



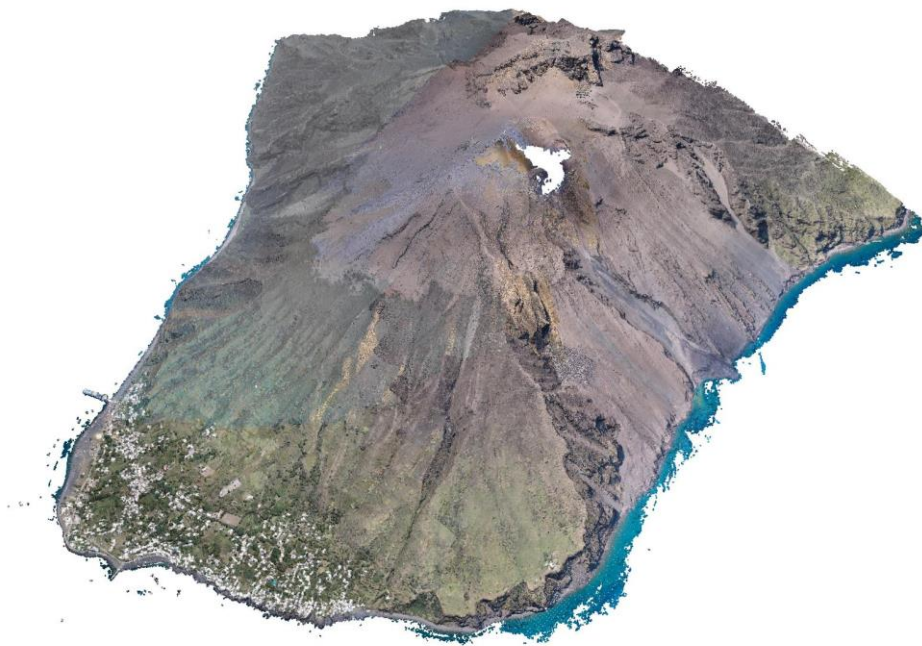
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

**CENTRO
PROTEZIONE
CIVILE**



PROTEZIONE CIVILE
CENTRO DI COMPETENZA
Università degli Studi di Firenze

Valutazioni sull'evoluzione geomorfologica della Sciara del Fuoco prima e dopo il parossisma dell'11 luglio 2024



Accordo fra il Dipartimento della Protezione Civile e il Centro per la Protezione
Civile dell'Università degli Studi di Firenze
ai sensi dell'art. 15 della legge 7 agosto 1990, n. 241
e dell'art. 4 del D.Lgs. 2 gennaio 2018, n. 1

Firenze, 18 luglio 2024

Responsabile del progetto

Prof. Nicola CASAGLI

Gruppo di lavoro

Dott.ssa Teresa GRACCHI

Dott.ssa Teresa NOLESINI

Dott. Guglielmo ROSSI

Dott. Carlo TACCONI STEFANELLI

TAVOLA DEI CONTENUTI

1	INTRODUZIONE	4
2	VALUTAZIONI SULL'EVOLUZIONE GEOMORFOLOGICA DELLA SCIARA DEL FUOCO	5
2.1	RILIEVI AEROFOTOGRAMMETRICI DA DRONE	5
2.2	CONFRONTO TRA MODELLI DIGITALI DEL TERRENO	7
2.2.1	<i>12 luglio – 23 maggio 2024</i>	7
2.2.2	<i>12 luglio – 11 luglio 2024</i>	8
2.2.3	<i>11 luglio – 23 maggio 2024</i>	10
3	CONCLUSIONI.....	12

1 Introduzione

Il presente documento contiene i primi risultati delle attività di rilievo aerofotogrammetrico da drone svolte dal personale del Centro per la Protezione Civile dell'Università degli Studi di Firenze presente sull'Isola di Stromboli dal 10 luglio 2024 nell'ambito dell'accordo triennale 2024-2027 con il Dipartimento di Protezione Civile Nazionale.

Nelle giornate dell'11 e 12 luglio 2024 sono stati eseguiti due rilievi fotogrammetrici da drone ad ala fissa *Trinity Pro* della porzione emersa della Sciara del Fuoco al fine di identificarne le variazioni morfologiche indotte dall'attività vulcanica, utilizzabili per valutarne il potenziale tsunamigenico.

Le campagne hanno visto la realizzazione di nuvole di punti, ortomosaici e modelli digitali ad alta risoluzione. Il confronto con il modello derivante dal rilievo fotogrammetrico eseguito dal Centro in data 23 maggio 2024 ha permesso di localizzare e quantificare i cambiamenti morfologico/volumetrici, nonché di verificare l'evoluzione dell'area craterica e della Sciara del Fuoco, principalmente legata ai processi di versante e alle attività del vulcano che hanno avuto il loro apice con gli eventi eruttivi del luglio 2024.

Questa fase eruttiva del vulcano Stromboli, iniziata il 3 luglio con il franamento di una parte dell'area craterica di nord-est innescato da un trabocco lavico, è stata anticipata dall'aumento nei parametri di monitoraggio a partire da fine aprile. Il progressivo aumento dell'attività e dei parametri ha registrato un brusco incremento il 23 giugno 2024, portando la valutazione di instabilità in area craterica ad ALTA.

