

Linee per la progettazione di opere per la mitigazione del rischio idrogeologico di Stromboli e Ginostra - Indagine sulle recenti tipologie eruttive

ResearchGate DOI: 10.13140/RG.2.2.11020.01920 – January 2025

Luciano Nunziante^{a)}, Massimo Di Lascio^{b)}, Giuseppe Rolandi^{c)}
con la collaborazione, per gli aspetti di loro competenza, di Barbara Liguori^{d)},
Gabiella Di Natale^{e)}, Alessandra Marano^{f)}, Clorinda Salvi^{e)}, Marco Trifuoggi^{e)-f)}

Lo Stromboli, uno dei vulcani più studiati al mondo la cui attività si valuta risalga a 200.000 anni, di recente, dal 2019 e in particolare nella prima decade del Luglio 2024, ha sviluppato una intensa sequenza di eventi con flussi lavici, crollo di un fianco del cono vulcanico con decine di franamenti, esplosioni parossistiche e correnti piroclastiche verso la Sciara del Fuoco che hanno provocato colonne di vapore acqueo salino risalente sui fianchi della montagna e depositi di ceneri finissime di colore ocra ricoprenti l'intera montagna. La cenere eruttata di colore ocra depositata sulla superficie del vulcano per effetto della nube di vapore acqueo proveniente dall'impatto con il mare delle correnti piroclastiche, carica di sale, solidifica per spessori consistenti che vanno dal centimetro al decimetro presentando un aspetto solido e costituendo un manto duro e impermeabile sulla intera superficie del monte. Questo manto risulta non drenante e impermeabile, e favorisce lo scorrimento superficiale delle acque provenienti da eventi pluviometrici anche dell'ordine dei millimetri, determinando impetuose colate di fango e detriti che trasportano anche grossi elementi lapidei che devastano il territorio e con il loro impatto con i centri abitati di Stromboli e Ginostra producono ingenti danni alle strade, alle abitazioni e all'intero costruito. Questi eventi recenti hanno spinto gli Autori, aventi competenze vulcanologiche, geologiche, ingegneristiche, idrologiche, chimiche e fisiche, da un lato ad interrogarsi e a indagare sulle ragioni profonde di questi caratteri vulcanologici nuovi della recente sequenza di eventi eruttivi, svolgendo le diverse analisi specialistiche teoriche e sperimentali di tipo vulcanologico, idrologico territoriale, geomorfologico, idraulico, alluvionale, morfometrico, granulometrico, chimico, fisico e di meccanica dei materiali effusivi. E d'altro lato, la situazione di emergenza perdurante da diversi mesi che danneggia e mette in pericolo i centri abitati, ha spinto gli Scriventi a definire le possibili linee di progettazione di interventi per la realizzazione di attività ed opere mirate alla mitigazione del rischio idrogeologico che incombe su Stromboli e Ginostra.

1. INTRODUZIONE

INQUADRAMENTO GEO-VULCANOLOGICO

Stromboli è l'isola vulcanica che fa parte del cosiddetto arco vulcanico Eoliano (Fig. 1a), formato da un insieme di altre isole vulcaniche (Lipari, Salina, Vulcano, Stromboli, Filicudi, e Panarea), la cui formazione è correlata al magmatismo eoliano originato dalla subduzione della litosfera oceanica Ionica al di sotto dell'Arco Calabro.

^{a)}Già Ordinario di Scienza delle Costruzioni, Università di Napoli Federico II-Napoli-Italia ; Autore corrispondente: nunsci42@gmail.com ; ^{b)}geologo, libero professionista;

^{c)}già Ordinario di Vulcanologia Università di Napoli Federico II-Napoli-Italia;

^{d)}ACLabs – Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della Produzione Industriale, Università degli Studi di Napoli Federico II-Napoli-Italia; ^{e)}CeSMA - Centro Servizi Metrologici e Tecnologici Avanzati, Università di Napoli Federico II-Napoli-Italia; ^{f)}Dipartimento di Scienze Chimiche, Università degli Studi di Napoli Federico II, Napoli-Italia.

In relazione alla subduzione è nota da tempo la presenza di un Piano di Benioff inclinato di circa 70-80° sotto l'arco calabro, nella porzione nord-occidentale, messo in evidenza dalla distribuzione dei terremoti con ipocentro intermedio (fra i 70 e 300 km di profondità) e profondo (oltre i 300 km di profondità) (Fig. 2).

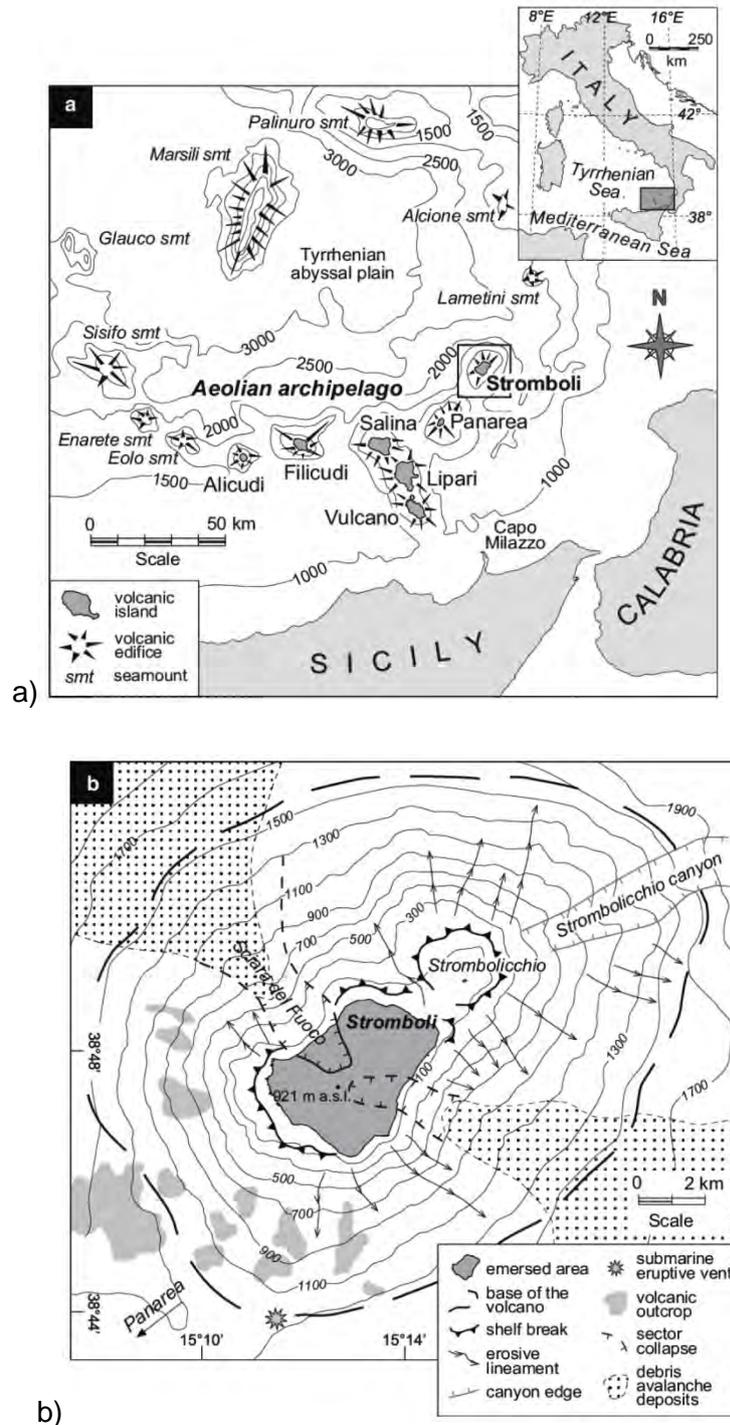
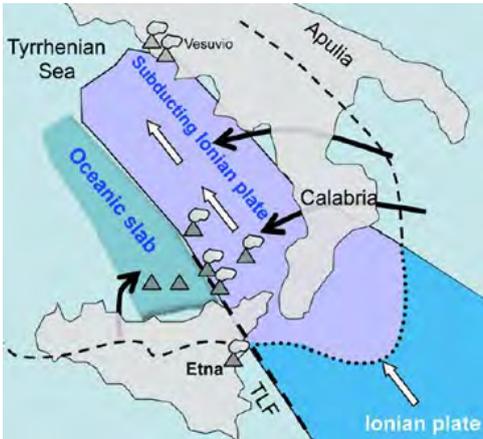


