
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20	100
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20 considerate	91
Numero Aree Anomale Interpretate	64
Rapporto 91/64	1.4

CLASSIFICAZIONE DELLE AREE ANOMALE INTERPRETATE

Tipologia di Interpretazione	Numero	Percentuale
Attività neotettonica e sismica		
Fenomeno franoso	18	28%
Subsidenza naturale		
Subsidenza connessa a fenomeni di dissoluzione		
Subsidenza indotta da estrazione di fluidi		
Subsidenza indotta da attività sotterranea		
Applicazione di carichi	2	3%
Comportamento geotecnico differenziale/ Cedimenti strutturali	7	11%
Detrito di versante instabile	17	27%
Altro	1	2%
N.d.	19	30%

NOTE:

- 18 aree anomale interpretate come fenomeno franoso ricadono in frane IFFI;
- In questo dataset la maggiorparte dei PS sono costituiti da roccia in posto;
- Nel settore NW del dataset, tra il versante destro della valle Maira e il versante sinistro della Valle Stura di Demonte si concentrano la maggior parte delle aree anomale interpretate come fenomeni franosi (IDPS 398 – 408) che coincidono quasi sempre con frane già segnalate in IFFI.
- Molte aree sono invece state interpretate come semplice detrito di versante instabile. Spesso il criterio, soggettivo, utilizzato per distinguere fra un'area in frana ed un semplice detrito di versante si basa sulla ratio (il rapporto fra PS in movimento e PS totali), l'omogeneità della velocità e le condizioni generali di contorno.
- Non ci sono aree classificate come in frana ma non presenti nel database IFFI, anche se le aree in movimento spesso si protraggono al di là del limite cartografato in IFFI.
- Nelle aree di fondovalle sono presenti solamente fenomeni puntuali legati a singoli edifici

LE AREE ANOMALE DI MAGGIORE INTERESSE

IDPS	COMUNE	INTERPRETAZIONE	NOTE
441-442-443	Limone Piemonte	Fenomeno franoso	Le aree si trovano su una DGPV

DATASET FORMAZZA SUMMER

Nome DBF originale: Formazza_ERS_D_T251_2678_ARPAP_summer_dataset_UTM32_Vel.dbf

Il dataset Formazza copre la porzione NE del Piemonte nella provincia del Verbano-Cusio-Ossola.

Per questo dataset è stato utilizzato il dato summer a causa della presenza di una percentuale rilevante di territorio a quote elevate. Nelle zone di fondovalle il dataset summer è stato confrontato con il dataset full in genere più attendibile nelle zone non interessate da innevamento.

L'analisi del dataset Formazza è stata eseguita utilizzando le aree anomale manuali, usando le aree automatiche solo per un confronto.

DATI GENERALI

Numero PS	41618
Numero Aree Anomale Automatiche totali	366
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20	356
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20 considerate	219
Numero Aree Anomale Interpretate	170
Rapporto 219/170	1.29

CLASSIFICAZIONE DELLE AREE ANOMALE INTERPRETATE

Tipologia di Interpretazione	Numero	Percentuale
Attività neotettonica e sismica		
Fenomeno franoso	31	18,2%
Subsidenza naturale		
Subsidenza connessa a fenomeni di dissoluzione		
Subsidenza indotta da estrazione di fluidi		
Subsidenza indotta da attività sotterranea		
Applicazione di carichi		
Comportamento geotecnico differenziale/ Cedimenti strutturali	1	0,6%
Detrito di versante instabile	61	35,9%
Altro		
N.d.	77	45,3%

NOTE:

-30 aree anomale interpretate come fenomeno franoso ricadono in frane IFFI;

-I PS in ambiente alpino sono quasi esclusivamente rappresentati da detrito di versante instabile. In questi casi le velocità sono molto variabili e non è facile stabilire, attraverso la fotointerpretazione, se si tratti di movimenti superficiali del detrito o movimenti causati da fenomeni franosi più profondi;

-I casi non determinabili in ambiente alpino sono rappresentati da abitazioni isolate (baite) o da aree in cui non si riesce ad identificare con precisione i PS come detrito o roccia in posto;

-Molte aree non determinabili cadono nelle zone di fondovalle ed i PS sono rappresentati quasi esclusivamente da abitazioni;

