

# IL MONITORAGGIO GNSS DELLA FRANA DI SCOPELLO: INTERAZIONI TRA FRANOSITÀ SUPERFICIALE E PROFONDA.

Tesista: Claudio Mercurio

Relatore: Prof. Edoardo Rotigliano (Università degli Studi di Palermo)

Correlatore: Dr. Umberto Tammaro (Istituto Nazionale Geofisica e Vulcanologia - Napoli)



Figura 1 – Inquadramento geografico.

Scopello è una località collocata nella costa orientale della Penisola di San Vito Lo Capo, ovvero un promontorio allungato in direzione circa N-S che si sviluppa in corrispondenza dell'estremo settore nord-occidentale della Sicilia.

L'area di Scopello è da tempo luogo di studi che hanno consentito di accertare la presenza di diversi e numerosi fenomeni gravitativi, sia superficiali che profondi

In quest'area sono presenti tutte le tipologie di fenomeni gravitativi appartenenti alla classificazione delle frane di Cruden e Varnes del 1996. Questi dissesti sono fortemente collegati ad un fenomeno gravitativo molto più profondo e vasto, ovvero il fenomeno di “*Deformazione Gravitativa Profonda di Versante (DGPV) che si manifesta in rocce eterogenee*”. La

comunicazione tra le tipologie di fenomeni gravitativi può avvenire in entrambi i sensi:

- il fenomeno di DGPV in rocce eterogenee predispone e/o attiva le frane superficiali
- le frane superficiali, innescandosi, privano di sostegno i blocchi carbonatici generando così una riattivazione del fenomeno di DGPV.

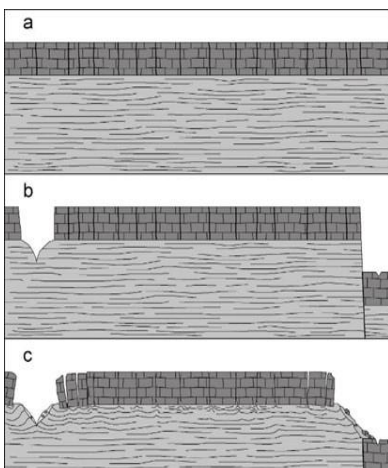


Figura 2 - Genesi del fenomeno di DGPV in rocce eterogenee.

Nell'area sono presenti blocchi calcarei rigidi appartenenti alla Successione Panormide che sovrascorrono su rocce argilloso-marnose a comportamento duttile appartenenti alla Successione Trapanese, secondo un piano di sovrascorrimento del Miocene superiore.

Se affiorano solo le rocce carbonatiche non si manifesta il fenomeno di DGPV, in quanto il sistema risulta essere sigillato (Fig. 2 a). Tuttavia, in seguito ai processi di incisione fluviale (zona S-O di Scopello) e alla formazione di faglie dirette (zona N-E di Scopello)

la roccia tenera pseudocoerente viene a giorno cercando di rifluire verso le zone a minore pressione tramite il processo dello *squeezing out* (Fig. 2 b). Il risultato finale è quello dell'espandimento laterale di tipo B, le rocce carbonatiche perdono il sostegno e subiscono: scorrimenti traslativi, insaccamenti e cedimenti differenziali (Fig. 2 c).



Figura 3 – La frana di Scopello.

L'area in frana presenta una notevole estensione infatti è estesa 10km<sup>2</sup> e lunga circa 5 km (Fig. 3). Di questi, 3 km sono in ambiente sub-aereo e circa 2 km al di sotto del livello del mare. In prossimità della costa emergono dei faraglioni e dei scogli isolati che non sono altro che grossi blocchi carbonatici dislocati dalla piastra carbonatica principale che sono stati traslati fino a mare.

In seguito a fenomeni parossistici quali fenomeni sismici o intense precipitazioni, le velocità (che normalmente sono di pochi mm/anno per i movimenti a blocchi e di pochi cm/anno per gli espandimenti laterali) possono incrementare notevolmente.

Alla luce delle condizioni di pericolosità e rischio dell'area, è in atto sin dal 2000 uno studio di monitoraggio geodetico tramite misure GNSS da parte dell'Università di Palermo e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia di Napoli. Queste campagne sino ad ora sono state effettuate nel giugno del 2000, nell'ottobre del 2004 e un anno dopo, nel 2005, in seguito alla riattivazione della frana.