Fig. 1 - a) Localizzazione dell'isola di Stromboli nel settore orientale dell'arco Eoliano, a Sud del Mar Tirreno (batimetria modificata di Beccaluva et al. 1985).

b) Mappa strutturale dell'area emersa di Stromboli (modificata da Romagnoli et al. 2013).



Quadro geodinamico schematico dell'arco eoliano. Lo slab Ionico subduce sotto la Calabria e il Tirreno meridionale. A questo processo è associato una sismicità profonda (lungo lo slab stesso) e il vulcanismo attivo ed esso appare delimitato a ovest dal sistema di faglie Tindari-Letojanni (TLF). (INGV - modificata da Peccerillo et al., 2013)

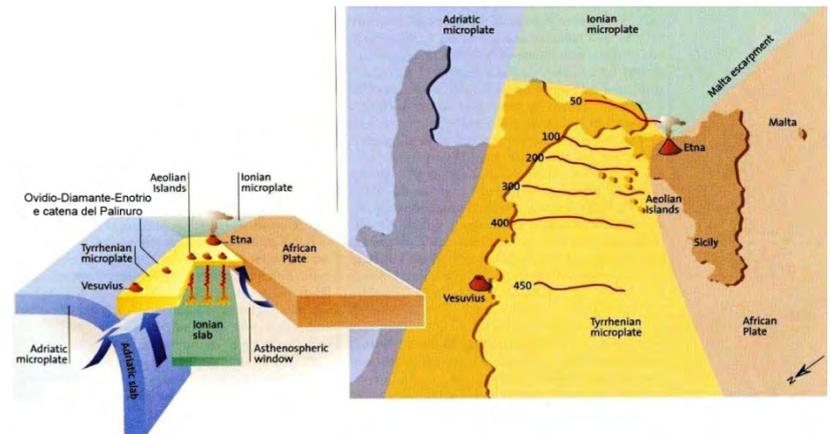


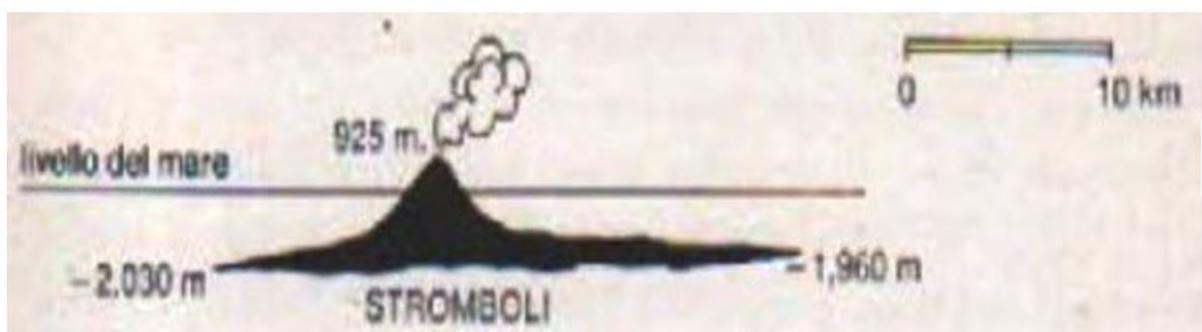
Fig. 2 - L'arco calabro, la microplacca adriatica e la microplacca ionica vanno in subduzione sotto la penisola. Le risalite magmatiche originano le Isole Eolie, il Vesuvio e l'Etna. (INGV Ambiente - Modificato dal libro "Volcanism" di H.U. Schmincke).

Stromboli è l'ultima fra le isole Eolie ad essere emersa dal mare. La sua nascita è stata preceduta da quella dello Strombolicchio (fig. 3), un piccolo vulcano del quale attualmente si individua soltanto la lava consolidatasi nel condotto eruttivo, essendo stato il cono vulcanico completamente demolito dal mare.

Per quel che concerne l'edificio vulcanico dello Stromboli, sappiamo che è uno dei pochi vulcani sulla terra in attività pressoché continua, che si eleva per oltre 900 metri sul livello del mare (Fig. 3a). Svetta in realtà su una base che si approfondisce di circa 2.000 metri sotto il livello del mare (Fig. 3b).



a)



b)



c)

Fig. 3 – a) Il versante nord del vulcano Stromboli visto dal mare (giugno 1997). Si osserva sulla sinistra il paese di Stromboli (Foto di Boris Behncke), b) La base del vulcano approfondita di circa 2.000 metri sotto il livello del mare. c) Resti del vulcano più antico, lo Strombolicchio.

La ricostruzione della storia eruttiva, magmatica e vulcano-tettonica di Stromboli si incentra nel periodo comprendente gli ultimi 85 ka, non contemplando, quindi, il neck lavico di Strombolicchio (Fig. 1b) al quale è attribuita un'età di circa 205 ka. Per quel che concerne in particolare l'evoluzione geologica della porzione emersa, si ha una sintesi molto efficace nella mappa geologica in scala 1:10.000 (Francalanci et al. 2013), nella quale vengono evidenziati i

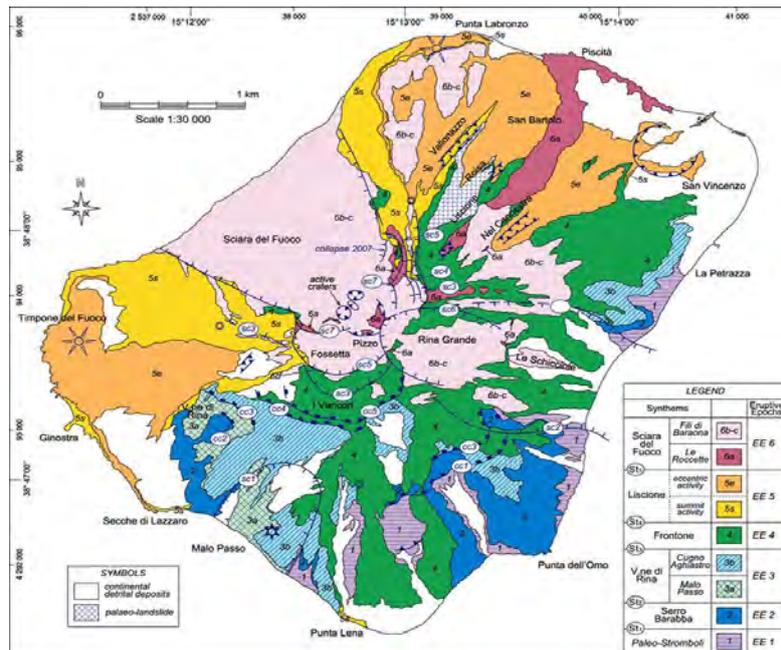


Fig. 4 – Mappa geologica schematica di Stromboli (scala 1:30.000), in cui vengono rappresentate le 6 Epoche Eruttive della storia di Stromboli (c. 85 ka – oggi).
(Semplificazione della mappa geologica 1:10.000 Lucchi et al. 2013, Francalanci et al. 2013)

risultati della stratigrafia di Stromboli, incentrati sulla ricostruzione crono-stratigrafica di sei epoche eruttive (Fig. 4).