LE AREE ANOMALE DI MAGGIORE INTERESSE

IDPS	COMUNE	INTERPRETAZIONE	NOTE
107	Crodo	Fenomeno franoso	Scivolamento rotazionale
157	Trasquera		L'area si trova in prossimità di una DGPV
471-472	Villadossola	N.D.	
Da 131 a 147	Varzo	Fenomeno franoso	Aree anomale sulle DGPV del versante destro della valle Cheirasca tra Varzo e San Domenico

DATASET FOSSANO

Nome DBF originale: FOSSANO_REPROC_ERS_D_T22_2709_ARPAP_full-dataset_UTM32_VEL.dbf

IL Dataset Fossano si trova, dal punto di vista geomorfologico in quattro ambienti: prealpino, alpino scistoso, alpino massivo e pianura.

Dal punto di vista geologico l'area è occupata nella porzione orientale da materiale alluvionale fluvio-glaciale (pianura), mentre nella porzione più occidentale da materiale metamorfico come gneiss granitoidi e gneiss occhiadini (prealpino).

DATI GENERALI

Numero PS	102647
Numero Aree Anomale Automatiche totali	168
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20	159
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20 considerate	119
Numero Aree Anomale Interpretate	82
Rapporto 119/82	1.45

CLASSIFICAZIONE DELLE AREE ANOMALE INTERPRETATE

Tipologia di Interpretazione	Numero	Percentuale
Attività neotettonica e sismica		
Fenomeno franoso	31	10%
Subsidenza naturale	1	1%
Subsidenza connessa a fenomeni di dissoluzione		
Subsidenza indotta da estrazione di fluidi		
Subsidenza indotta da attività sotterranea		
Applicazione di carichi	3	4%
Comportamento geotecnico differenziale/ Cedimenti strutturali	7	9%
Detrito di versante instabile	16	20%
Altro	8	2%
N.d.	25	30%

NOTE

- 31 aree anomale interpretate come fenomeno franoso ricadono in frane IFFI;
- 4 aree anomale interpretate come detrito di versante sono localizzate su frane descritte in IFFI e quindi riportate nel dbradar con il codice identificativo;
- il numero elevato di aree anomale classificate come applicazioni di carichi è dovuta all'elevata edificazione, soprattutto nelle aree urbanizzate;
- la percentuale di aree interpretate come comportamento geotecnico differenziale/cedimenti strutturali è dovuta alla notevole presenza di edifici in fondovalle spesso isolati e con significati indici di movimento;
- Situazioni non determinabili si sono riscontrate soprattutto nelle zone di fondovalle dove si registrano abbassamenti in centri urbani o edifici isolati;
- da segnalare la frana di scivolamento rotazionale (codice iffi 004-00334-02) situata nel comune di Celle di Macra per possibili modificazioni dei limiti cartografati in IFFI

LE AREE ANOMALE DI MAGGIORE INTERESSE

IDPS	COMUNE	INTERPRETAZIONE	NOTE
669	Bagnolo Piemonte	Detrito di versante instabile	Detrito di versante instabile con velocità di movimento molto alte
758	Paesana	Fenomeno franoso	L'area si trova su una DGPV
786-783-932-933-784-934-785-790-789-782-781	Casteldelfino	Fenomeno franoso	L'area si trova su una DGPV
817	Cella di Macra	Fenomeno franoso	L'area si trova su una frana di scivolamento rotazionale

DATASET LOCANA

Nome DBF originale. LOCANA_REPROC_ERS_D_T22_2691_ARPAP_full-dataset_UTM32_VEL.dbf

Il dataset Locana copre un territorio ubicato nell'estrema porzione NW della Regione Piemonte nella provincia di Torino.

Dal punto di vista geomorfologico gli ambienti che condizionano il presente territorio sono: l' Alpino scistoso, l' Alpino massivo, parte delle Prealpi e molto marginalmente la Pianura.