Il GNSS è un sistema satellitare globale di navigazione che comprende tutti i sistemi di posizionamento che utilizzano una rete di satelliti artificiali. I principali sistemi sono NAVSTAR Global Positioning System (meglio conosciuto come GPS), GLONASS e Galileo.

Dato che il monitoraggio eseguito nell'area finora ha avuto luogo nel 2000, 2004 e 2005, il *GLONASS* e il *Galileo* non potevano essere sfruttati per le campagne GNSS, in quanto non ancora realizzati o non ancora operativi. In tal modo il monitoraggio GNSS si è basato solo ed esclusivamente sul sistema di navigazione satellitare americano, il *GPS*.



Figura 4 - Un esempio di ricevitore GPS.

Questo sistema permette di fornire le *posizioni* di qualsiasi ricevitore (Fig. 4) in un qualunque punto *P* della superficie terrestre tramite un segnale emesso da minimo 4 su 32 satelliti a disposizione.

Esistono diverse tipologie di tecniche GPS che vengono scelte in base alla precisione e all'accuratezza che serve per l'obiettivo, e, dato che il

monitoraggio geodetico tramite misure GNSS richiede di *accuratezza massima e precisione millimetrica*:

- sono stati usati ricevitori a doppia frequenza anziché quelli a singola frequenza;
- è stato utilizzato il metodo del GPS differenziale nel quale si fa un posizionamento di un vertice di controllo rispetto ai vertici di riferimento;
- il calcolo delle coordinate della stazione mobile è stato effettuato in post-elaborazione e non in tempo reale;
- è stato usato il sistema della misura di fase anziché quello della pseudodistanza, viene considerato il numero di cicli di fasi realizzati dall'onda portante;
- è stato utilizzato il metodo statico, i due ricevitori (la stazione fissa e la stazione mobile) sono situati sull'estremità delle cosiddette baseline e devono restare immobili per qualche ora.

Quindi alla fine sono state realizzate *misure statiche con la tecnica GPS differenziale in misura di fase con post-elaborazione utilizzando ricevitori a doppia frequenza*.

Nelle campagne GNSS effettuate nell'area della frana di Scopello si possono individuare quattro differenti fasi:

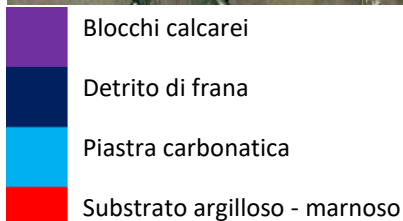
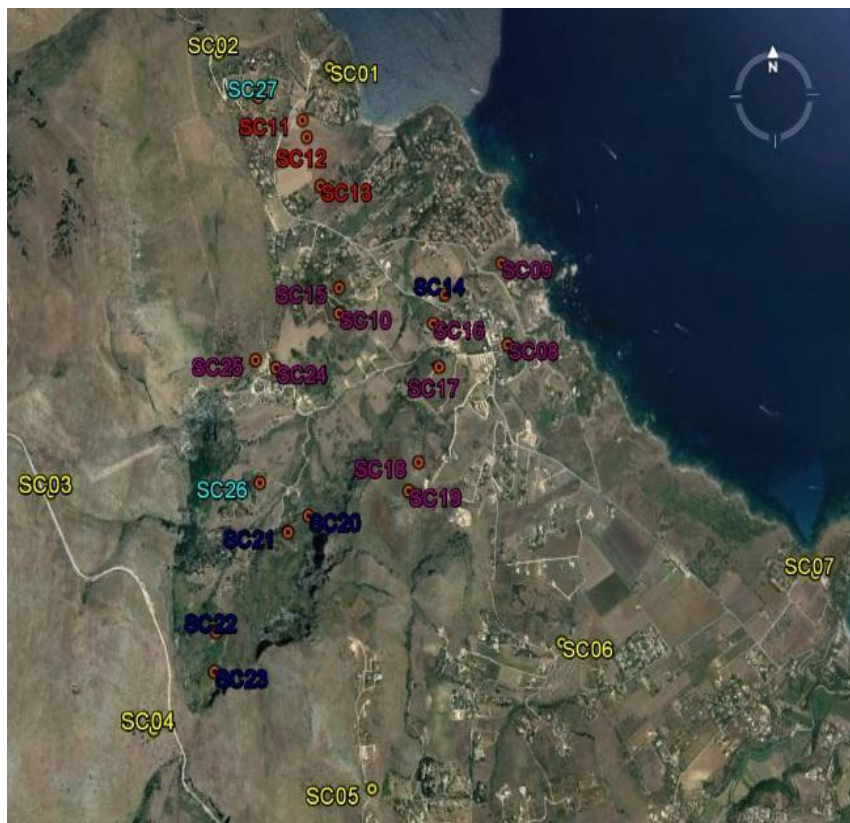
- una *fase di pre-acquisizione dati*,
- una *fase di acquisizione dati*;
- una *fase di controllo di qualità dei dati (pre-processing)*;
- una *fase di elaborazione dati ed interpretazione dei risultati*