Il 4 luglio è stata registrata un'esplosione maggiore seguita da una sequenza di frane che hanno coinvolto porzioni sempre più grandi dell'area craterica di nord-est, generando valanghe di roccia incandescente lungo la Sciara del Fuoco che, per la loro natura vulcanica, vengono anche dette correnti piroclastiche.

Questa attività è stata innescata dalla spinta del magma che ha inizialmente aperto una bocca effusiva a quota 700 m s.l.m., alimentando una colata lavica che ha raggiunto il mare rapidamente. Nel giro di poche ore, le deformazioni nella Sciara del Fuoco sono aumentate fino all'apertura di una bocca lavica localizzata all'incirca a quota 500 m s.l.m.; quest'ultima si colloca in una zona non visibile dal *radar* posta all'interno del *canyon* formatosi durante gli eventi di ottobre 2022. Questo fenomeno ha innescato il franamento di materiale che, mischiandosi con la lava, ha generato nuove valanghe di roccia incandescente.

La colata lavica è rimasta attiva fino all'11 luglio 2024. Lo stesso giorno, alle 12:07 UTC (14:07 ora locale) si è verificata un'esplosione parossistica, con la formazione di una colonna eruttiva che si è dispersa verso sud-sudest ed una corrente piroclastica che si è propagata lungo la Sciara del Fuoco fino al mare e per decine di metri dalla linea di costa.

2 Valutazioni sull'evoluzione geomorfologica della Sciara del Fuoco

2.1 Rilievi aerofotogrammetrici da drone

Nelle giornate dell'11 e 12 luglio 2024 sono stati eseguiti due rilievi aero-fotogrammetrici da drone ad ala fissa a decollo verticale Trinity Pro (*Quantum System*) sulla Sciara del Fuoco (Tabella 1).

Per entrambi i voli il mezzo UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) è stato fatto decollare ed atterrare dall'elipista posta nei pressi di punta Labronzo. Il drone è stato equipaggiato con una fotocamera digitale Sony RX1 RII, dotata di sensore *full frame* con risoluzione pari a 42 Mpix; la sovrapposizione tra i fotogrammi contigui è stata pianificata mediamente al 75% in direzione di volo (*overlap*) ed al 85% tra fotogrammi appartenenti a strisciate contigue (*sidelap*). I piani di volo sono stati studiati in laboratorio e successivamente ottimizzati *in situ*, in base alle condizioni meteo-climatiche presenti al momento dei rilievi.

Nella giornata dell'11 luglio, durante le attività il personale del centro è stato costretto ad allontanarsi dall'area di rilievo per ragioni di sicurezza in seguito al verificarsi dell'evento parossistico. Non è stato quindi possibile terminare il rilievo e ricostruire fino all'area craterica il modello che, per tale motivo, risulta avere una estensione areale diversa rispetto a quello del 12 luglio.

Considerata la mancanza di dati nella parte sommitale e al fine di valutare l'evoluzione dei fenomeni geomorfologici nel tempo, è stato preso in considerazione un altro rilievo acquisito dal personale del centro, antecedentemente alla presente crisi eruttiva, eseguito in data 23 maggio 2024. Il rilievo in questione era stato realizzato impiegando il medesimo drone impiegato ma equipaggiato con un sensore ottico multiobiettivo (*Oblique D2M*), costituito da 5 fotocamere separate (1 nadirale e 4 oblique inclinate a 45°), ciascuna con sensore CMOS APS-C da 26 Mpix.

	23 maggio 2024	11 luglio 2024	12 luglio 2024
Tecnica	Fotogrammetria	Fotogrammetria	Fotogrammetria
Sensore	D2M oblique camera	Sony RX1 RII	Sony RX1 RII
Aeromobile	Trinity PRO	Trinity PRO	Trinity PRO
Altezza di volo	120 m a.g.l.	400 m a.g.l.	400 m a.g.l.
Velocità media	20 m/s	20 m/s	20 m/s
Numero di voli	1	1	1
Tempo di volo tot	40 min	40 min	60 min
Risoluzione media DSM	32 cm	27 cm	27 cm
Estensione rilievo	718 ha	396 ha	508 ha

Tabella 1 - Specifiche relative ai rilievi fotogrammetrici da drone ad ala fissa e dimensioni dell'area rilevata.

Le immagini sono state analizzate ed elaborate usando un *software Structure-from-Motion (SfM)* al fine di ottenere rappresentazioni tridimensionali delle superfici investigate in formato "nuvola di punti" (*point cloud*), modelli digitali di superficie (DSM), nonché ortomosaici ad alta definizione (Figura 1, Figura 2). La tecnica utilizza i concetti fondamentali della fotogrammetria analogica classica per combinare le immagini digitali, opportunamente acquisite, mediante algoritmi di *matching* e triangolazione. Tali algoritmi

permettono l'individuazione di punti omologhi sulla superficie, visibili su più immagini, e di definirne l'esatta posizione nello spazio tridimensionale.