DATI GENERALI

Numero PS	35280
Numero Aree Anomale Automatiche totali	132
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20	113
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20 considerate	109
Numero Aree Anomale Interpretate	56
Rapporto 109/56	1.9

CLASSIFICAZIONE DELLE AREE ANOMALE INTERPRETATE

Tipologia di Interpretazione	Numero	Percentuale
Attività neotettonica e sismica		
Fenomeno franoso	19	34%
Subsidenza naturale		
Subsidenza connessa a fenomeni di dissoluzione		
Subsidenza indotta da estrazione di fluidi		
Subsidenza indotta da attività sotterranea		
Applicazione di carichi	3	5%
Comportamento geotecnico differenziale/ Cedimenti strutturali	3	5%
Detrito di versante instabile	17	31%
Altro		
N.d.	14	25%

NOTE:

-delle 22 aree anomale manuali interpretate come fenomeno franoso 18 sono riportate nella scheda IFFI. Diffusi soprattutto crolli e ribaltamenti, ma sono presenti anche DGPV, frane complesse e colamenti

-le 3 aree anomale interpretate come applicazione di carico sono ubicate nell'ambiente Prealpino e sono dovute alla subsidenza indotta da recente costruzione di nuovi edifici

-le 4 aree interpretate come comportamento geotecnico differenziale/cedimenti strutturali sono relative a cedimenti di singoli edifici isolati o della rete stradale

-parecchie aree anomale racchiudono zone con presenza di detrito e sono state interpretate come *detrito di versante instabile*. Sono distribuite nell'ambiente alpino scistoso e alpino massivo; solo un singolo caso è nel prealpino. Si tratta spesso di detrito in movimento impostato su un versante sostanzialmente fermo (con dati ps)

-situazioni non determinabili sono state indicate sostanzialmente quando si individua presenza di materiale detritico in parziale movimento e si è incerti se si tratta di fenomeno franoso o semplice movimento del detrito superficiale lungo il versante.

LE AREE ANOMALE DI MAGGIORE INTERESSE

IDPS	COMUNE	INTERPRETAZIONE	NOTE
478-479	Ceresole Reale	Fenomeno franoso	
499	Ceresole Reale	Fenomeno franoso	
503	Locana	Fenomeno franoso	
520	Grosso Cavallo	Fenomeno franoso	

DATASET NOVARA

Nome DBF originale: NOVARA_ERS_D_T251_2678_App_ARPAP_full-dataset_UTM32_Vel.dbf

Il dataset Novara occupa il settore centro-orientale del Piemonte, coprendo le Province di Novara, Vercelli, Biella e Alessandria la quasi totalità del dataset ricade in Ambiente di Pianura.

DATI GENERALI

Numero PS	150913
Numero Aree Anomale Automatiche totali	264
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20	219
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20 considerate	123
Numero Aree Anomale Interpretate	54
Rapporto 123/54	2.3

CLASSIFICAZIONE DELLE AREE ANOMALE INTERPRETATE

Tipologia di Interpretazione	Numero	Percentuale
Attività neotettonica e sismica		
Fenomeno franoso		
Subsidenza naturale		
Subsidenza connessa a fenomeni di dissoluzione		
Subsidenza indotta da estrazione di fluidi		
Subsidenza indotta da attività sotterranea		
Applicazione di carichi	18	33%
Comportamento geotecnico differenziale/ Cedimenti strutturali	10	19 %
Detrito di versante instabile		
Altro		
N.d.	26	48%

LE AREE ANOMALE DI MAGGIORE INTERESSE

IDPS	COMUNE	INTERPRETAZIONE	NOTE
627	Treccate, Romentino, Galliate, Cerano e Sozzago	N.D.	L'area classificata come n.d. presenta velocità in abbassamento maggiori verso il centro dell'area. Da verificare l'esistenza e la causa di tale fenomeno forse imputabile all'estrazione di fluidi.