Lo scopo di tali campagne geodetiche è quello di conoscere i movimenti planimetrici dei vertici di controllo avvenuti tra il febbraio del 2000 e l'ottobre del 2005.

La rete GPS utilizzata per le campagne dati di Scopello è costituita da 27 vertici (Fig. 5). 20 di questi (chiamati *vertici di controllo*) sono stati ubicati in zone interne all'area in frana, ovvero in zone in cui si suppone che si verifichino movimenti gravitativi, gli altri 7 vertici (chiamati *vertici di riferimento*) invece sono stati ubicati in aree esterne al corpo in frana, in zone in cui non si manifestano i fenomeni gravitativi, e, dunque, è stato ipotizzato a priori che sarebbero rimasti fissi in tutte le campagne GNSS.

Ogni vertice di controllo è collegato tramite baseline a 4 ricevitori esterni (gli altri 3 sono stati usati come riserva nel caso di problemi ad uno o più di questi vertici) e la soluzione di tutte queste distanze consente di dare la posizione esatta dei vertici.

Per quanto riguarda i vertici di controllo (Fig. 5):



- 2 vertici sono stati posti sul margine della piastra carbonatica;
- 5 vertici sono stati posti sul detrito di frana cementato in grossi ammassi rocciosi.
- 10 vertici sono stati posti nei grandi blocchi calcarei disarticolati nel substrato argilloso-marnoso.
- 3 vertici sono stati posti sul substrato argilloso-marnoso.

Su ogni sito sono state effettuate delle prove di registrazione sufficientemente lunghe in modo tale da ottenere dei valori di qualità del sito e di eliminare a priori i siti in cui il rapporto tra segnale e rumore è risultato basso.

Figura 5 - I 27 vertici GPS rappresentati da colori differenti in base alla litologia nella quale sono posti. In giallo sono rappresentati i vertici GPS di riferimento, posti esternamente al corpo in frana. Google Earth (modif.).

Ogni vertice di controllo è collegato tramite baseline a 4 ricevitori esterni (gli altri 3 rimanenti vengono usati come riserva in caso di problemi ad uno o più vertici di riferimento) e la soluzione di tutte queste distanze consente di dare la posizione esatta dei vertici.

Per quanto riguarda l'acquisizione dei dati, i vertici di riferimento sono stati impegnati ogni giorno per sessioni di circa 9h, quelli di controllo nella prima campagna hanno subito una turnazione in triplette per 4h circa. Nelle campagne successive si ha avuto a disposizione di un numero doppio di ricevitori e sono state realizzate sessioni di circa 9h (Tab. 1).

	GIUGNO 2000	OTTOBRE 2004	OTTOBRE 2005
# ANTENNE GPS	7	14	14
# GIORNI DI REGISTRAZIONE	6	5	5
# ORE DI REGISTRAZIONE	386	482	600

Tabella 1 - Numero di ricevitori utilizzati, numero di giorni di registrazione e numero di ore di registrazione.

