

NOTA SINTETICA PER L'INTERPRETAZIONE E L'UTILIZZO DELLE AREE ANOMALE INDIVIDUATE SULLA BASE DEI DATI SATELLITARI PSInSAR™ E SqueeSAR™

La presente nota riassume sinteticamente i criteri utilizzati da Regione Liguria per l'elaborazione delle aree anomale a partire dai dati interferometrici acquisiti (PSInSAR™ e SqueeSAR™) e per l'interpretazione e l'utilizzo dei risultati ottenuti.

1. AREE ANOMALE

Secondo la definizione proposta dal Gruppo di Lavoro Interregionale sull'utilizzo delle tecniche di interferometria satellitare, le **aree anomale** sono *“aggregati o cluster di PS che, per caratteristiche fisiche e spaziali (velocità superiori e inferiori alla classe di velocità considerata stabile, distanza interpunti e numerosità), possono rappresentare indizi di stabilità”*.

L'esigenza di elaborare questa entità deriva in primo luogo dalla necessità di analizzare, in tempi relativamente brevi, l'enorme quantità di dati derivanti dall'analisi PS/DS in modo da poter usufruire di tali informazioni nell'ambito della pianificazione territoriale e nella gestione e programmazione degli interventi di mitigazione del rischio idrogeologico. In questi termini, la tecnica delle aree anomale consente di mettere in evidenza tutte le aree per le quali l'analisi PS/DS indica un comportamento potenzialmente anomalo e, quindi, in qualche modo instabili. In secondo luogo, la divulgazione del dato “pre-elaborato” delle aree anomale, consente di limitare i potenziali errori di interpretazione dei risultati delle analisi PS/DS da parte di Amministrazioni locali e tecnici del settore, in quanto l'uso semplicistico di queste informazioni può indurre considerazioni erronee circa le reali condizioni di stabilità nel territorio.

2. CRITERI PER L'ESTRAZIONE AUTOMATICA DELLE AREE ANOMALE

L'analisi dei dati PS da piattaforma satellitare ERS relativi al periodo 1992-2000, acquisiti da Regione Liguria in precedenti annualità per il territorio delle Province di Genova e Savona, e la loro intersezione con i dati relativi al Progetto I.F.F.I. (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia), realizzato dal Settore Assetto del Territorio della Regione Liguria a seguito di una convenzione con A.P.A.T., ha messo in evidenza come i risultati dell'analisi PSInSAR™ forniscano numerose indicazioni relativamente alla classificazione dello stato d'attività di oltre il 30% delle frane censite, sia a conferma che in apparente contraddizione con quanto rilevato in IFFI su base geomorfologica.

È stata pertanto sviluppata una procedura automatica per l'estrazione delle aree anomale su tutto il territorio regionale che, consentendo di modificare i parametri di ingresso (soglia di velocità minima, massima distanza interpunto, numero di bersagli e indice di omogeneità), permette di eseguire diverse elaborazioni, in tempi brevi.

In particolare, i parametri di ingresso richiesti sono:

1. soglia di velocità minima: classe di velocità considerata stabile, per cui velocità superiori e inferiori possono essere indizi di instabilità;
2. massima distanza interpunto: distanza massima tra due bersagli vicini;
3. numero di bersagli: numero di bersagli (PS o DS) contenuti all'interno dell'area che presentano velocità superiori o inferiori al valore di velocità soglia fissato;
4. indice di omogeneità: rapporto tra numero totale di bersagli (PS o DS) contenuti all'interno dell'areale e il numero di bersagli in movimento (ossia con velocità superiori al valore soglia fissato).

Complessivamente sono state individuate oltre 5900 aree anomale* sull'intero territorio regionale.