Il risultato delle azioni connesse con le sei epoche eruttive, ed in particolare quelle conseguenti le fasi crono-tettoniche dei collassi laterali recenti (Francalanci et al., 2013), di età inferiore a 13.000 anni, hanno fortemente modellato la zona della Sciara del Fuoco e il versante opposto ad essa (Fig. 5a), determinando negli altri due versanti, laterali ed opposti, ampie facce triangolari nelle quali si concentrano le zone bacinali di tutta l'isola (Fig. 5b).

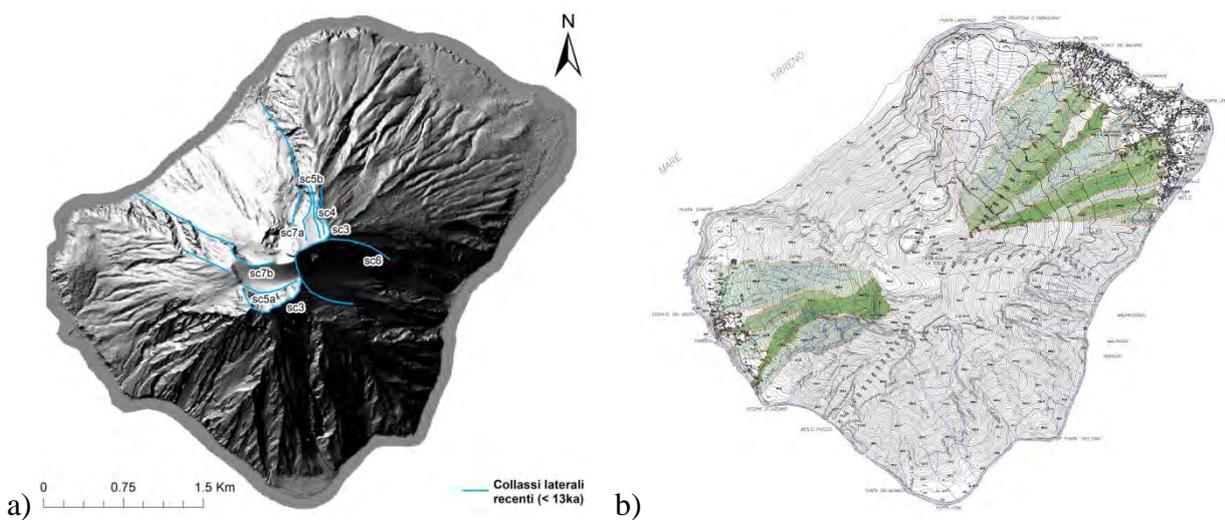


Fig. 5 - a) Rappresentazione dei collassi laterali recenti (di età inferiore a 13.000 anni) (Francalanci et al., 2013, Borghetti 2018). Essi sono concentrati nelle porzioni NW e E dell'Isola
b) Aree bacinali a monte degli abitati di Stromboli NE-E e Ginostra W.

2. CARATTERISTICHE DELL'ATTIVITÀ ERUTTIVA ATTUALE DI STROMBOLI, PERICOLOSITÀ E RISCHIO VULCANICO

L'attività eruttiva di Stromboli è caratterizzata dal tipico stile eruttivo "stromboliano" che consiste in modeste esplosioni di gas (1-2s) associate ad emissione di piccole quantità di materiali incandescenti, e da continuo rilascio di gas passivo dall'area craterica attraverso un diffuso degassamento di fumarole. I gas emessi durante le esplosioni stromboliane hanno diverse composizioni chimiche da quelle rilasciate durante il degassamento passivo, in fase di quiescenza (Rosi et al. 2013). Si riconoscono tre tipi di attività eruttiva a Stromboli:

- **Normale attività stromboliana.**
- **Esplosioni violente, caratterizzate da eventi più intensi di breve durata, definiti parossismi.**
- **Emissioni di flussi di lava entro l'area della Sciara del Fuoco.**

- La prima tipologia consiste in esplosioni da piccole a moderate intervallate da brevi periodi di tempo dell'ordine di secondi, che eiettano scorie, lapilli, bombe, ceneri e blocchi litici. Nonostante il vulcano sia considerato in stato di equilibrio, ci sono talvolta delle variazioni dei parametri geofisici e geochimici del magma che si traducono in cicliche variazioni dell'attività vulcanica, con esplosioni più o meno deboli. La frequenza delle eruzioni è di circa 7-17 eventi all'ora, della durata di 4-30 secondi ciascuno. I materiali emessi possono raggiungere anche i 400 m di altezza, e ricadere tramite traiettorie balistiche a decine o centinaia di metri di distanza dal vent (bocca eruttiva). Tuttavia, i volumi di magma eruttati sono modesti, dell'ordine di 0.01 m³/s. Negli ultimi anni l'attività normale di Stromboli si è fermata totalmente per alcuni mesi dopo le eruzioni effusive del 2002-2003 e 2007 (Rosi et al. 2013).

- La tipologia delle esplosioni violente o parossismi si inquadra in una attività eruttiva di maggiore intensità dell'attività normale, con il coinvolgimento simultaneo di più vent, e una velocità di emissione di materiale molto elevata. Queste esplosioni interrompono di tanto in tanto l'ordinaria attività di Stromboli, lanciando in aria pesanti blocchi di lava che occasionalmente raggiungono i centri abitati dell'isola. I volumi di prodotti eruttati sono nettamente maggiori rispetto all'attività ordinaria, 10² - 10³ m³ per parossismi a piccola scala, e 10⁴ - 10⁵ m³ per parossismi a grande scala (Rosi et al. 2013).

- Infine, la terza tipologia dei flussi di lava si compendia in occasionali eruzioni effusive, durante le quali vengono emesse colate laviche dai vent sommitali o da fessure lungo la Sciara del Fuoco, con la lava che scende lungo la depressione di collasso e raggiunge frequentemente il mare alimentando delta lavici (poi rapidamente erosi dal mare).

Tutto ciò premesso, esiste tutta una serie di fenomeni pericolosi legati all'evoluzione delle fasi eruttive sopra menzionate (Rosi et al., 2013), che si possono così compendiare:

a - Caduta balistica

Un frequente pericolo legato alle eruzioni di Stromboli è dato dagli eventi esplosivi ad alta intensità che scagliano in aria grossi frammenti di roccia fino ad altezze di circa 1 km.