DATASET ORMEA

Nome DBF originale: ORMEA_ERS_D_T251_F2714_ARPAP_UTM33_Vel.dbf

Il dataset occupa il settore SSW del Piemonte ed è interamente in provincia di Cuneo. Il dataset si trova fra gli ambienti geomorfologici Alpino Massivo (Rocce calcaree mesozoiche delle Alpi liguri) Alpino Scistoso (Flysch, micascisti, calcescisti) e prealpino con alcuni piccoli settori di Langhe e pianura cuneese

DATI GENERALI

Numero PS	32800
Numero Aree Anomale Automatiche totali	125
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20	95
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20 considerate	78
Numero Aree Anomale Interpretate	69
Rapporto 78/69	1.13

CLASSIFICAZIONE DELLE AREE ANOMALE INTERPRETATE

Tipologia di Interpretazione	Numero	Percentuale
Attività neotettonica e sismica		
Fenomeno franoso	7	10%
Subsidenza naturale		
Subsidenza connessa a fenomeni di dissoluzione		
Subsidenza indotta da estrazione di fluidi		
Subsidenza indotta da attività sotterranea		
Applicazione di carichi	3	4%
Comportamento geotecnico differenziale/ Cedimenti strutturali	16	23%
Detrito di versante instabile	7	10%
Altro		
N.d.	34	52%

NOTE:

- 5 aree anomale interpretate come fenomeno franoso ricadono in frane IFFI;
- 1 aree anomale interpretate come detrito di versante sono localizzate su frane descritte in IFFI e quindi riportate nel dbradar con il codice identificativo
- Il dataset presenta caratteristiche “Alpine” ovvero con la maggior parte dei PS rappresentati da detrito/rocce nel settore occidentale e meridionale, mentre verso la pianura e nei settori collinari la maggior parte dei PS sono costituiti da edifici.
- Nei fondovalle principali (F. Tanaro) e nella pianura si riscontrano solo fenomeni puntuali relativi ad edifici singoli.
- Anche in questo dataset nel settore alpino (es zona di Ormea) si pone il problema della distinzione fra fenomeno franoso e semplice detrito di versante
- L’ area anomala interpretata come fenomeno franoso ma non riportata nel database IFFI (IDPS 511) situata a monte della nicchia di una frana;
- Le aree classificate come N.D. in genere sono fenomeni puntuali e molto circoscritti sui quali i PS ricadono su strutture non riconoscibili; in altri casi più limitati si tratta di aree la cui classificazione, anche per gli scarsi dati a disposizione, rimane incerta fra due cause.

LE AREE ANOMALE DI MAGGIORE INTERESSE

IDPS	COMUNE	INTERPRETAZIONE	NOTE
514	Mondovì e Monastero di Vasco	Fenomeno franoso	L’area si trova su una frana complessa
487	S.Giacomo di Roburent	Fenomeno franoso	L’area è ubicata su una frana per scivolamento roto-traslazionale

DATASET OVADA

Nome DBF originale:OVADA_REPROC_ERS_D_T480_2709_ARPAP_UTM32N_VEL.dbf

Il dataset Ovada occupa il settore sud-orientale del Piemonte; interamente nella Provincia di Alessandria. il dataset comprende gli ambienti geomorfologici delle Langhe e del Bacino Terziario Ligure-Piemontese, del Monferrato, l'Alpino scistoso massivo (Ofioliti del Gruppo di Voltri – Alpi Liguri), la pianura e l'Appennino ad est.

DATI GENERALI

Numero PS	98513
Numero Aree Anomale Automatiche totali	723
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20	429
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20 considerate	302
Numero Aree Anomale Interpretate	259
Rapporto 302/259	1.6

CLASSIFICAZIONE DELLE AREE ANOMALE INTERPRETATE

Tipologia di Interpretazione	Numero	Percentuale
Attività neotettonica e sismica		
Fenomeno franoso	44	17%
Subsidenza naturale		
Subsidenza connessa a fenomeni di dissoluzione	1	0,4%
Subsidenza indotta da estrazione di fluidi	3	1%
Subsidenza indotta da attività sotterranea		
Applicazione di carichi	16	6%
Comportamento geotecnico differenziale/ Cedimenti strutturali	65	25%
Detrito di versante instabile	13	5%
Altro	4	2%
N.d.	113	43%

NOTE:

- 44 aree anomale interpretate come fenomeno franoso ricadono in frane IFFI;
- 1 area anomala interpretata come detrito di versante è localizzate su una frana descritta in IFFI e quindi riportata nel dbradar con il codice identificativo;
- in questo dataset si è usata una soglia di velocità $-1.5 / +1.5$ mm/yr per creare le aree anomale automatiche. La ratio minima nel settore di pianura è stata quindi alzata al 50% per avere un confronto con i restanti dataset con soglia $-2 / +2$ mm/yr;
- le aree in frana sono state individuate soprattutto nell'ambiente delle Langhe - BTLP specie nel settore occidentale dove l'assetto strutturale è a monoclinale con versanti a franapoggio esposti a NW, e nella zona Appennica sulla formazione dei Calcari di Monte Antola
- nella frazione Torre Sterpi è presente un'area anomala (Idps353) classificata come frana non segnalata in IFFI ma nella Dbgeo Arpa.;
- le aree individuate come detrito di versante sono presenti nel settore Alpino scistoso (zona del gruppo di Voltri);
- un'area anomala (IDps 246) nel Comune di Molare ubicata sulla frana complessa IFFI 006-454465-02 presenta valori in "innalzamento", ma che se proiettati lungo il pendio diventano negativi per cui l'area è stata interpretata come movimento franoso;
- la linea ferroviaria Alessandria-Novati (IDps 352) presenta PS in abbassamento per un tratto piuttosto ampio;
- le aree in Pianura sembrano tutte essere fenomeni puntuali relativi a singoli edifici, una sola area nei pressi di Cassine (AL) IDps 335, è stata interpretata come ND (possibile subsidenza connessa alla presenza di argille).

LE AREE ANOMALE DI MAGGIORE INTERESSE

IDPS	COMUNE	INTERPRETAZIONE	NOTE
352	Sant'Agata Fossili	Fenomeno di dissoluzione	
231	Ponzone	N.D	
6	Cabella Ligure	Fenomeno franoso	
15	Carrega Ligure	Detrito di versante	
16	Carrega Ligure	Fenomeno franoso	

DATASET PINEROLO

Nome DBF originale: PINEROLO_ERS_D_T22_2709_ARPAP_full-dataset_UTM32_Vel.dbf

IL Datase Pinerolo si trova, dal punto di vista geomorfologico in due ambienti: prealpino e pianura.

Dal punto di vista geologico l'area è occupata nella porzione orientale da materiale fluvio-glaciale (pianura), mentre nella porzione più occidentale da rocce metamorfiche (gneiss granitoidi e gneiss occhialini)

DATI GENERALI

Numero PS	126404
Numero Aree Anomale Automatiche totali	253
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20	208
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20 considerate	86
Numero Aree Anomale Interpretate	78
Rapporto 86/78	1.10

CLASSIFICAZIONE DELLE AREE ANOMALE INTERPRETATE

Tipologia di Interpretazione	Numero	Percentuale
Attività neotettonica e sismica		
Fenomeno franoso	8	10%
Subsidenza naturale	1	
Subsidenza connessa a fenomeni di dissoluzione		
Subsidenza indotta da estrazione di fluidi		
Subsidenza indotta da attività sotterranea		
Applicazione di carichi	4	5%
Comportamento geotecnico differenziale/ Cedimenti strutturali	4	5%
Detrito di versante instabile	19	25%
Altro		
N.d.	43	55%

NOTE

-8 aree anomale interpretate come fenomeno franoso ricadono in frane IFFI;

-9 aree anomale interpretate come detrito di versante sono localizzate su frane descritte in iffi e quindi riportate nel dbradar con il codice identificativo

-Le aree non interpretabili sono localizzate nei fondovalle e nelle zone di pianura

DATASET PRAGELATO

Nome DBF originale: PRAGELATO_ERS_D_T22_2691_App-ARPAP_full-dataset_UTM32_Vel.dbf

IL Datate Pragelato si trova, dal punto di vista geomorfologico in ambiente alpino scistoso. Dal punto di vista geologico l'area è occupata in percentuale elevata da calcescisti e micascisti.