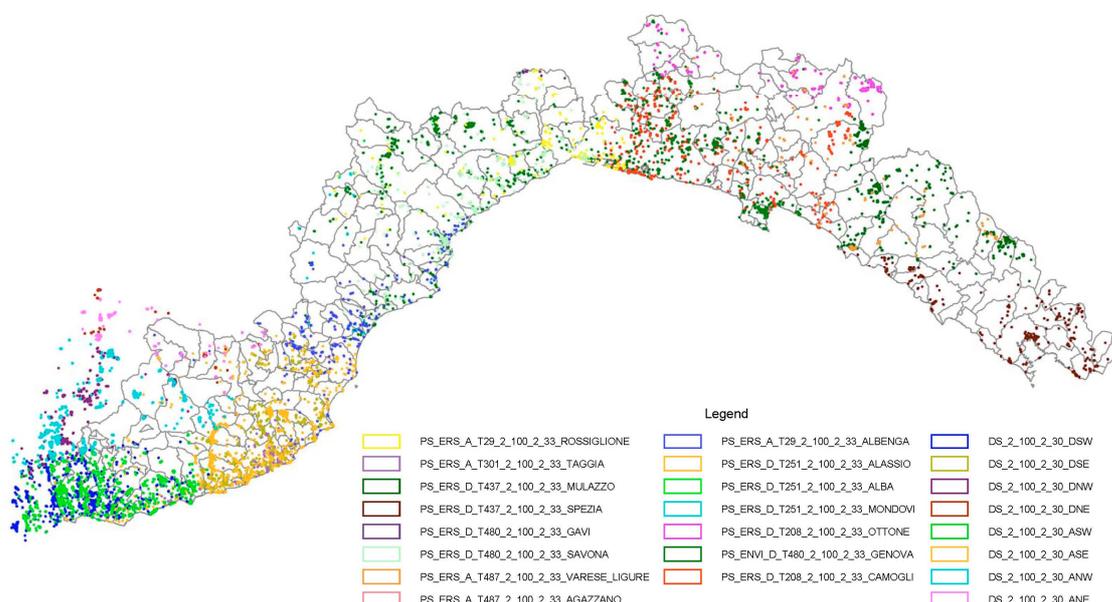


Figura 2. Distribuzione delle aree anomale nel territorio ligure individuate a partire dai dati di interferometria satellitare ERS, ENVISAT e RADARSAT

(*) Le aree anomale consultabili sono state generate a partire dai dati PS provenienti dal Piano Ordinario di Telerilevamento Ambientale messi a disposizione dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e dai dati DS/PS acquisiti dalla Regione Liguria nell'ambito del Progetto Risknat.

Ad ogni area anomala sono associate le seguenti informazioni:

- **ID_elaborazione**: codice numerico che identifica in modo univoco l'elaborazione all'interno dell'intero database;
- **ID_area**: codice numerico che identifica in modo univoco l'area all'interno della stesso dataset;

- **ID_dataset**: codice numerico che identifica il dataset utilizzato per l'elaborazione delle aree anomale;
- **orbita**: ascendente e discendente;
- **track**: codice della strisciata di scene radar da cui il dataset è stato generato;
- **area_mq**: superficie in mq dell'area anomala;
- **perimetro_m**: perimetro in m dell'area anomala;
- **buffer_nro**: numero di buffer costituenti l'area anomala, originati dalla procedura automatica di estrazione
- **velocità media**: valore medio di velocità dei bersagli ricadenti all'interno dell'area anomala;
- **velocità max**: valore massimo di velocità dei bersagli ricadenti all'interno dell'area anomala;
- **velocità min**: valore minimo di velocità dei bersagli ricadenti all'interno dell'area anomala;
- **nro_target**: numero complessivo dei bersagli (PS e DS) ricadenti all'interno dell'area anomala, sia fermi sia in movimento
- **nro_target_PS**: numero di PS ricadenti all'interno dell'area anomala;
- **nro_target_DS**: numero di DS ricadenti all'interno dell'area anomala;
- **indice di omogeneità**: rapporto tra numero di bersagli in movimento (con velocità lungo LOS maggiore o uguale a 2 mm/anno) e il numero totale di bersagli ricadenti all'interno dell'area;
- **deviazione standard della velocità**: misura dello scostamento dei valori di velocità associati ai bersagli che compongono l'area anomala rispetto al valore medio riferito all'area stessa;
- **coerenza media**: valore medio di coerenza dei bersagli ricadenti all'interno dell'area anomala;
- **coerenza max**: valore massimo di coerenza dei bersagli ricadenti all'interno dell'area anomala
- **coerenza_min**: valore minimo di coerenza dei bersagli ricadenti all'interno dell'area anomala.

2.1. Aree anomale da dati ERS – Piano Ordinario di Telerilevamento del Ministro dell'Ambiente (Province di Genova, Savona e La Spezia)

Tenendo conto delle caratteristiche territoriali della Regione Liguria, sono state individuate automaticamente come aree anomale le geometrie areali caratterizzate dalla presenza al loro

interno di bersagli (PS) distanti tra loro non più di 100 m, con velocità di spostamento in valore assoluto maggiore o uguale a 2 mm/anno e nelle quali, contestualmente, almeno 1/3 dei PS sia associato a velocità medie annue superiori alla soglia fissata (*Figura 2.1.1.*).