- Le eruzioni a piccola scala degli ultimi 20 anni sono state caratterizzate dall'emissione di bombe e blocchi decimetrici caduti sui sentieri utilizzati normalmente per la salita ai crateri sommitali.

- Nei 18 parossismi a grande scala degli ultimi 110 anni invece, sono stati emessi blocchi con diametri fino a 2 metri, e bombe che hanno raggiunto notevoli distanze dall'area craterica, compreso i centri abitati dell'Isola, creando notevole pericolo per le persone e le infrastrutture (Rosi et al. 2013).

- Caduta di materiali piroclastici (cenere, lapilli e blocchi) prodotti durante un evento eruttivo Stromboliano, dispersi prevalentemente nella direzione dei venti dominanti, attraverso una colonna convettiva di alcuni chilometri d'altezza, la quale negli eventi a piccola scala sono associati a colonne eruttive alte fino a 1000 m al di sopra del vent, mentre parossismi a grande scala hanno colonne eruttive che raggiungono e superano anche i 3000-4000 m. Nelle aree prossimali, la caduta di questi prodotti genera depositi di spessore fino qualche metro, rappresentando una minaccia per le persone presenti nelle aree sommitali e nei bordi della Sciara del Fuoco. (Rosi et al. 2013).

b - Correnti Piroclastiche (Pyroclastic Density Currents)

A memoria d'uomo sono considerate un fenomeno sporadico a Stromboli, avvenuto, prima degli eventi del 2024, solo durante l'esplosione del 2007 e localizzato nella porzione superiore della Sciara del Fuoco. Viene ritenuto un pericolo minore in quanto raro.

c - Flussi di lava e Tsunami

Il vulcano è caratterizzato dalla episodica emissione di colate laviche. Negli ultimi tre secoli, lungo la depressione della Sciara del Fuoco sono scesi flussi di lava di tipo aa e pahoehoe, ovvero colate di lave mafiche a moderata velocità. Non si esclude però la presenza di flussi di lava alimentati dall'apertura di fessure al di fuori della Sciara del Fuoco, come la colata di San Bartolo, che formò il delta lavico sul quale ora è costruito l'abitato di Piscità.

Gli Tsunami vengono innescati generalmente durante fasi di intensa attività vulcanica, prevalentemente in relazione a frane (anche sottomarine) o collassi di settore. Eventi di questo tipo si sono verificati negli anni 1916, 1919, 1930, 1944, 1954, 1954 e 2002.

3. STORIA DEGLI EVENTI VULCANICI ED ALLUVIONALI RECENTI

L'attività eruttiva dello Stromboli prodotta dai tre crateri attivi dal 2019 ad oggi, che si classifica con le modalità precedentemente descritte, si è evoluta attraverso le seguenti fasi:

- **3 luglio 2019.** Evento parossistico con esplosione i cui materiali costituiti da una colonna di cenere, lapilli, detriti, hanno raggiunto i 4 km di quota con flussi piroclastici verso il versante Sciara del Fuoco, con incendio del versante fino all'abitato di Ginostra (1 vittima).

- **28 agosto 2019.** Evento parossistico con colonna di cenere, detriti, lapilli, sabbie e flusso piroclastico alto 4 km propagatosi verso mare sul versante Sciara del Fuoco, con copiosa ricaduta di materiale in località Stromboli da Scari a Piscità e massiccio flusso piroclastico sul versante Sciara del Fuoco e incendio a Stromboli da Piscità a Punta Lena che ha distrutto flora e fauna.

- **2019 - 2022** - Attività stromboliana e flussi lavici. - 25 maggio 2022. Incendio di grandi dimensioni durato due giorni, provocato dalla troupe di una società esterna per una produzione RAI, in cui è bruciata gran parte della vegetazione dell'isola per circa 242 ettari, arrivato a lambire il centro abitato.

- **12 agosto 2022.** Una forte pioggia definibile come una bomba d'acqua ha causato un massiccio fenomeno di inondazioni, facilitato dagli effetti dell'incendio di maggio e dalla mancanza

di vegetazione, con frane nella zona di Stromboli che hanno trasportato fango, arbusti, detriti, rocce e massi anche nell'ordine di una tonnellata, insieme ad altri materiali presenti negli alvei dei fiumi, nel centro abitato (Fig. 6). Gli effetti sono stati strade completamente invase da fango e detriti fino ad altezze di m. 1,70, demolizione di muretti e danni alle case alcune invase da fango e materiali fino ad altezze di m. 1,60.

- **2022-2024.** Eventi di attività stromboliana.

- **Il 03/04/05/06/07/11 - luglio 2024.** Intensa sequenza per circa una settimana di colate laviche verso la Sciara del Fuoco con esplosioni parossistiche e crollo di un fianco del cono vulcanico con decine di frane. Formazione di correnti piroclastiche che raggiungono il mare alla Sciara del Fuoco provocando colonne di vapore acqueo salino, che deposita cenere finissima color ocra ricoprente l'intera montagna, sovrapponendosi ai depositi di cenere precedentemente depositati. Colate laviche che raggiungono il mare abbinate a schizzi e attività esplosiva. (Vedi il Bollettino Web INGV per i dettagli).



Fig. 6 - blocchi di grande pezzatura trasportati a valle dalle acque meteoriche

4. LE FASI DA DENSITY PYROCLASTIC CURRENTS VERIFICATE SI A PARTIRE DAL SECOLO SCORSO

Lo sviluppo delle Pyroclastic Density Currents, verificatesi nel corso dell'attività esplosive recenti, viene ritenuto un fenomeno vulcanico alquanto sporadico a Stromboli. Tuttavia, è il caso di rimarcare che reminiscenze di una tale tipologia eruttiva risalgono già al secolo scorso, come ci informa la seguente cronaca dell'eruzione dell'11 settembre del 1930, allorché si verificò una tremenda eruzione evolutasi in tre fasi:

- Nella prima, dopo giorni di attività vulcanica, accompagnata da un maremoto, che sfociò in un'attività parossistica con una forte esplosione dal cratere, con emissione di numerosi blocchi di grande pezzatura che ricaddero sul terreno colpendo case e persone in fuga dal mare, sollevando enormi colonne d'acqua.

- Nella seconda fase, valanghe di cenere e scorie incandescenti, certamente strutturati alla stregua di flussi piroclastici, si riversarono verso S. Bartolo e Piscità, nel settore settentrionale dell'isola, causando la morte di 6 persone e 20 feriti. La vegetazione e in particolare le vigne furono distrutte da incendi nella parte alta dell'isola.

- Nella terza fase, dalle 11 fino a notte inoltrata, colate laviche si riversarono dai crateri sommitali lungo la Sciara del Fuoco.

Nella seconda fase di questa eruzione, quindi, si verificò un evento eruttivo descritto alla stregua di una valanga detritica ad elevata temperatura, che raggiunse la località Piscità, riversandosi in mare e riscaldando l'acqua per un lungo tratto.

A distanza di circa 80 anni si è verificato poi l'evento esplosivo del 2007 durante il quale si sono verificate fasi da Pyroclastic Density Currents, comunque considerate a Stromboli un fenomeno sporadico. Ancora più recentemente, fasi eruttive con caratteristiche simili si sono verificate durante il parossismo del 3 luglio 2019, nel corso delle eruzioni del periodo 2022-2023, ed ancora in tempi più recenti nel Luglio del 2024, oggetto più centrale del presente lavoro.