DATI GENERALI

Numero PS	9030
Numero Aree Anomale Automatiche totali	179
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20	178
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20 considerate	82
Numero Aree Anomale Interpretate	62
Rapporto 82/62	1.32

CLASSIFICAZIONE DELLE AREE ANOMALE INTERPRETATE

Tipologia di Interpretazione	Numero	Percentuale
Attività neotettonica e sismica		
Fenomeno franoso	27	41%
Subsidenza naturale		
Subsidenza connessa a fenomeni di dissoluzione		
Subsidenza indotta da estrazione di fluidi		
Subsidenza indotta da attività sotterranea		
Applicazione di carichi		
Comportamento geotecnico differenziale/ Cedimenti strutturali		
Detrito di versante instabile	4	6%
Altro		
N.d.	35	53%

NOTE

- 27 aree anomale interpretate come fenomeno franoso ricadono in frane IFFI;
- Le aree non classificabili sono state riscontrate in fondovalle dove si registrano abbassamenti di centri urbani e di edifici isolati;
- Le aree anomale IDPS 878 e 879 si trovano su una DGPV monitorata (comune di Oulx);
- Le aree anomale IDPS 892 e 908 si trovano su una DGPV monitorata (comune di Cesana Torinese);

LE AREE ANOMALE DI MAGGIORE INTERESSE

IDPS	COMUNE	INTERPRETAZIONE	NOTE
892-908	Cesana Torinese	Fenomeno franoso	Le aree si trovano su una DGPV
878-879	Sauze d'Oulx	Fenomeno franoso	Le aree si trovano su una DGPV

DATASET SUSa

Nome DBF originale: SUSa-ERS-D-T22-2691-ARPAP-full-dataset-UTM32_Vel.dbf

IL Dataset Susa si trova, dal punto di vista geomorfologico in ambiente alpino scistoso. Dal punto di vista geologico l'area è occupata da materiale metamorfico come gneiss granitoidi e gneiss occhiadini (prealpino).

DATI GENERALI

Numero PS	7460
Numero Aree Anomale Automatiche totali	47
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20	44
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20 considerate	27
Numero Aree Anomale Interpretate	21
Rapporto 27/21	1.28

CLASSIFICAZIONE DELLE AREE ANOMALE INTERPRETATE

Tipologia di Interpretazione	Numero	Percentuale
Attività neotettonica e sismica		
Fenomeno franoso	5	24%
Subsidenza naturale		
Subsidenza connessa a fenomeni di dissoluzione		
Subsidenza indotta da estrazione di fluidi		
Subsidenza indotta da attività sotterranea		
Applicazione di carichi		
Comportamento geotecnico differenziale/ Cedimenti strutturali	1	4%
Detrito di versante instabile	5	24%
Altro		
N.d.	10	48%

NOTE

- 5 aree anomale interpretate come fenomeno franoso ricadono in frane IFFI;
- 3 aree anomale interpretate come detrito di versante sono localizzate su frane descritte in IFFI e quindi riportate nel dbradar con il codice identificativo;
- Le aree non classificabili sono localizzate in fondovalle e nelle zone di pianura dove si registrano abbassamenti di centri urbani e di edifici isolati.
- Le aree anomale IDPS 845, 846, 847, 848 si trovano su una frana complessa monitorata (comune di Novalesa)

DATASET TORINO

Nome DBF originale: TORINO_REPROC_ERS_D_T22_2691_ARPAP_UTM32_VEL.dbf

IL Datase Torino si trova dal punto di vista geomorfologico in tre ambienti: prealpino, dove si trovano concentrati la maggior parte di aree anomale, appennino (collina Torino) e pianura.

Dal punto di vista geologico l'area è occupata nella porzione orientale da materiale alluvionale fluvio-glaciale (pianura), mentre nella porzione più occidentale da materiale metamorfico come gneiss granitoidi e gneiss occhiadini (prealpino).

DATI GENERALI

Numero PS	264834
Numero Aree Anomale Automatiche totali	1435
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20	1184
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20 considerate	631
Numero Aree Anomale Interpretate	435
Rapporto 631/435	1.45

CLASSIFICAZIONE DELLE AREE ANOMALE INTERPRETATE

Tipologia di Interpretazione	Numero	Percentuale
Attività neotettonica e sismica		
Fenomeno franoso	18	4%
Subsidenza naturale	1	0,05%
Subsidenza connessa a fenomeni di dissoluzione		
Subsidenza indotta da estrazione di fluidi		
Subsidenza indotta da attività sotterranea		
Applicazione di carichi	10	2%
Comportamento geotecnico differenziale/ Cedimenti strutturali	39	9%
Detrito di versante instabile	111	26%
Altro	8	2%
N.d.	248	57%