Soglia di velocità minima	± 2 mm/anno
Massima distanza interpunto	100 m
Numero minimo di bersagli in movimento	2
Soglia di indice di omogeneità minima	33%

Figura 2.1.1. Parametri di ingresso utilizzati per l'estrazione delle aree anomale delle province di Genova, Savona e La Spezia a partire dai dati interferometrici ERS (1992-2000)

L'elaborazione delle anomalie delle province di Genova, Savona e La Spezia a partire dai dati acquisiti dai satelliti ERS tra il 1992 e il 2000 forniti dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (Progetto del Piano Ordinario di Telerilevamento Ambientale), ha portato all'individuazione complessivamente di 2086 aree anomale così suddivise per singoli datasets (*Figura 2.1.2.*):

DATASET	NUMERO DI AREE ANOMALE
PS_ERS_D_T208_CAMOGLI	432
PS_ERS_D_T208_OTTONE	107
PS_ERS_D_T251_MONDOVI'	19
PS_ERS_D_T251_ALBA	1
PS_ERS_D_T251_ALASSIO	270
PS_ERS_A_T29_ALBENGA	243
PS_ERS_A_T29_ROSSIGLIONE	156
PS_ERS_A_T301_TAGGIA	113
PS_ERS_D_437_MULAZZO	226
PS_ERS_D_T437_SPEZIA	184
PS_ERS_D_T480_GAVI	7
PS_ERS_D_T480_SAVONA	232
PS_ERS_A_T487_VARESE_LIGURE	95
PS_ERS_A_T487_AGAZZANO	1

Figura 2.1.2. Aree anomale delle province di Genova, Savona, Imperia e La Spezia estratte a partire dai datasets ERS

Le aree anomale così individuate risultano concentrate prevalentemente in corrispondenza della fascia costiera e degli assi vallivi principali (Fiumi Magra e Entella, Torrenti Bisagno, Polcevera, Merula, Centa, Impero, ecc.) e nell'area metropolitana genovese (*Figura 2.1.3.*). Tale distribuzione non uniforme dipende da diversi fattori, tra i quali l'elevata densità di PS registrata nei settori più urbanizzati e la procedura stessa di elaborazione delle aree anomale dalla quale deriva l'elevata probabilità di individuare, all'interno di nuvole molto addensate di punti, almeno 1/3 di bersagli associati a valori di spostamento superiore della soglia fissata.

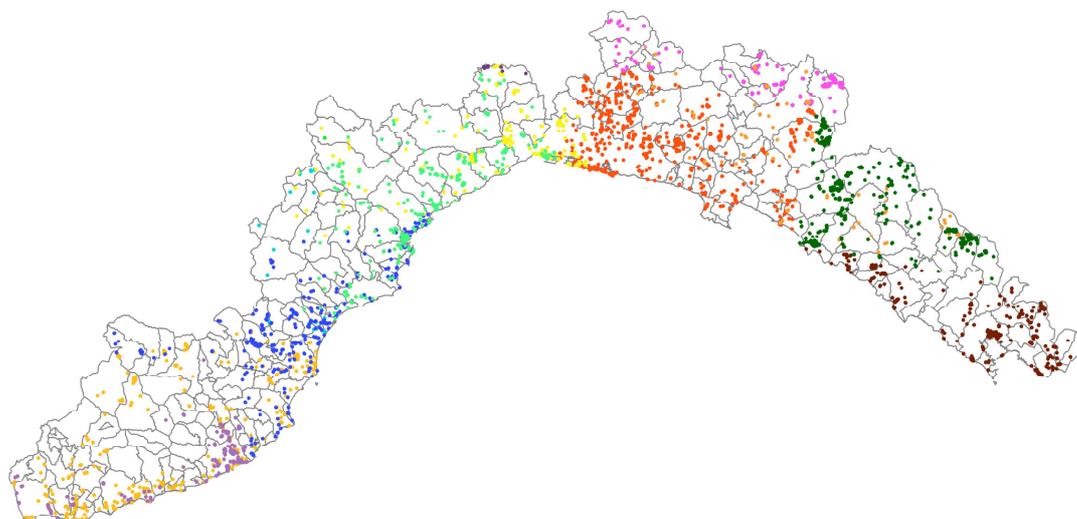


Figura 2.1.3. Distribuzione delle aree anomale nel territorio delle province di Genova, Savona, Imperia e La Spezia individuate a partire dai dati di interferometria satellitare ERS/ENVISAT messi a disposizione dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e della Acque nell'ambito del Piano Ordinario di Telerilevamento Ambientale.