In definitiva, dai dati esposti è da ritenere che la tipologia eruttiva delle Pyroclastic Density Currents mostri una certa ripetitività a breve termine, aumentando considerevolmente il rischio vulcanico ad esse associato.

5. CARATTERI VULCANOLOGICI DELLE PYROCLASTIC DENSITY CURRENTS DEL 2024 A STROMBOLI

L'analisi della pericolosità vulcanica, come è noto, consiste nel mettere a punto diversi scenari, tesi alla valutazione dell'entità dei principali rischi vulcanici associati. Sotto questo profilo, si ritiene che il pericolo più temuto a Stromboli siano le colate laviche. In tale ipotesi, pertanto, al fine di illustrare gli scenari eruttivi di potenziali eruzioni future di Stromboli, vengono simulati percorsi dei flussi di lava che potrebbero verificarsi in caso di prossime eruzioni del vulcano.

Si ritiene tuttavia, come segnalato nel precedente paragrafo, che negli ultimi tempi si siano palesate condizioni di pericolosità e di rischio vulcanico incentrate sull'azione delle **Correnti Piroclastiche**, sulla cui genesi verranno qui formulate alcune ipotesi discendenti dallo studio delle fasi eruttive degli eventi precedenti, a partire dal 1930. Sulla base delle analisi vulcanologiche pregresse si possono, infatti, distinguere due tipologie di flussi piroclastici. La prima ha luogo in condizioni magmatiche, la seconda in condizioni idro-magmatiche, con interazione acqua-magma significativa, comunque a bassa-media efficienza (Wohletz 1983):

- Nel primo processo, Flussi Piroclastici a piccola – media scala e valanghe di materiale incandescente, si possono originare in seguito ai seguenti meccanismi:

- collasso parziale della colonna eruttiva;
- ri-mobilizzazione di materiale incandescente e brandelli di lava caduti sui pendii ripidi del vulcano nel corso dell'eruzione o anche successivamente all'evento.

Si può ritenere che durante gli eventi del settembre del 1930 e dell'aprile 2003 i prodotti da collasso della colonna eruttiva si siano rispettivamente riversati verso S. Bartolo e Piscità, nel settore settentrionale dell'isola e abbiano coperto la parte alta della Sciara del Fuoco.

- Nel secondo processo si può ipotizzare, invece, una formazione non dall'esterno, ma nel condotto vulcanico, attraverso il meccanismo di seguito descritto.

E' noto che un'eruzione esplosiva ha luogo in condizioni di risalita magmatica confinata, durante la quale, via via verso la superficie, la pressione interna delle bolle diventa così elevata da originare un'esplosione, riducendo il magma in frammenti (superficie di frammentazione).

Si determina in tal modo, un'accelerazione della risalita della miscela magma+gas nella parte alta del condotto, che si traduce nella fase esplosiva. Conseguentemente all'acme esplosivo, a causa della brusca diminuzione della pressione, determinata dal degassamento del fuso magmatico, si può formare, più in profondità, una certa quantità di magma con scarso contenuto

in volatili in via di consolidazione ad alta temperatura (800°-900°), che intasa una parte del condotto eruttivo, estesa anche a quella parte del condotto confinata in ambiente sottomarino (Fig. 3b).

La diminuzione della pressione in questa fase può, quindi, consentire l'introduzione dell'acqua marina dalle numerose fratture presenti intorno al condotto eruttivo. L'intrusione può determinarsi al di sotto del corpo lavico incandescente, oppure interagendo direttamente con lo stesso. In entrambi i casi si forma una sacca di vapore pressurizzato che esplose quando la sua pressione supera quella lito-idrostatica del magma incandescente che ostruisce parte del condotto.

In entrambi i casi le esplosioni di tipo freato-magmatico si concretizzano nella generazione di flussi piroclastici costituiti da vapore saturo d'acqua e da gas magmatici (Wohletz 2013), contenente un'alta percentuale di particelle a grana fine e più grossolana costituita da lava frammentata e blocchi trapanati dalle pareti del condotto. I flussi piroclastici poi debordano dal condotto, espandendosi via via lungo la Sciara di Fuoco, fino a raggiungere il mare, continuando a scorrere sull'acqua per diverse centinaia di metri (Fig. 7a,b). In questa fase deposizionale, in seguito all'effetto "overcraft" del flusso, i clasti più grossolani si separano per affondamento e nello stesso tempo il flusso viene accompagnato da una nuvola bianco-ocracea, calda, satura di vapore acqueo e di cenere fine, che si disperde su un'area più ampia, fino a ricoprire tutto l'apparato vulcanico (Fig. 7d). A tale tipologia di dinamica evolutiva si possono, quindi, ricondurre gli eventi eruttivi del luglio 2024.



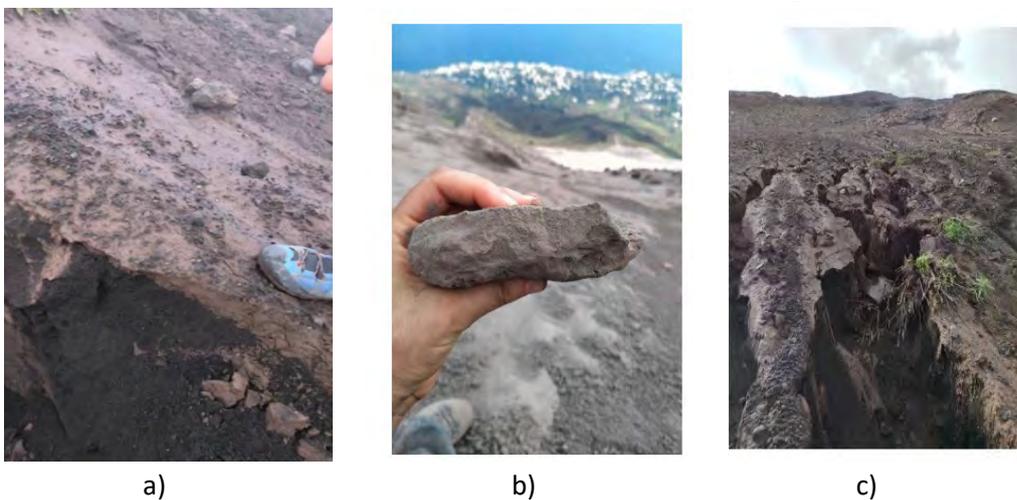


c)

Fig. 7 – Stromboli, il flusso piroclastico scende lungo la Sciarra del Fuoco (Fig.7-a,b) e impattando con il mare produce una nube bianco-ocra di vapore acqueo salino e ceneri fini che risale a ricoprire l'intera montagna (Fig.7-c). Video ripreso dal drone (Rai News.it e Vigili del Fuoco).