NOTE

- 18 aree anomale interpretate come fenomeno franoso ricadono in frane IFFI;
- 38 aree anomale interpretate come detrito di versante sono localizzate su frane descritte in IFFI e quindi riportate nel dbradar con il codice identificativo;
- il numero elevato di aree anomale classificate come applicazioni di carichi è dovuta all'elevata edificazione, nelle zone urbanizzate.
- l' area anomala classificata come subsidenza naturale è concentrata in Val di Susa; questa zona si estende da S.Antonino di Susa fino alla stretta di Alpignano. L'area era occupata da un esteso lago formatosi con l'inizio dell'ultimo ritiro glaciale; i depositi di colmamento costituiscono un complesso che supera localmente lo spessore di 200 m, indicando la lunga persistenza del bacino (da note illustrative della carta geologica d'Italia n°154).
- Le aree non classificabili si sono riscontrate in fondovalle e nelle zone di pianura dove si registrano abbassamenti di centri urbani e di edifici isolati.
- Le aree anomale classificate come altro sono localizzate in prossimità di una cava
- Le aree anomale IDPS 455 e 456 si trovano su una frana complessa monitorata.

LE AREE ANOMALE DI MAGGIORE INTERESSE

IDPS	COMUNE	INTERPRETAZIONE	NOTE
971	Tra San Antonino di Susa e Alpignano	Consolidamento di terreni	
124	Condove	Fenomeno franoso	L'area si trova in prossimità di una frana complessa

DATASET VALENZA

Nome DBF originale: VALENZA_ERS_D_T480_F2691Append2709_ARPAP_UTM32_Vel.dbf

Il dataset Valenza occupa la parte sud-Orientale del Piemonte interamente in provincia di Alessandria. Esso comprende la pianura alessandrina e parte delle colline del pre-appennino Tortonese .

DATI GENERALI

Numero PS	39869
Numero Aree Anomale Automatiche totali	202
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20	120
Numero Aree Anomale Automatiche con Ratio ≥ 20 considerate	24
Numero Aree Anomale Interpretate	19
Rapporto 24/19	1.3

CLASSIFICAZIONE DELLE AREE ANOMALE INTERPRETATE

Tipologia di Interpretazione	Numero	Percentuale
Attività neotettonica e sismica		
Fenomeno franoso		
Subsidenza naturale		
Subsidenza connessa a fenomeni di dissoluzione		
Subsidenza indotta da estrazione di fluidi	6	32%
Subsidenza indotta da attività sotterranea		
Applicazione di carichi	4	21%
Comportamento geotecnico differenziale/ Cedimenti strutturali	2	11%
Detrito di versante instabile	1	5%
Altro		
N.d.	6	32%

NOTE:

-I valori di velocità medi della velocità dei PS hanno valori positivi in modo leggermente anomalo (+0.33) per cui nelle zone di sovrapposizione con il dataset Ovada (per altro riprocessato) sono stati scartati i dati del Valenza

-L'area anomala classificata come altro è un fenomeno di erosione spondale

LE AREE ANOMAME DI MAGGIORE INTERESSE SONO

IDPS	COMUNE	INTERPRETAZIONE	NOTE
117	Pontecurone	Estrazione di fluidi	Area soggetta ad abbassamenti omogenei