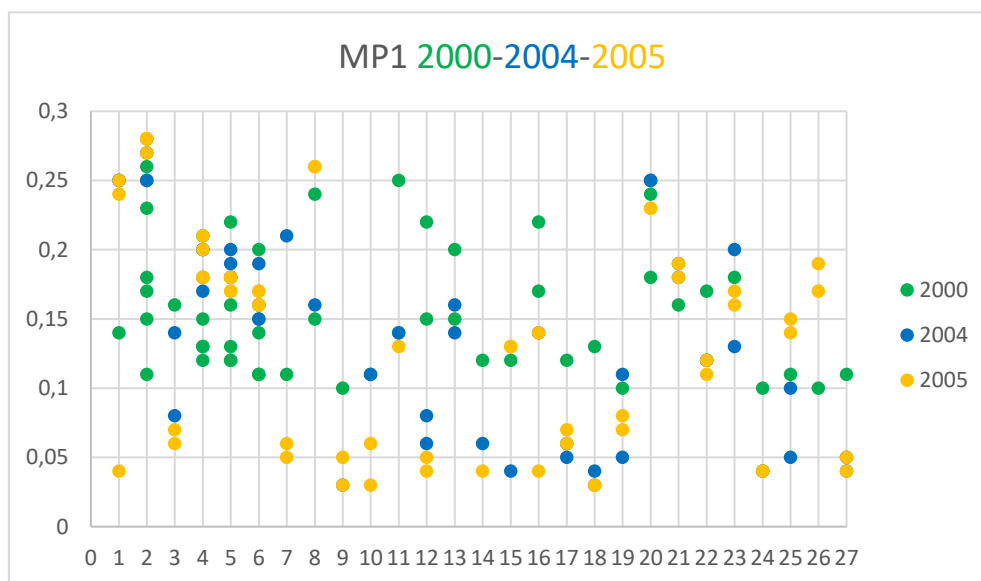
Dopo che i dati vengono acquisiti necessitano di un *quality check*, ovvero di un *controllo di qualità*, in modo tale da eliminare le osservazioni che presentano un basso rapporto Segnale/Rumore (S/R).

I dati acquisiti dai ricevitori sono in formato grezzo, pertanto la prima operazione da effettuare è quella di conversione e traduzione in formato *Rinex*, che permette lo scambio di dati indipendentemente dal ricevitore utilizzato. La conversione da formato raw a Rinex è realizzata utilizzando il software *TEQC* dell'*UNAVCO*.

Si ottiene infine un file di tipo summary che fornisce molte informazioni, tra cui: la durata totale della misura, il numero dei satelliti visualizzati durante la fase di rilevamento, l'angolo dei satelliti rispetto all'orizzonte, ma anche i valori del Multipath sulle frequenze *L1 (MP1)* e *L2 (MP2)* e il rapporto fra numero di osservazioni acquisite e quelle teoriche ( $n^{\circ}obs/n^{\circ}exp$ ).

Il multipath è una distorsione di un segnale che arriva al ricevitore sotto forma di un certo numero di ripetizioni sfasate nel tempo. I valori del multipath sono molto importanti per valutare la qualità delle misure, in quanto valori bassi di multipath equivalgono ad un alto rapporto S/R.

Quello che si nota sia per quanto riguarda in multipath in entrambe le frequenze è un sostanziale miglioramento dei dati nelle ultime due campagne rispetto a quella del 2000, questo è dovuto all'utilizzo di una strumentazione di generazione successiva (Fig. 6).