6. INFLUENZA DELLE PYROCLASTIC DENSITY CURRENTS IDROMAGMATICHE SUL RISCHIO IDROLOGICO

Come si è osservato, nella fase evolutiva delle Pyroclastic Density Currents con caratteristiche idromagmatiche, che hanno chiuso la sequenza eruttiva del luglio 2024, è apparsa evidente l'invasione di una nuvola calda su gran parte dell'apparato vulcanico nella zona superiore ai 400 m. s.l.m, la cui superficie è stata ricoperta da una **ash fall** di colore ocra, carica di sale marino depositata dalla stessa nuvola. Tale coltre si è solidificata in poco tempo, formando un mantello duro e impermeabile con uno spessore decimetrico (Fig. 8 a,b). Ulteriori particolari sulle caratteristiche fisico-meccaniche della crosta neo-formatasi, vengono riportate nell'Appendice 1.



a)

b)

c)

Fig. 8 – Caratteristiche fisiche della coltre superficiale alterata

Tale mantello ha, in sostanza, determinato una notevole riduzione della permeabilità del terreno, limitando notevolmente la capacità di assorbimento delle acque meteoriche. Si è costituita, quindi, una superficie che è stata in grado di favorire un più rapido deflusso delle acque meteoriche, che hanno dilavato i versanti dell'edificio vulcanico successivamente agli eventi eruttivi, accelerando i deflussi nelle aree bacinali che insistono nei due versanti mutuamente opposti di NE e di SW dello stesso cono vulcanico (Fig. 5b).

In connessione con le mutate condizioni di deflusso vanno quindi analizzati gli eventi alluvionali che, da Agosto a Novembre 2024, hanno prodotto quattro nuove colate di fango che hanno investito Stromboli durante eventi piovosi, anche di intensità limitata, trasportando detriti di grandi dimensioni e grandi elementi lapidei, che hanno raggiunto l'abitato con danni a strade e abitazioni. Eventi che si sono verificati fino al Gennaio 2025, periodo di bassa piovosità

Questi intense e violente colate di fango e di altri materiali trasportati non possono che essere correlati alla solidificazione e conseguente impermeabilizzazione degli strati superficiali di ceneri depositate nel luglio 2024, presenti sia nei pendii ripidi da +400 m fino a quote di +700 m, come pure, nell'area della fascia di scarsa e recente vegetazione spontanea presente, ricresciuta dopo gli ultimi incendi del 2019/2022 da +400 m fino alla quota del centro abitato.

Tali colate hanno originato con il loro passaggio impetuoso anche profondi solchi sulla montagna nella zona compresa tra le sopracitate quote (Fig. 8c). Le colate di fango che si riversano nelle valli storiche e poi negli alvei dei torrenti, in particolare in località Piscità (torrenti San Bartolo e Montagna Russo, Scalo Balordi, ecc.) hanno, in definitiva, causato l'innalzamento degli alvei dei torrenti con depositi di sabbie fino a raggiungere altezze di 3-5 m., occlusioni di strade, con trasporto di massi rocciosi di oltre 2 tonnellate, interrimento di spiagge, ecc.

In conclusione, l'insieme di questi fattori, che certamente testimoniano un aggravio delle condizioni idrologico-idrauliche, determinando un aumento della velocità di deflusso superficiale in occasione degli eventi alluvionali dell'ottobre e inizio novembre 2024, rappresentano una condizione di **rischio interferenziale**, in quanto derivante dalla interferenza di attività vulcaniche da flussi idro-magmatici ed idrologico-idrauliche che si sono verificate l'una di seguito all'altra.

Questa situazione sostanzialmente *variata in peggio del rischio idrogeologico* interviene su uno stato già molto precario del territorio, che al di là delle periodiche azioni di rimozione dei detriti fanghi e sabbie che ostruiscono alvei e strade dopo gli eventi alluvionali, soffre tuttora la mancanza di un serio piano di manutenzione preventiva basata su importanti ed efficaci provvedimenti e sistemazioni di ingegneria naturalistica.

Gli Autori di questo lavoro hanno sviluppato indagini sui prodotti eruttivi dello Stromboli dell'estate 2024 da diversi punti di vista, per tentare di comprendere la natura e il motivo degli aspetti fenomenologici "*diversi*" da quelli "*di norma*" osservati nel passato, e consistenti essenzialmente nel colore giallo ocra del deposito superficiale, e nella solidificazione dello strato superficiale per spessori che raggiungono anche la dimensione del decimetro, rendendo sostanzialmente impermeabile la coltre superficiale con effetti dirompenti sulla formazione di impetuose colate di fango e detriti anche in presenza di piogge di piccola intensità.

Qui sopra sono state esposte le ipotesi di tipo "*vulcanologico*" che motivano le diversità dell'aspetto e della consistenza dei depositi.

Nell'Appendice 1 verranno riportati i principali risultati delle analisi di seguito elencate di tipo chimico-fisico-meccanico, realizzate sui caratteri delle ceneri e dei prodotti depositati:

- Analisi mineralogica diffrattometrica dei depositi di prodotti di recenti effusioni dello Stromboli
- Analisi chimiche per la determinazione di anioni, cationi, durezza totale e del contenuto di metalli sull'eluato in acqua tramite cromatografia ionica e spettrometria di massa interfacciata ad una sorgente al plasma per la determinazione dei metalli.

- Prove meccaniche per la determinazione di “resistenza e rigidezza” degli strati di cenere “solidificati” formati nelle eruzioni del Luglio 2024
- Analisi granulometrica di depositi superficiali recenti.

Queste analisi e prove, rese possibili dalle competenze “interdisciplinari” del gruppo di studio, lungi dal fornire un quadro completo ed esaustivo, costituiscono un primo passo nella conoscenza dei fenomeni osservati di recente, che si ritiene meritevole di sviluppi successivi.

7. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE DELLE AREE BACINALI DI STROMBOLI

Vi sono, dunque, concreti elementi per ritenere valido nel caso di specie il concetto di rischio interferenziale. Come osservato in precedenza, tale aspetto di rischio riguarda in particolare le relazioni tra il processo di solidificazione delle ceneri depositate dai debris flow idro-magmatici del luglio 2024 e le ondate di materiale detritico saturo convogliato all'interno degli alvei, che ha apportato un rilevante accrescimento della massa di acqua e di materiale piroclastico lungo il percorso, amplificato dalla presenza della coltre di copertura litificata che ha aumentato sensibilmente il deflusso superficiale verso valle.

Come osservato, costituisce un probante esempio in tal senso la formazione dei debris flow canalizzati dell'inizio luglio 2024, innescati grazie ad un ingente apporto idrico che, rendendo saturo la massa di detrito piroclastico, ne ha determinato il riversamento negli alvei torrentizi, in particolare in località Piscità (torrenti San Bartolo e Montagna Russo, Scalo Balordi, ecc.), causando l'innalzamento degli stessi fino a raggiungere altezze di 3-5 m.

Ne consegue che il complesso degli effetti al suolo, causati da eventi meteorologici estremi per intensità e/o durata, comportano fenomeni di natura geomorfologica, che nello specifico pongono in estrema difficoltà il reticolo idrografico, che a sua volta si riverbera in ambito urbano, con forti danni al patrimonio costruito dei due centri abitati dell'isola. A tal riguardo, al fine di poter predisporre opportune misure per la mitigazione del rischio idrogeologico, è stata ritenuta necessaria una più approfondita conoscenza delle caratteristiche geomorfologiche, clivometriche e idrografiche delle aree di versante a monte degli abitati, le cui analisi vengono di seguito riportate.