L'elaborazione fotogrammetrica è stata eseguita con il software *Agisoft Metashape Professional* (v. 2.1.2). Il sistema di riferimento utilizzato nella restituzione è il sistema WGS84 in coordinate geografiche (EPSG:4326).

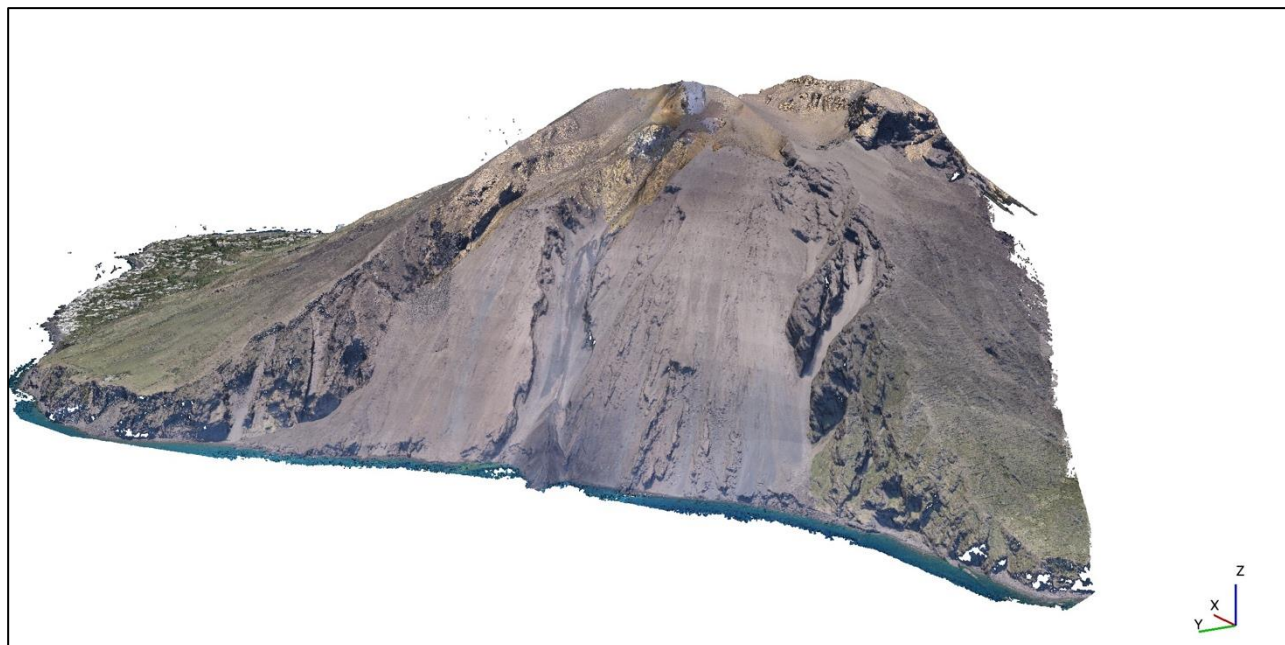


Figura 1 - Modello tridimensionale generato a partire dal rilievo drone ad ala fissa.