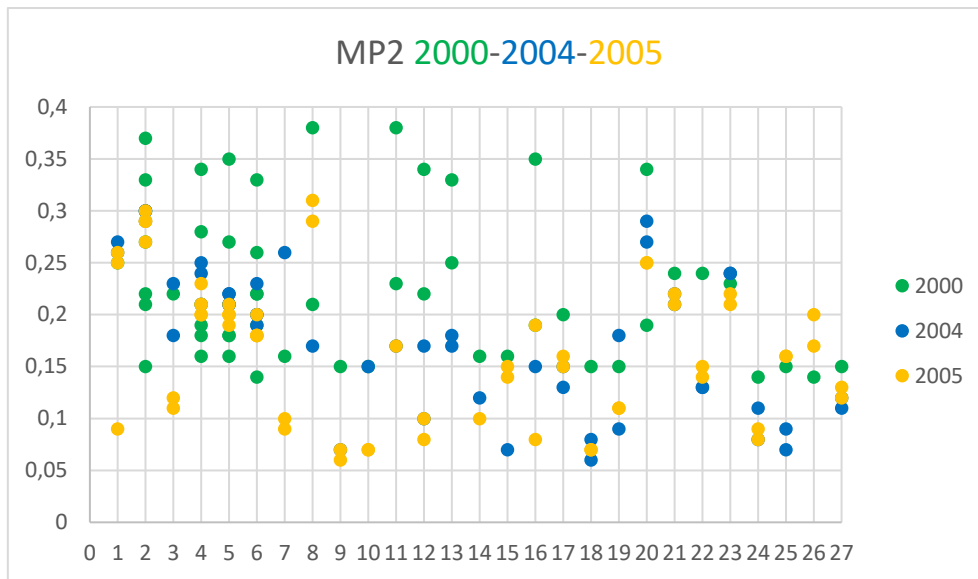


Figura 6 - Multipath in frequenza L1 (MP1) e L2 (MP2) di tutte le campagne GNSS effettuate.

Il rapporto tra i valori osservati e quelli teorici attesi ci dice che più il valore si avvicina al 100% e maggiore è il rapporto S/R e viceversa. I valori ottenuti nella campagna del 2004 e del 2005 presentano dei valori molto simili tra loro e molto differenti rispetto a quelli della prima campagna. Laddove i valori siano peggiorati è possibile che la crescita della vegetazione abbia creato più rumore rispetto a quanto ne aveva creato nelle campagne precedenti (Fig. 7).

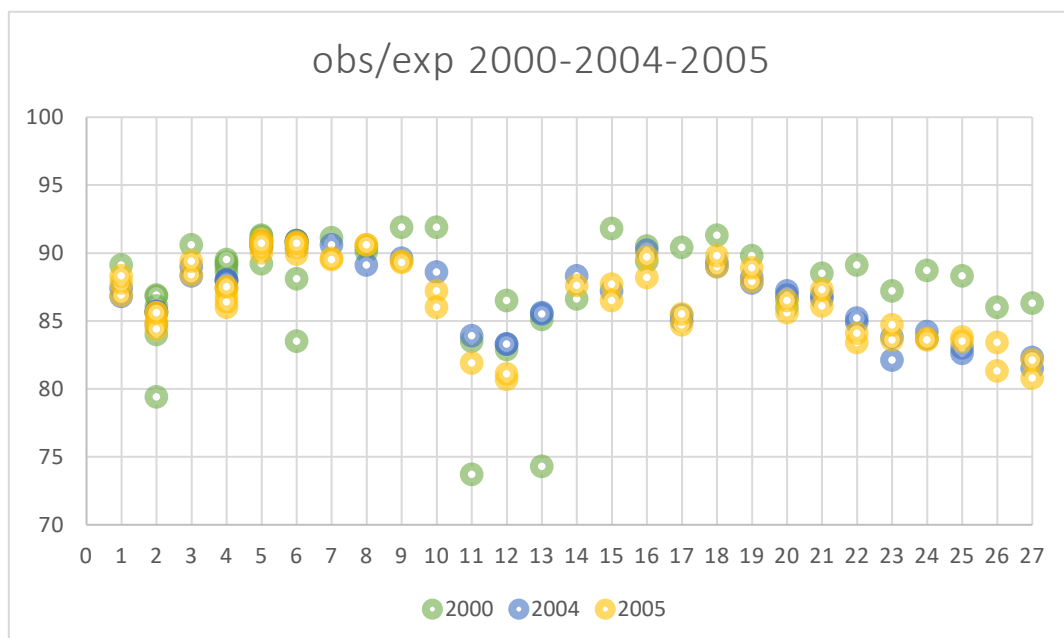


Figura 7 - Rapporto tra i valori osservati e attesi di tutte le campagne geodetiche effettuate.

Il quality check ha avuto una funzione di controllo e di eventuale filtraggio dei dati, tuttavia i dati ricavati si sono rivelati molto soddisfacenti grazie ad un'ottima strumentazione utilizzata e ad un'accurata scelta dei luoghi nei quali ubicare i vertici GPS.

L'obiettivo della campagna del 2000 era di conoscere con estrema accuratezza le coordinate dei 27 vertici GPS in modo tale da avere dei dati di partenza. Nel 2004 è stata effettuata una seconda campagna con l'obiettivo di calcolare le "nuove" coordinate degli stessi vertici in modo tale da valutarne la posizione nel tempo. Gli spostamenti dei vertici hanno identificato movimenti paralleli alla direzione principale del corpo di frana con tassi annuali millimetrici.