SCHEMA RIASSUNTIVA**AREE ANOMALE DI MAGGIOR INTERESSE**

IDPS	DATASET	COMUNE	INTERPRETAZION E	NOTE
540	Alagna	Fobello	Fenomeno franoso	L'area si trova su una DGPV dell'Alpe Baranca
546	Alagna	Rimella	N.D	L'area si trova in prossimità di una frana complessa; E' probabile che il fenomeno, adiacente all'abitato, sia nella realtà più esteso di come è stato cartografato
552	Alagna	Riva Valdobbia	Fenomeno franoso	L'area si trova su una DGPV I ps sembrano delineare bene il limite del movimento franoso
555	Alagna	Campertogno	Fenomeno franoso	L'area si trova su una DGPV
548-549	Argentera	Acceglio	Fenomeno franoso	Le aree si trovano su una frana complessa Frane con la maggior densità di PS del Piemonte
316-317	Arona	Loreglia	Fenomeno franoso	Le aree si trovano su fenomeni franosi classificati come movimenti di tipo complesso
298	Arona	Gravellona Toce	N.D	Si tratta di una vasta area in fondovalle, ma a cui non è stato possibile attribuire un fenomeno preciso
229-249- 232	Biella	Carema	Fenomeno franoso	I PS sembrano evidenziare un movimento ben più esteso (DGPV?) rispetto alle frane di piccole dimensioni cartografate in IFFI che rientrano in tali aree.
255	Biella	Pollone	Fenomeno franoso	L'area si trova in prossimità di una DGPV
634	Biella	Vigliano Biellese	Estrazione di fluidi	L'abbassamento è in corrispondenza di un industria tessile
453	Biella	Perosa Canavese	N.D.	I PS mostrano un abbassamento considerevole su più edifici (presenza di depositi più fini?).
70	Canelli	San Damiano d'Asti	N.D	Area in sollevamento

71	Canelli	Cossano Belbo	Fenomeno franoso	
242	Canelli	Villafranca d'Asti	Applicazione di carichi	Rilevato ferroviario
4\13	Cortemila	Feisoglio e Castino	Fenomeno franoso	
16-18-19	Cortemila	Perletto e San Giorgio Scarampi	Fenomeno franoso	
72	Cortemila	Paroldo	Fenomeno franoso	
77	Cortemila	Priero	Fenomeno franoso	
134-144	Cortemila	Cherasco e La Morra	Fenomeno franoso	Frane probabilmente legate a fenomeni di dissoluzione
441-442-443	Demonte	Limone Piemonte	Fenomeno franoso	Le aree si trovano su una DGPV
107	Formazza summer	Crodo	Fenomeno franoso	Scivolamento rotazionale
157	Formazza summer	Trasquera		L'area si trova in prossimità di una DGPV
471-472	Formazza summer	Villadossola	N.D.	
Da 131 a 147	Formazza summer	Varzo	Fenomeno franoso	Aree anomale sulle DGPV del versante destro della valle Cheirasca tra Varzo e San Domenico
669	Fossano	Bagnolo Piemonte	Detrito di versante instabile	Detrito di versante instabile con velocità di movimento molto alte
758	Fossano	Paesana	Fenomeno franoso	L'area si trova su una DGPV
786-783-932-933-784-934-785-790-789-782-781	Fossano	Casteldelfino	Fenomeno franoso	L'area si trova su una DGPV
817	Fossano	Cella di Macra	Fenomeno franoso	L'area si trova su una frana di scivolamento rotazionale
478-479	Locana	Ceresole Reale	Fenomeno franoso	
499	Locana	Ceresole Reale	Fenomeno franoso	
503	Locana	Locana	Fenomeno franoso	
520	Locana	Grosso Cavallo	Fenomeno franoso	

627	Novara	Trecate, Romentino, Galliate, Cerano e Sozzago	N.D.	L'area classificata come n.d. presenta velocità in abbassamento maggiori verso il centro dell'area. Da verificare l'esistenza e la causa di tale fenomeno forse imputabile all'estrazione di fluidi.
514	Ormea	Mondovì e Monastero di Vasco	Fenomeno franoso	L'area si trova su una frana complessa
487	Ormea	S.Giacomo di Roburent	Fenomeno franoso	L'area è ubicata su una frana per scivolamento roto-traslazionale
352	Ovada	Sant'Agata Fossili	Fenomeno di dissoluzione	
231	Ovada	Ponzone	N.D	
6	Ovada	Cabella Ligure	Fenomeno franoso	
15	Ovada	Carrega Ligure	Detrito di versante	
16	Ovada	Carrega Ligure	Fenomeno franoso	
892-908	Pragelato	Cesana Torinese	Fenomeno franoso	Le aree si trovano su una DGPV
878-879	Pragelato	Sauze d'Oulx	Fenomeno franoso	Le aree si trovano su una DGPV
971	Torino	Tra San Antonino di Susa e Alpignano	Consolidamento di terreni	
124	Torino	Condove	Fenomeno franoso	L'area si trova in prossimità di una frana complessa
117	Valenza	Pontecurone	Estrazione di fluidi	Area soggetta ad abbassamenti omogenei