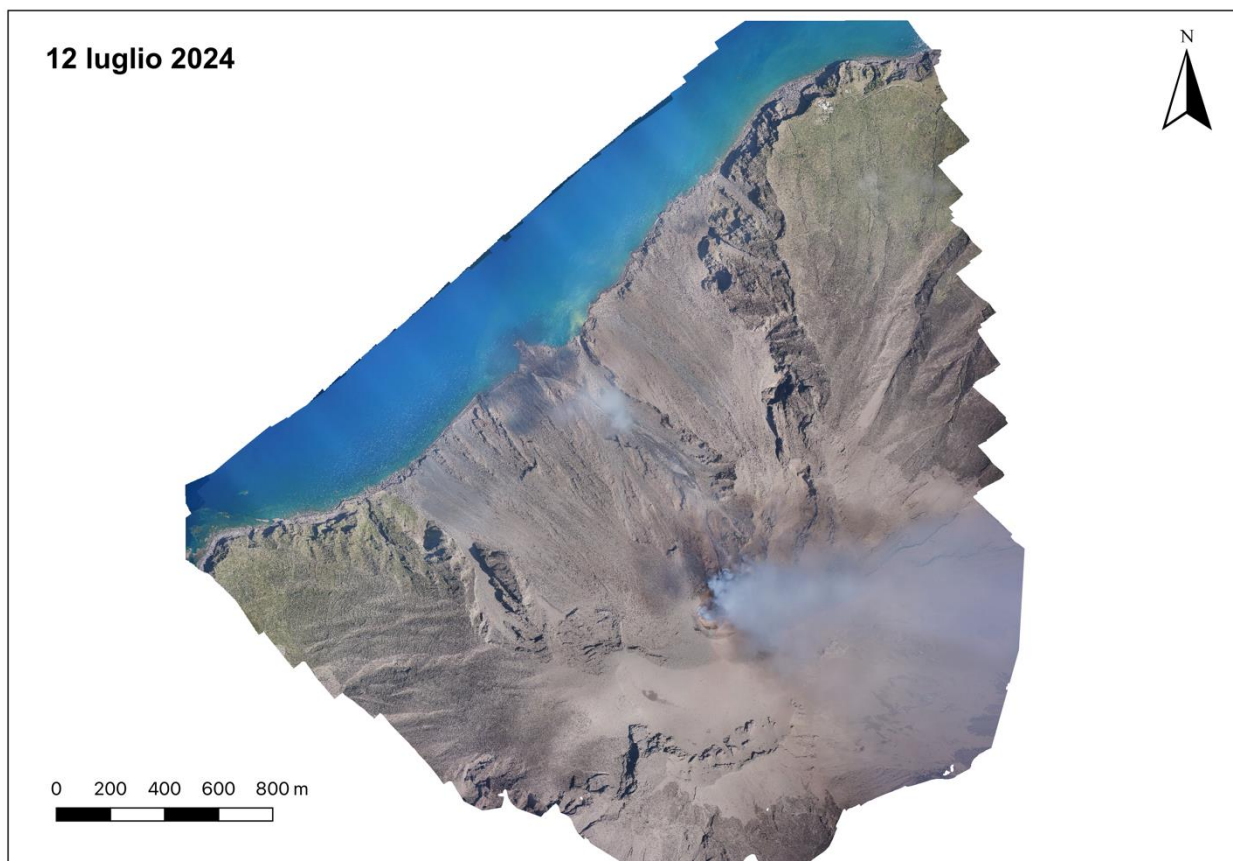


Figura 2 - Ortofoto della Sciara del Fuoco e dell'area craterica generata a partire dal rilievo drone.

2.2 Confronto tra modelli digitali del terreno

La ripetizione delle campagne di rilevamento aerofotogrammetrico da drone e la conseguente disponibilità di dati tridimensionali acquisiti in diversi istanti temporali rende possibile localizzare e quantificare i cambiamenti morfologico/volumetrici.

Nello specifico, il rilievo del 12 luglio 2024 è stato eseguito tempestivamente a seguito dell'evento parossistico che si è verificato in data 11 luglio 2024. Confrontando questo rilievo con i due precedenti (23 maggio e 11 luglio 2024) è stato possibile ricostruire l'evoluzione della Sciara del Fuoco ed evidenziare alcuni aspetti in riferimento all'ultimo rilievo eseguito.

Inoltre, per evidenziare le variazioni avvenute a seguito delle frane indotte dall'apertura delle bocche laviche di quota 700 m e 500 m s.l.m., il giorno 4 luglio 2024 è stato eseguito un ulteriore confronto tra il rilievo dell'11 luglio e quello del 23 maggio 2024.

2.2.1 12 luglio – 23 maggio 2024

Dal confronto tra i rilievi del 12 luglio e del 23 maggio 2024 (Figura 3) è emerso un notevole approfondimento, tra 20 e 30 m circa, lungo tutta l'area del *canyon* con zone superiori a 65 m di approfondimento nell'area craterica. In accordo con le differenze tra i due DSM si rileva un volume di materiale eroso in corrispondenza del *canyon* stimabile in $4.500.000 \text{ m}^3$ ($\pm 5\%$).

Contestualmente, le colate laviche che sono state alimentate dalle bocche effusive di quota 700 m e 500 m s.l.m. a partire dal 4 luglio, hanno generato un accumulo di materiale lungo il piede del *canyon* con la creazione di un delta lavico di neoformazione stimabile in 392.000 m^3 ($\pm 10\%$) che ha determinato un avanzamento della linea di costa di circa 100 m.

L'attività vulcanica recente ha inoltre causato l'accumulo di una coltre di materiale depositato lungo gran parte della porzione NE della Sciara del Fuoco con spessori massimi di 10-20 m nell'area craterica, dovuto sia ai primi flussi lavici prodotti dalla bocca effusiva di quota 700 m, sia alle valanghe di roccia incandescente.