In seguito alla riattivazione del fenomeno gravitativo, avvenuta nel febbraio del 2005 (quattro mesi dopo la seconda campagna GNSS), nell'ottobre del 2005 è stato ritenuto opportuno da parte degli operatori effettuare un'altra campagna di monitoraggio, per verificare di quanto si siano spostati i vertici GPS in seguito ad un importante evento parossistico, ovvero in seguito alla riattivazione della frana. Tale riattivazione è avvenuta in seguito a intense precipitazioni nei mesi invernali, che hanno raggiunto i 600 mm, un valore molto elevato rispetto ai valori delle precipitazioni che si sono verificate negli anni precedenti.

Ci sono state nuove attivazioni nel settore nord-occidentale dell'area e la riattivazione di alcuni fenomeni gravitativi nelle porzioni settentrionale e orientale, che prima di tale data erano *quiescenti*. La ricostruzione dell'evento del 2005 vede nella fase iniziale l'attivazione di *colamenti di terra e detrito*, che si innescano in maggior numero dal fianco destro del corpo di frana principale, insieme a *scorrimenti traslativi di terra*. Queste frane superficiali hanno tolto sostegno al piede dei blocchi rigidi carbonatici generando di conseguenza degli *espandimenti laterali di tipo b* e *movimenti in blocchi* (Fig. 8).

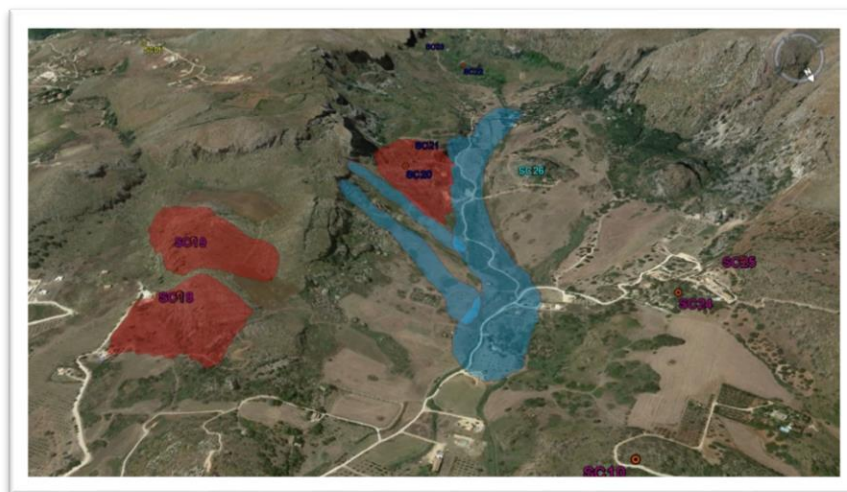


Figura 8 - La riattivazione della frana di Scopello del febbraio 2005.

I dissesti che hanno coinvolto il detrito e la parte marnoso-argillosa hanno avuto spostamenti fino a 15-20 m, e grazie al monitoraggio si è potuto constatare il fatto che i blocchi carbonatici si sono mossi

Sito	Spostamento (mm)
SC08	33,0744811
SC09	24,44542698
SC10	22,49956888
SC11	27,996573
SC12	137,0755912
SC13	67,80047197
SC14	29,48171298
SC15	30,65472394
SC16	15,99239819
SC17	24,73970493
SC18	90,08579522
SC19	112,6759327
SC20	2.271,597264
SC21	2.376,777798
SC22	31,69115492
SC23	32,84813693
SC24	34,58279919
SC25	28,34835092
SC26	23,64245757
SC27	25,51056448





LEGENDA	
	Blocchi calcarei
	Detrito di frana
	Piastra carbonatica
	Substrato argilloso

Tabella 2 - Spostamenti planimetrici (in mm) verificatesi presso i vertici di controllo in seguito alla riattivazione della frana di Scopello.

con dei valori da decimetrici a metrici, dato molto rilevante in quanto i blocchi sono radicati in profondità. Ci sono siti come SC20 e SC21 che hanno registrato valori molto elevati, di circa 2,3 m in direzione circa N. Quindi alcune zone, in seguito al fenomeno parossistico hanno registrato variazioni di velocità molto importanti (Tab. 2).