2.2. Aree anomale da dati ENVISAT – Piano Ordinario di Telerilevamento del Ministro dell'Ambiente (Province di Genova, Savona e La Spezia)

Tenendo conto delle caratteristiche territoriali della Regione Liguria, sono state individuate automaticamente come aree anomale le geometrie areali caratterizzate dalla presenza al loro interno di bersagli (PS) distanti tra loro non più di 100 m, con velocità di spostamento in valore assoluto maggiore o uguale a 2 mm/anno e nelle quali, contestualmente, almeno 1/3 dei PS sia associato a velocità medie annue superiori alla soglia fissata (Figura 2.2.1.).

Soglia di velocità minima	± 2 mm/anno
Massima distanza interpunto	100 m
Numero minimo di bersagli in movimento	2
Soglia di indice di omogeneità minima	33%

Figura 2.2.1. Parametri di ingresso utilizzati per l'estrazione delle aree anomale delle province di Genova, Savona, Imperia e La Spezia a partire dai dati interferometrici ENVISAT (2003-2008)

L'elaborazione delle anomalie delle province di Genova, Savona e La Spezia a partire dai dati acquisiti dai satelliti ENVISAT tra il 1992 e il 2008 forniti dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (Progetto del Piano Ordinario di Telerilevamento Ambientale), ha portato all'individuazione complessivamente di 1909 aree anomale così suddivise per singoli datasets (Figura 2.2.2.):

DATASET	NUMERO DI AREE ANOMALE
PS_ENVI_D_T208_BETTOLA	33
PS_ENVI_D_T251_ALBA	1
PS_ENVI_D_T251_GARESSIO	55
PS_ENVI_A_T258_GAVI	2
PS_ENVI_A_T258_GENOVA	336
PS_ENVI_A_T29_MONTEZEMOLO	102
PS_ENVI_A_T29_ALASSIO	84
PS_ENVI_T301_IMPERIA	174
PS_ENVI_D_T480_NOVI_LIGURE	105
PS_ENVI_T487_BARDI	260
PS_ENVISAT_D_T480_GENOVA	757

Figura 2.2.2. Aree anomale delle province di Genova, Savona, Imperia e La Spezia estratte a partire dai datasets ENVISAT

Le aree anomale così individuate risultano concentrate prevalentemente in corrispondenza della fascia costiera e degli assi vallivi principali (Fiume Entella, Torrenti Bisagno, Polcevera, Merula, Centa, Impero, ecc.) (Figura 2.2.3.). Tale distribuzione non uniforme dipende da diversi fattori, tra i quali l'elevata densità di PS registrata nei settori più urbanizzati e la procedura stessa di elaborazione delle aree anomale dalla quale deriva l'elevata probabilità di individuare, all'interno di nuvole molto addensate di punti, almeno 1/3 di bersagli associati a valori di spostamento superiore della soglia fissata.