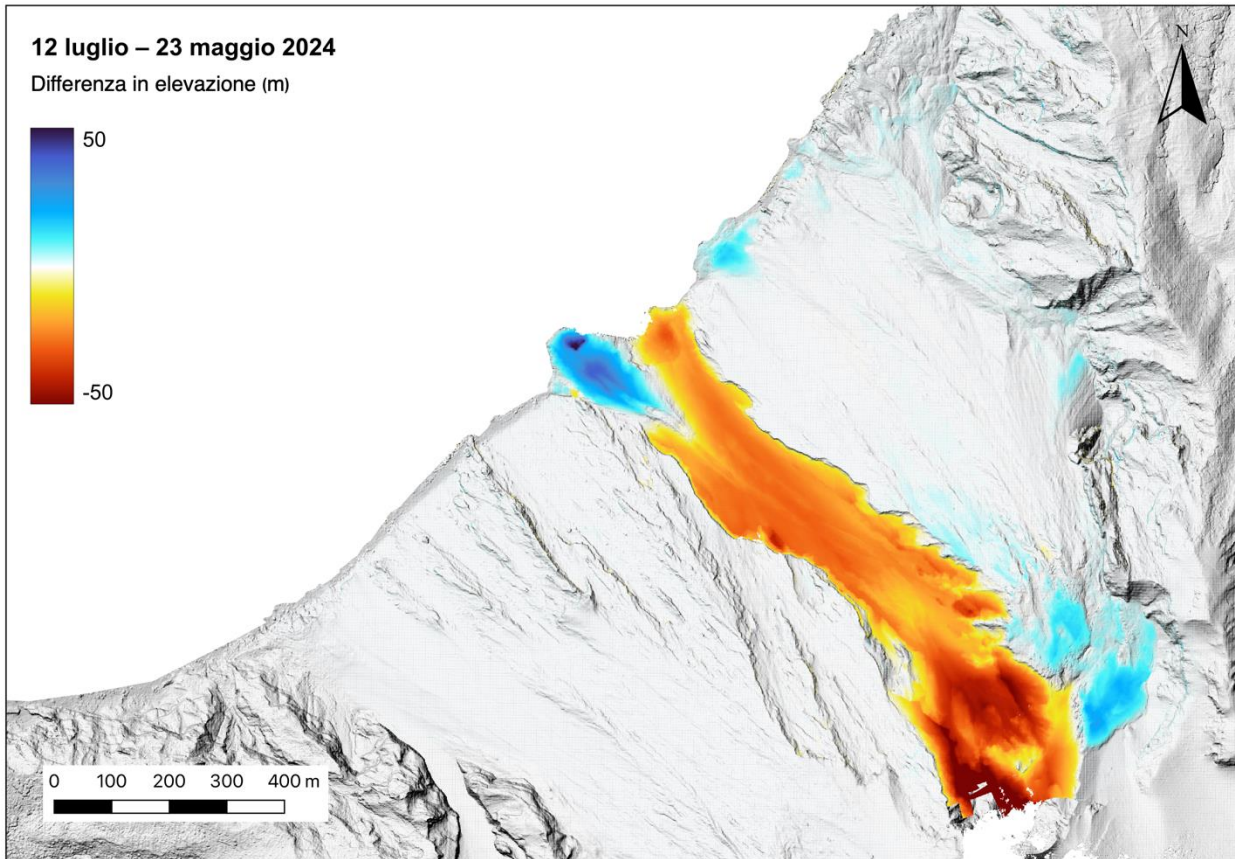


Figura 3 - Differenza in elevazione dei DSM generati a partire dai rilievi fotogrammetrici da drone del 12 luglio e 23 maggio 2024.

2.2.2 12 luglio – 11 luglio 2024

Ricordando che in data 11 luglio non è stato possibile completare il rilievo nella porzione più alta della Sciara del Fuoco, dal confronto tra i rilievi subito prima e subito dopo l'evento parossistico dell'11 luglio (Figura 4) è emerso un accumulo di materiale lungo il fondo del *canyon*, in particolare lungo il versante occidentale e nel delta lavico di neoformazione.

Dal confronto delle due superfici si evidenziano inoltre delle diminuzioni volumetriche importanti circoscrivibili a tre principali zone: i) area craterica (con diminuzioni fino a 10 m circa); ii) lungo il fondo del *canyon* nel versante orientale e lungo tutti i bordi dello stesso (fino a 10 m circa) a testimonianza del suo arretramento; iii) delta lavico di neoformazione (fino a 20 m circa) dove la porzione orientale risulta completamente mancante a seguito di un distacco che ha coinvolto un volume di circa 78.000 m³ ($\pm 2\%$) di materiale (Figura 5, Figura 6).