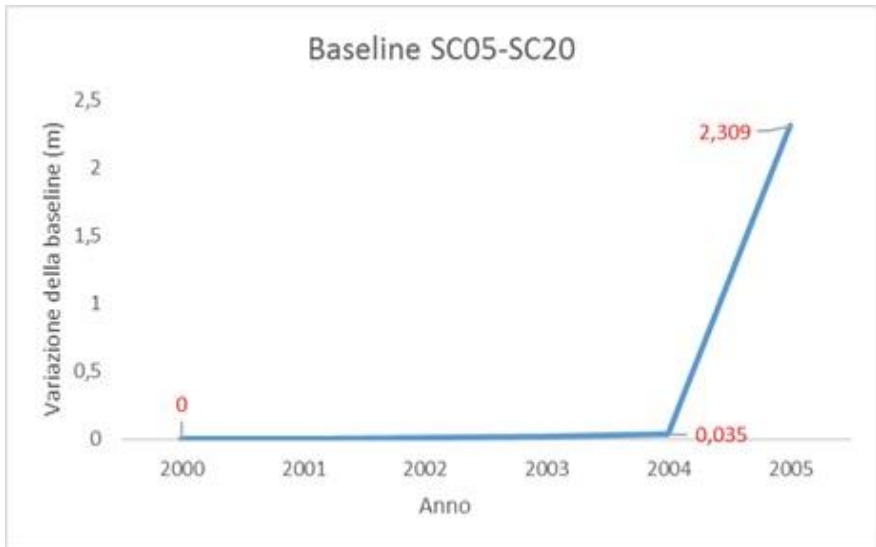


Figura 9 - Le variazioni della baseline SC05-SC20 dal 2000 al 2005.

La baseline tra il vertice di riferimento SC05 e quello di controllo SC20 nel periodo compreso tra il 2000 e il 2004 ha subito una variazione di soli 35 mm, ma, in seguito alla riattivazione del fenomeno franoso nell'area in esame la variazione è stata di 2.3 m.

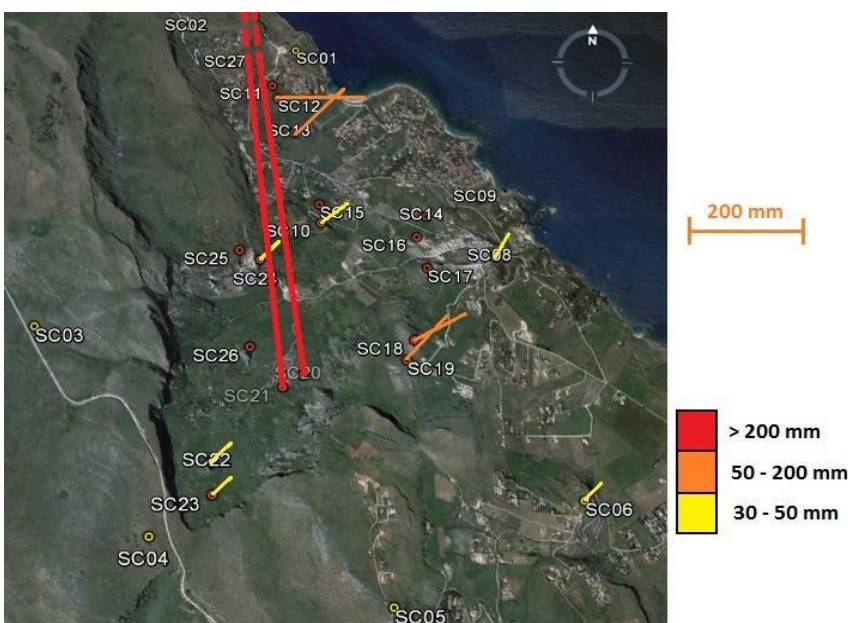


Figura 10 - Rappresentazione delle entità di spostamento planimetrico dei vertici avvenuti tra il 2004 e il 2005. Google Earth (modif).

Grazie al monitoraggio GPS si ha avuto la prova del fatto che in questo caso i fenomeni gravitativi superficiali possono riattivare i fenomeni di DGPV.