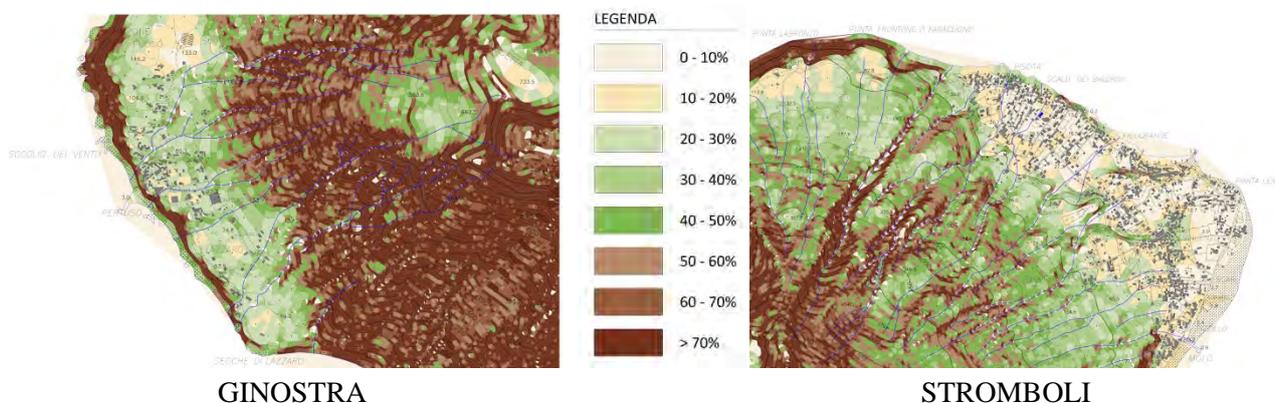


Fig. 9 – Stralci della carta clivometrica dell'Isola di Stromboli in scala 1:10.000

Ponendo come punto di partenza l'analisi geomorfologica dei versanti interessati dalle aree bacinali che interagiscono con le aree antropiche, è stata elaborata una carta clivometrica su base topografica in scala 1:10.000 per i due versanti oggetto di studio, dalla quale emerge che:

- Gli abitati di Stromboli e Ginostra sorgono alla base dei versanti del vulcano rispettivamente a NE-E e W, rispettivamente ubicate su aree con pendenze comprese negli intervalli 0-20 % per Stromboli, edificata su conoidi deltizie che degradano a mare formando piccole spiagge, e 0-40 % per Ginostra, caratterizzata da alte falesie su una esigua lingua di spiaggia (Fig. 9).

Il confronto tra le risultanze clivometriche evidenzia una maggiore acclività sul versante dell'abitato di Ginostra (> 50%) e nel centro abitato stesso (20 – 40 %). Il versante a monte dell'abitato di Stromboli presenta una minore acclività generalmente contenuta entro il 50 % e nell'area abitata nell'intervallo 0 – 20%.

8. ANALISI DEI BACINI IDROGRAFICI

Lo studio idrografico è stato svolto ciascuna delle 22 aree di bacino che si individuano a monte degli abitati di Stromboli e Ginostra. Le caratteristiche morfometriche principali di queste aree, necessarie per il calcolo di parametri caratterizzanti le curve ipsometriche, le tipologie di trasporto, di deposito e dei tempi di corrivazione sono riportate in Appendice 2.

Ogni bacino idrografico viene rappresentato con un'area rossa, associato alla rispettiva curva ipsografica e ai parametri morfometrici.

- I bacini idrografici a monte dell'abitato di Stromboli presentano pendenze medie più basse contenute entro il 35%, mentre quelli di a monte di Ginostra risultano comprese tra il 38% e 55,8%. Le pendenze delle aree bacinali trovano riscontro con i dati clivometrici precedentemente descritti sui versanti esaminati.

La pendenza come già detto è uno dei parametri che influisce sulla velocità di deflusso così come la presenza o meno di vegetazione. In particolare, per il versante a monte dell'abitato di Stromboli si configurano ben 17 bacini idrografici (Vedi Appendice 2), di cui 7 con attraversamento dell'area urbanizzata e 6 con sezione di sbocco a monte dell'edificato (Fig. 10a). I restanti 4 bacini si individuano nella zona tra la località Piscità, fuori dal centro abitato di Stromboli e l'Osservatorio, interessando solo la strada di collegamento utilizzata per escursioni turistiche sul vulcano.

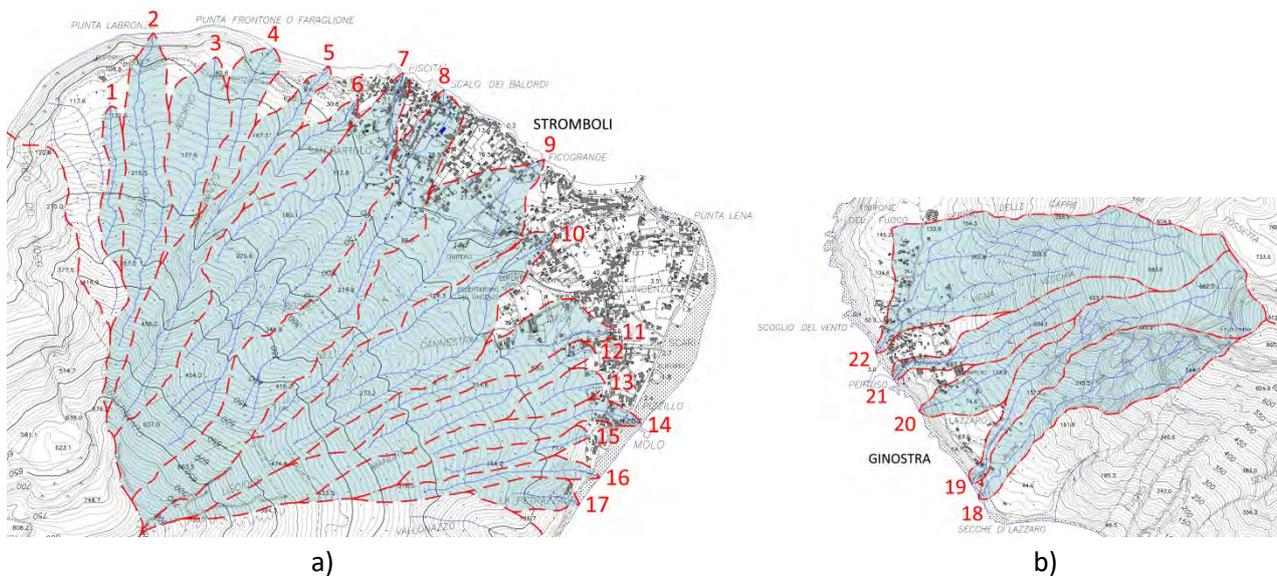


Fig. 10 – Aree di bacino: a) versante Stromboli; b) versante Ginostra

- Sul versante a monte dell'abitato di Ginostra si configurano 5 bacini idrografici con sezione di sbocco sulla costa, ma tutti con aree di attraversamento più o meno urbanizzate. I bacini con maggiore impatto sull'abitato sono quelli ubicati nella parte più settentrionale con sezione di sbocco presso il molo in località Pertuso (Fig. 10b – bacini 21 e 22).

Lo studio delle caratteristiche idrografiche ha evidenziato per tutti i bacini un profilo di equilibrio tipico di uno stadio maturo anche se dai grafici si evidenziano delle anomalie concavo convesse probabilmente legate ad aspetti geologico-deposizionali per i continui apporti di materiale piroclastico dalle fasi eruttive. E' noto che per la valutazione delle modalità di trasporto in alveo si fa riferimento al Numero di Melton (M), costituente un indice dell'acclività del bacino:

$$M = \frac{(H_{max} - H_{min})/1000}{\sqrt{A}}$$

Dove H_{max} è l'altitudine massima nel bacino (m), H_{min} è l'altitudine minima nel bacino, corrispondente alla quota dell'apice del conoide (m) e A è l'area del bacino (km²).