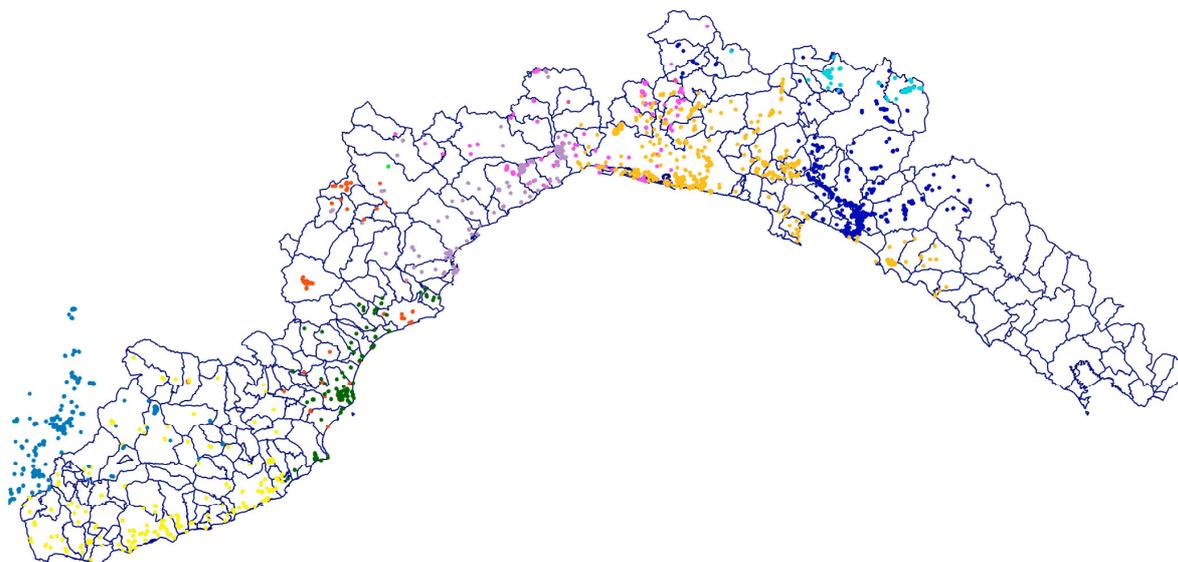


Figura 2.2.3. Distribuzione delle aree anomale nel territorio delle province di Genova, Savona, Imperia individuate a partire dai dati di interferometria satellitare ENVISAT messi a disposizione dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e della Acque nell'ambito del Piano Ordinario di Telerilevamento Ambientale.

2.3. Aree anomale da dati RADARSAT (Provincia di Imperia e aree limitrofe)

Nell'ambito del Progetto Strategico ALCOTRA denominato "Risknat" sono stati individuati gli areali caratterizzati da potenziali deformazioni del terreno a partire dai dati RADARSAT acquisiti (Università di Pavia). Stante l'elevato numero di aree anomale ottenuto, si è arrivati alla loro definizione mediante l'analisi statistica delle caratteristiche di omogeneità dei valori di velocità dei bersagli che li costituiscono e della numerosità dei target. Tenendo conto delle caratteristiche territoriali della Regione Liguria, sono state individuate automaticamente come aree anomale le geometrie areali caratterizzate dalla presenza al loro interno di un numero di bersagli (PS/DS) con velocità di spostamento superiore al valore soglia fissato maggiore o uguale a 2, distanti tra loro non più di 100 m, con velocità soglia, in valore assoluto, pari a 2 mm/anno e indice di omogeneità maggiore o uguale a 30% (Figura 2.3.1.).

Soglia di velocità minima	± 2 mm/anno
Massima distanza interpunto	100 m
Numero minimo di bersagli in movimento	2
Soglia di indice di omogeneità minima	30%

Figura 2.3.1. Parametri di ingresso utilizzati per l'estrazione delle aree anomale delle province di Imperia e aree limitrofe a partire dai dati interferometrici RADARSAT (2003-2009)

L'elaborazione delle anomalie della provincia di Imperia a partire dai dati acquisiti dal satellite RADARSAT tra il 2003 e il 2009, ha portato all'individuazione complessivamente di 1945 aree anomale così suddivise per singoli datasets e subaree (*Figura 2.3.2.*):

DATASET	NUMERO DI AREE ANOMALE
RSAT_A_T290_IMPERIA_NE	65
RSAT_D_T97_IMPERIA_NE	25
RSAT_A_T290_IMPERIA_SE	331
RSAT_D_T97_IMPERIA_SE	289
RSAT_A_T290_IMPERIA_NW	241
RSAT_D_T97_IMPERIA_NW	140
RSAT_A_T290_IMPERIA_SW	466
RSAT_D_T97_IMPERIA_SW	388

Figura 2.3.2. Aree anomale della provincia di Imperia estratte a partire dai datasets RADARSAT (2003-2009)

Dall'analisi dei dati ottenuti risulta una maggiore concentrazione delle aree anomale prevalentemente in corrispondenza dei settori urbanizzati della fascia costiera e degli assi vallivi principali (torrenti Argentina, Arroscia, Impero, Merula, Nervia, Prino, Roia), mentre in ambito di versante le aree anomale sono localizzate in corrispondenza di centri abitati oppure lungo pendii scarsamente vegetati, caratterizzati dalla presenza di falde detritiche o rocce esposte. Un cospicuo numero di aree anomale ricade su zone portuali e/o produttive ubicate in ambito di piana (quasi esclusivamente serre) e lungo i tracciati autostradale e ferroviario.