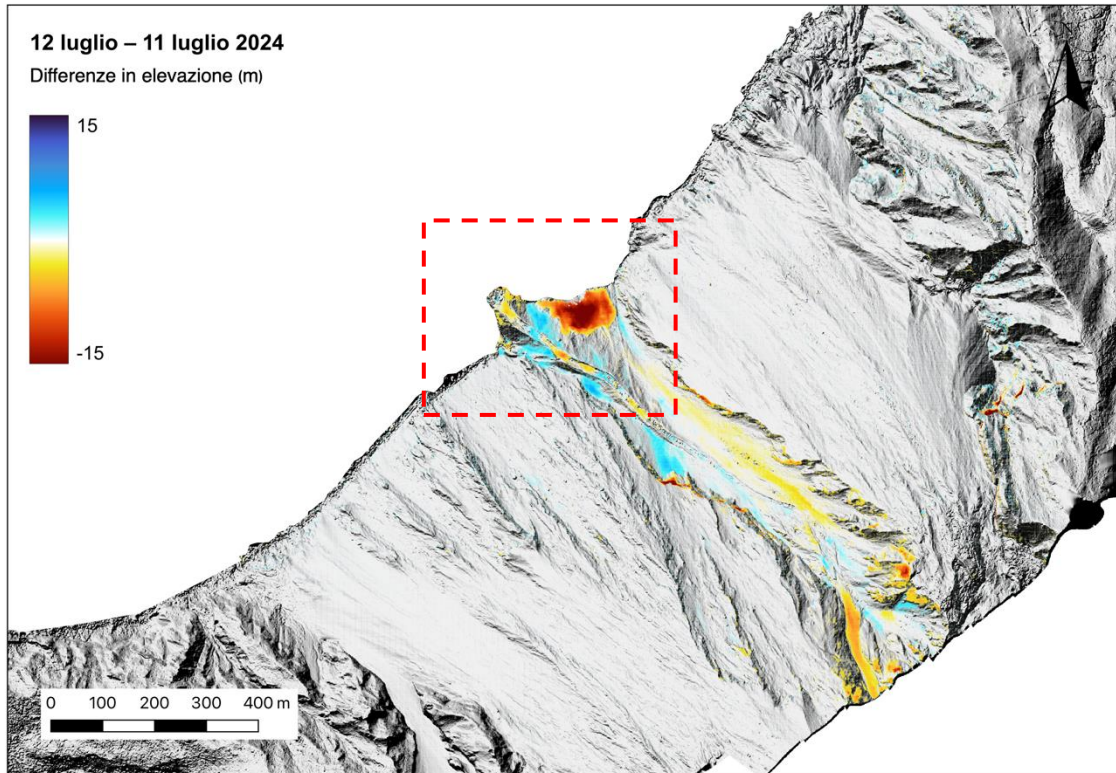


Figura 4 - Differenza in elevazione dei DSM generati a partire dai rilievi fotogrammetrici da drone del 12 e 11 luglio 2024. Il dettaglio dell'area compresa nel riquadro rosso è riportato in Figura 5.

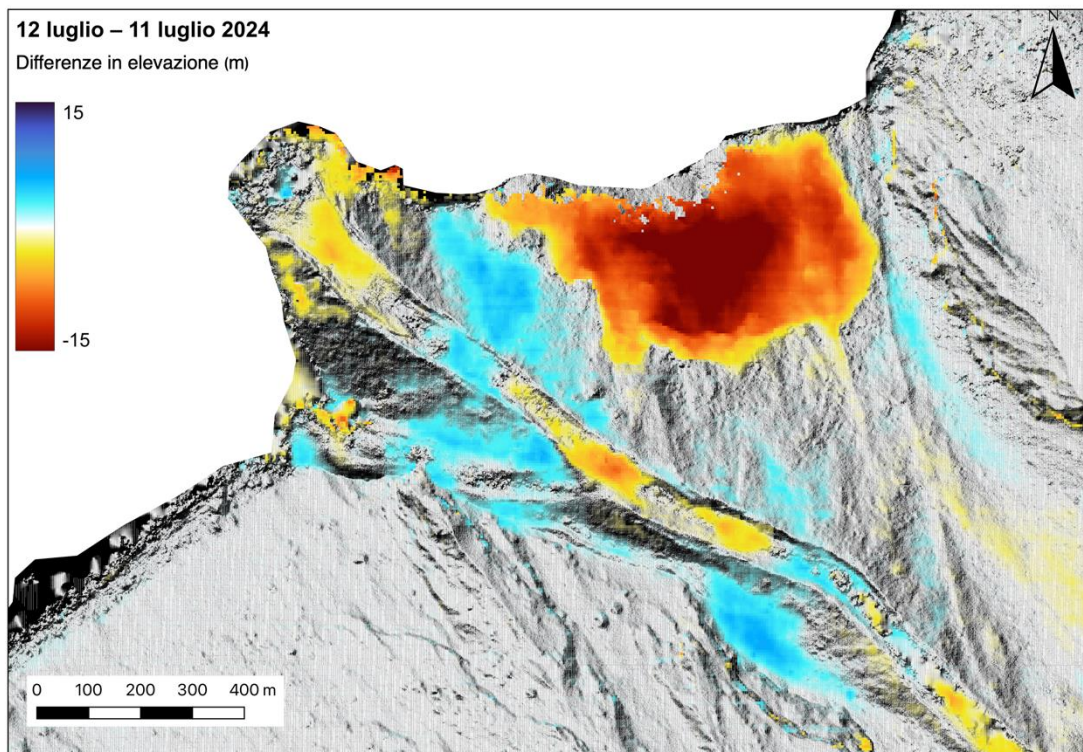


Figura 5 - Differenza in elevazione dei DSM generati a partire dai rilievi fotogrammetrici da drone del 12 e 11 luglio 2024. Dettaglio del distacco di materiale verificatosi lungo la linea di costa.