È stata realizzata una rappresentazione delle entità di spostamento planimetrico dei vertici avvenuti tra il 2004 e il 2005 tramite segmenti in Google Earth: questi, in base al



loro modulo, sono rappresentati in giallo, arancione o rosso (Fig. 10).

Si nota una direzione prevalente verso N-E dovuta ad una combinazione della cinematica della placca euroasiatica (25 mm/anno in direzione 55° N) e delle DGPV. Si discostano i vertici SC20, 21 e 12 dove sono avvenuti gli spostamenti di maggiore entità in seguito alla riattivazione della frana.

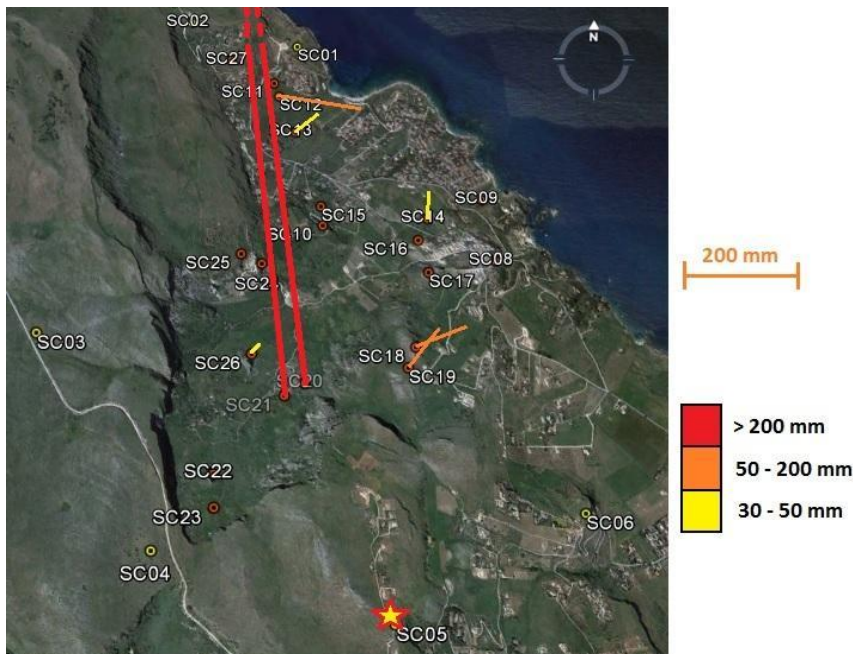


Figura 11 - Rappresentazione delle entità di spostamento planimetrico dei vertici avvenuti tra il 2004 e il 2005 con tutti i vertici riferiti a SC05. Google Earth (modif.)

Allo scopo di eliminare il contributo della placca euroasiatica, tutti i vertici GPS sono stati riferiti ad un'unica stazione fissa e in questo caso è stato scelto il vertice SC05, esterno all'area in frana, si nota la scomparsa dell'andamento generale dei vertici verso N-E (Fig. 11).

In conclusione, si può dire che i fenomeni gravitativi superficiali e profondi sono estremamente collegati tra loro.

Le precipitazioni anomale non hanno una ciclicità stagionale e prima del 2005 le precipitazioni anomale si erano manifestate soltanto nel 1969. Tuttavia tale problema non va assolutamente sottovalutato in quanto, per definizione, un'anomalia non segue statistiche e tempi di ritorno precisi ed inoltre nella zona in esame possono manifestarsi anche terremoti, i quali possono innescare fenomeni franosi per *sismo-induzione*. In questo modo il monitoraggio risulta essere fondamentale per poter proporre un modello previsionale del fenomeno, infatti, un monitoraggio attento e continuo può essere molto proficuo dal punto di vista della gestione del rischio nell'ambito della protezione civile.

I dati ricavati dagli studi effettuati nell'area in esame hanno dimostrato che l'uso del GPS è estremamente adatto come metodo di monitoraggio di frane, sia per quelle rapide che per quelle che si manifestano lentamente, sia per quelle superficiali che per quelle profonde, ed è inoltre possibile ricavare dei valori molto accurati e precisi in modo più semplice rispetto ad altri metodi tradizionali come il *metodo EDM* e il *metodo delle triangolazioni*.