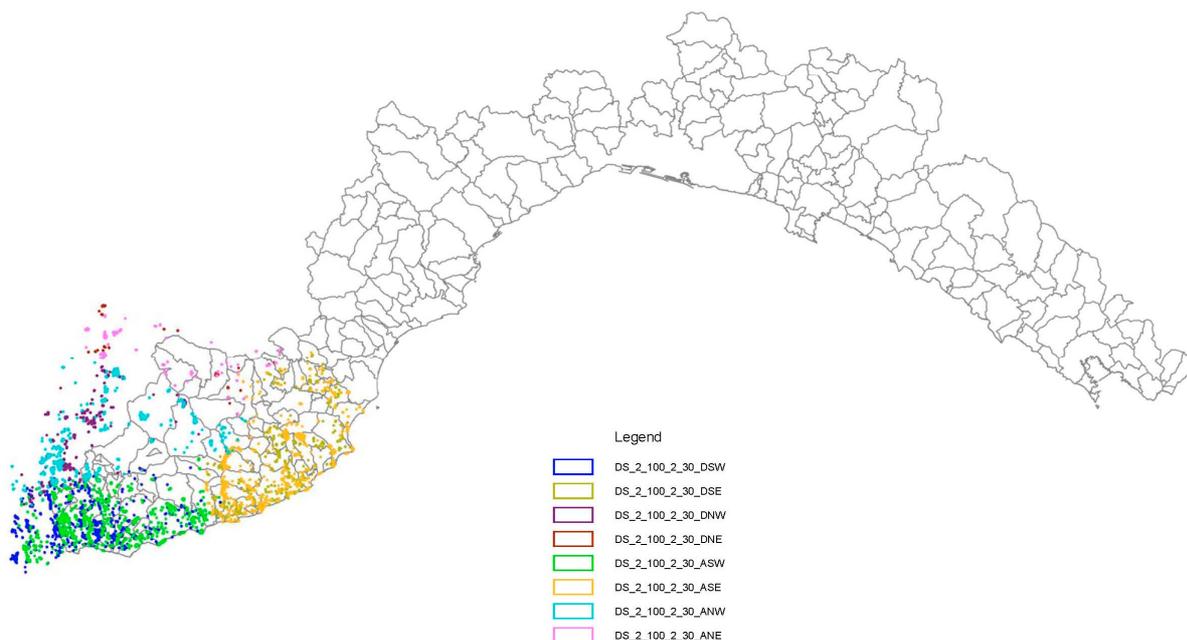


Figura 2.2.3. Distribuzione delle aree anomale nel territorio della provincia di Imperia e aree limitrofe individuate a partire dai dati di interferometria satellitare RADARSAT acquisiti nell'ambito del Progetto Europeo "Risknat"

La sovrapposizione e l'intersezione delle aree anomale così individuate con aree in frana già censite o comunque note (progetti I.F.F.I. e S.C.A.I.) mette in evidenza una certa corrispondenza dei risultati, con percentuali variabili tra il 30%, nel caso di frane areali e poligonali, e l'80-90% nel caso di deformazioni gravitative profonde di versante (DGPV).

L'incrocio tra i dataset ascendenti e discendenti ha inoltre messo in evidenza un discreto numero di siti caratterizzati dalla presenza di anomalie in entrambe le geometrie, talora associate a tassi di spostamento dell'ordine di 3-5 mm/anno.

3. Interpretazione delle aree anomale

Nella lettura e interpretazione delle aree anomale, è necessario tenere conto di alcune considerazioni fondamentali:

- il perimetro delle aree anomale non ha alcuna attinenza con il perimetro di eventuali frane o porzioni di piana alluvionale o costiera in subsidenza che ricadono nello stesso areale;
- la presenza di un'area anomala non implica necessariamente la presenza di una frana o porzioni di piana alluvionale o costiera in subsidenza che ricadono nello stesso areale;
- la coincidenza di un'area anomala e di una frana censita nel progetto IFFI o classificata nel Piano di Bacino non implica necessariamente che quest'ultima si attiva (ad esempio aree anomale generate in presenza di un numero limitato di bersagli e con bassi valori dell'indice di omogeneità possono derivare da locali cedimenti strutturali dei manufatti-bersaglio piuttosto che da deformazioni reali del terreno);
- l'assenza di aree anomale su determinati versanti non implica necessariamente condizioni di stabilità in quanto potrebbero mancare informazioni dall'interferometria satellitare (assenza di bersagli, topografia non favorevole, velocità di spostamento inferiori alla soglia, ecc.).