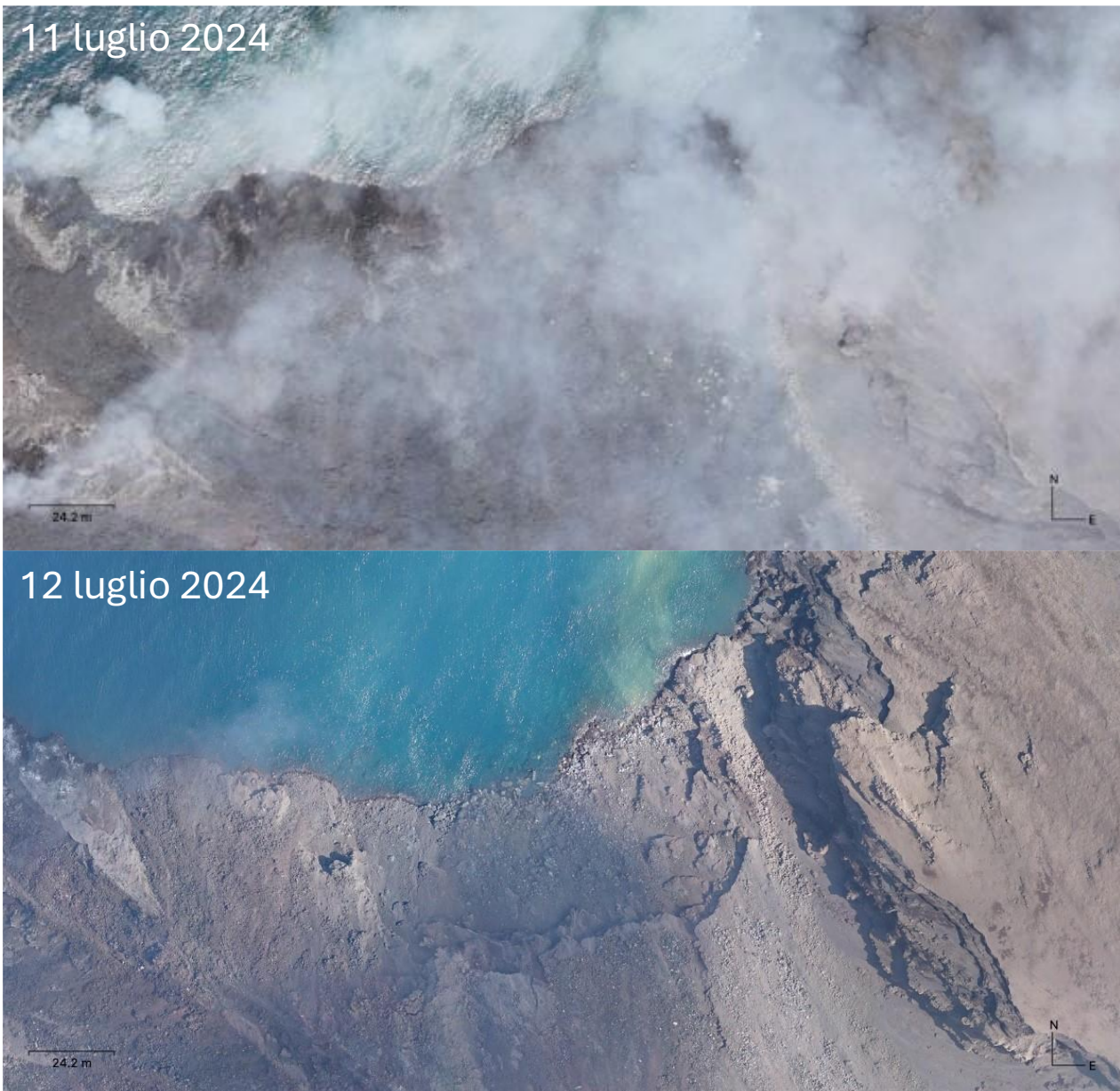


Figura 6 – Fotogrammi acquisiti dal drone durante i rilievi rispettivamente del 11 luglio 2024 (in alto) e 12 luglio 2024 (in basso). Dal confronto tra i due è possibile riconoscere il distacco di materiale già identificato grazie alle differenze tra DSM. La scarsa visibilità nell’immagine del 11 luglio 2024 è dovuta al vapore acqueo presente *in loco* al momento del volo causato del contatto tra l’acqua e la colata lavica in essere.

2.2.3 11 luglio – 23 maggio 2024

Il confronto tra i modelli dell’11 luglio e del 23 maggio 2024, a cavallo dell’apertura della bocca lavica nella Sciara del Fuoco del 4 luglio 2024 e del collasso dell’area craterica di NE, ha evidenziato un accumulo di materiale lungo il piede del *canyon* con la formazione di un delta lavico già identificabile nelle differenze tra le acquisizioni del 12 luglio e 23 maggio 2024 e pertanto descritto nel paragrafo 2.2.1.

L’attività vulcanica intercorsa tra i due rilievi ha inoltre portato all’accumulo di una coltre di materiale depositato lungo gran parte della porzione NE della Sciara del Fuoco con spessori massimi di 10-20 m nell’area craterica.

Al contempo, dall’analisi delle differenze è possibile identificare una diminuzione in elevazione lungo tutto il *canyon* e parte dell’area craterica riconducibile alla perdita di materiale, il cui volume stimato è pari a 3.800.000 m³ (± 5%).

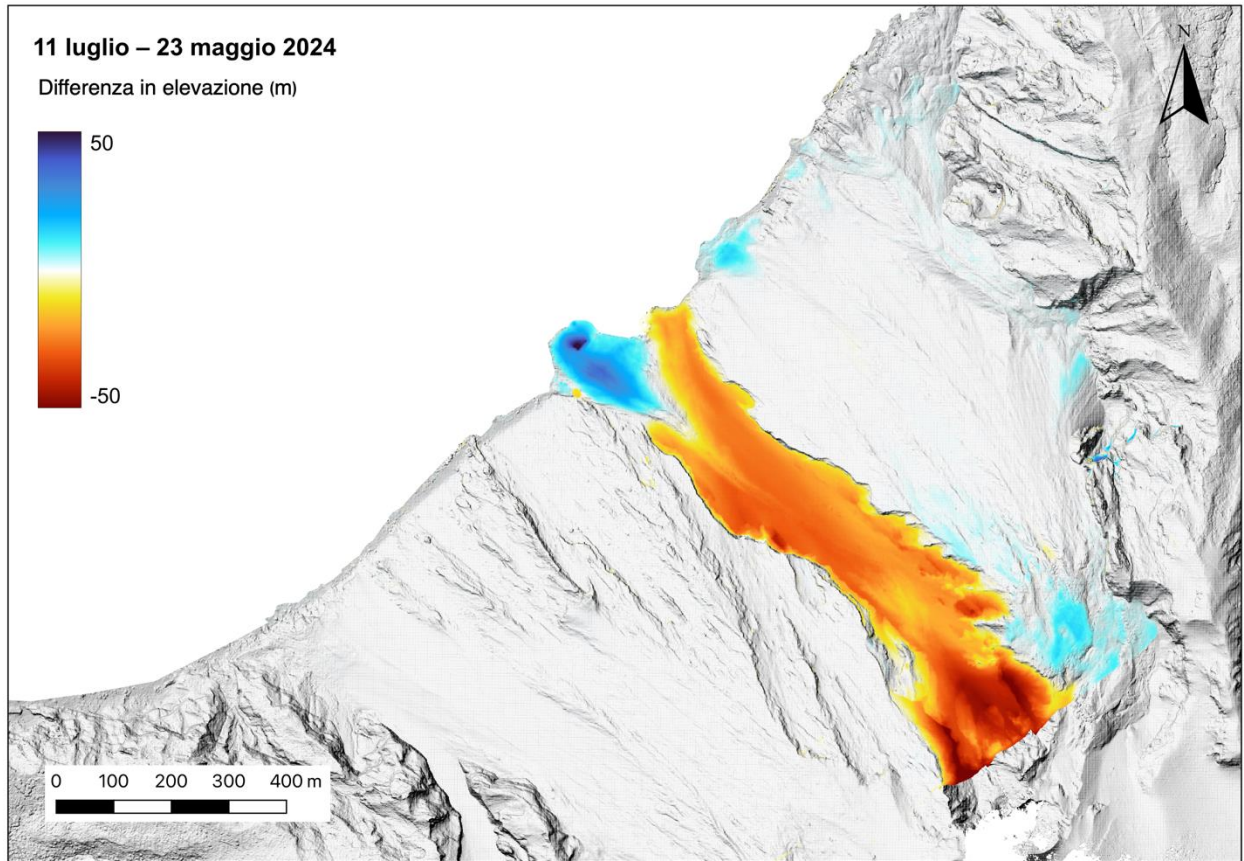


Figura 7 - Differenza in elevazione dei DSM generati a partire dai rilievi fotogrammetrici da drone del 11 luglio e 23 maggio 2024.

3 Conclusioni

Nelle giornate dell'11 e 12 luglio 2024 il personale del centro ha eseguito due rilievi fotogrammetrici da drone ad ala fissa Trinity Pro della porzione emersa della Sciara del Fuoco al fine di identificarne le variazioni morfologiche indotte dall'attività vulcanica e stabilirne il potenziale tsunamigenico.

Le campagne hanno visto la realizzazione di nuvole di punti, ortomosaici e modelli digitali ad alta risoluzione.

Il confronto con il modello derivante dal rilievo fotogrammetrico eseguito dal centro in data 23 maggio 2024 (pre-emergenza) ha permesso di localizzare e quantificare i cambiamenti morfologico/volumetrici, nonché verificare l'evoluzione dell'area craterica e della Sciara del Fuoco, principalmente legata ai processi di versante ed alle attività del vulcano che hanno avuto il loro apice con gli eventi eruttivi del luglio 2024.

Nello specifico tra i rilievi del 12 luglio e del 23 maggio 2024 si evidenzia un volume eroso in corrispondenza del *canyon* pari a circa 4.500.000 m³ e la formazione di un delta lavico con un volume stimato pari a circa 292.000 m³.

La differenza tra il rilievo dell'11 luglio e del 12 luglio 2024 consiste in diminuzioni volumetriche importanti in area craterica, lungo il fondo del *canyon* e nel delta lavico di neoformazione dove la porzione orientale risulta completamente mancante a seguito di un distacco che ha coinvolto un volume di circa 78.000 m³ di materiale.

L'analisi delle differenze tra il rilievo dell'11 luglio pre parossisma e del 23 maggio 2024 permette di identificare una diminuzione in elevazione lungo tutto il *canyon* e parte dell'area craterica riconducibile alla perdita di materiale il cui volume stimato è pari a 3.800.000 m³. Si nota inoltre la formazione del delta lavico, come evidenziato anche dal precedente confronto.