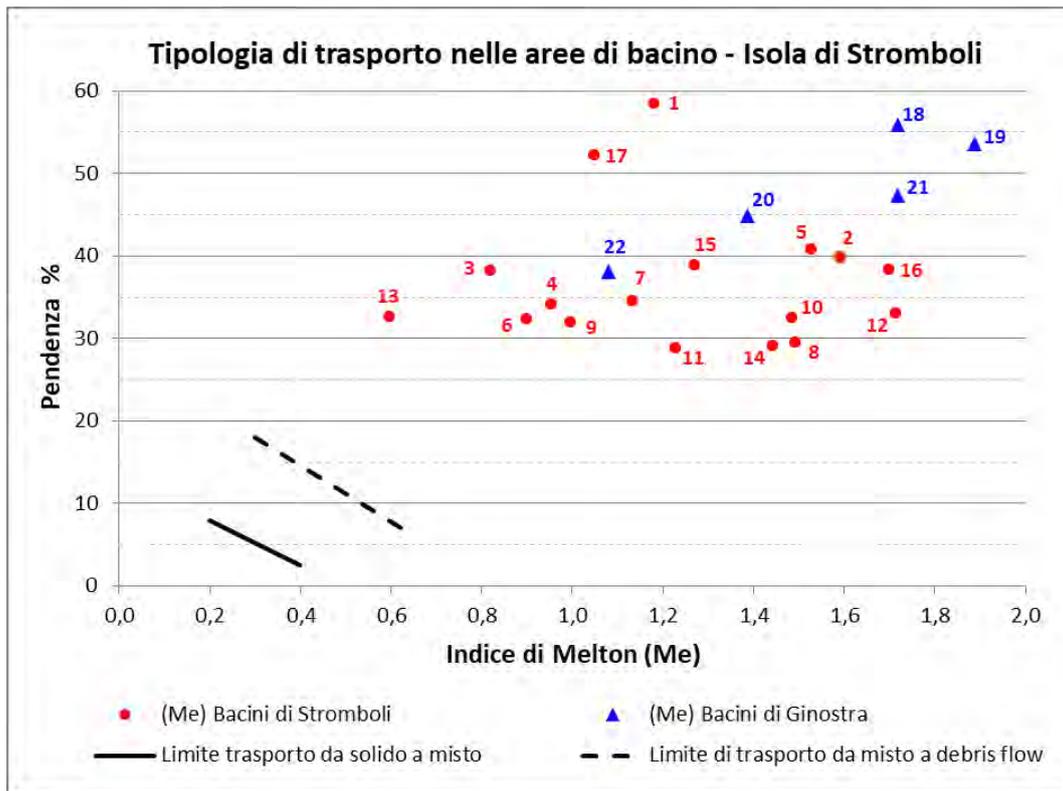


Fig. 11 - Grafico di correlazione tra Pendenza e Numero di Melton, indicativo per la caratterizzazione della tipologia di trasporto e deposito in alveo.

Nel grafico viene rappresentata la relazione fra pendenza del conoide e il numero di Melton, con indicazione della linea che separa conoidi da colata detritica da conoidi edificati da trasporto solido fluviale (da Bertrand et al., 2013).

Il grafico mostra chiaramente che per $Me > 0.5$, il bacino è a rischio di debris flow, infatti considerando i valori di inclinazione e gli indici di Melton dei 22 bacini idrografici oggetto di studio, questi si configurano con una modalità di trasporto da Debris flow in un contesto morfologico di elevata energia di rilievo.

Lo studio delle caratteristiche idrografiche dei bacini ha fornito i parametri per il calcolo dei Tempi di corruzione consentendo di stimare il "ritardo di concentrazione" a scala di bacino attraverso alcune formule empiriche molto utilizzate nella pratica professionale.

Il calcolo si basa su alcuni dati geomorfologici del bacino idrografico e forniscono in output "il tempo, espresso in ore, che occorre alla generica goccia di pioggia caduta nel punto idraulicamente più lontano a raggiungere la sezione di chiusura del bacino".

La formula utilizzata è quella di Giandotti, modificata da Aronica e Paltrinieri per consentirne l'applicazione a bacini di piccole dimensioni (minori di 10 km²):

$$T_c = \frac{1}{M \cdot d} \cdot \sqrt{A_b} + 1.5 \cdot L_b$$

$$0.8 \cdot \sqrt{H_m}$$

dove: (M) caratterizza la tipologia del terreno di copertura individuato sulla seguente tabella:

| Tipo di copertura | M |
|-------------------------------------|----------|
| Terreno nudo | 0,667 |
| Terreni coperti con erbe rade | 0,25 |
| Terreni coperti da bosco | 0,2 |
| Terreni coperti da prato permanente | 0,167 |
| Permeabilità | d |
| Terreni semi-permeabili | 1,27 |
| Terreni poco permeabili | 0,96 |
| Terreni mediamente permeabili | 0,81 |
| Terreni molto permeabili | 0,69 |

Tab. 1

Per il presente studio considerando le quote maggiori degli alvei in rapporto alla vegetazione si è scelto per (*M*) il valore 0,2 corrispondente a “terreno coperto da bosco”. In effetti, il parametro scelto, media le due tipologie più presenti sull’isola cioè “*terreni coperti con erbe rade*” e “*terreni coperti da prato permanente*” più corrispondente alla macchia mediterranea.

Il secondo parametro (*d*) caratterizzante la formula è quello relativo alla permeabilità, che per la natura dei terreni piroclastici in studio e per l’alterazione presente in superficie può essere assunto pari al valore 0,96 corrispondente ai “*Terreni poco permeabili*”.

I restanti parametri della formula si ottengono dalla morfometria dei bacini.

Nella seguente tabella si riportano le risultanze del calcolo dei tempi di corrivazione in minuti:

| Bacini Idrografici STROMBOLI | Tc [mn.] | Bacini Idrografici STROMBOLI | Tc [mn.] | Bacini Idrografici GINOSTRA | Tc [mn.] |
|------------------------------------|-------------|------------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|
| 1 | 9 | 10 | 23 | 18 | 19 |
| 2 | 19 | 11 | 21 | 19 | 21 |
| 3 | 16 | 12 | 16 | 20 | 15 |
| 4 | 14 | 13 | 13 | 21 | 14 |
| 5 | 20 | 14 | 15 | 22 | 26 |
| 6 | 13 | 15 | 12 | | |
| 7 | 28 | 16 | 12 | | |
| 8 | 25 | 17 | 10 | | |
| 9 | 31 | | | | |

Tab. 2

I parametri sopra analizzati possono essere significativi per la pianificazione di emergenza in ambito di Protezione Civile.

9. IPOTESI DI IMPATTO DEGLI EVENTI ALLUVIONALI DEL 2022 E 2024 CON LE AREE ANTROPIZZATE DELL’ISOLA

La cronaca degli eventi alluvionali degli ultimi anni ha evidenziato la maggiore pericolosità e rischio reale per 6 bacini su 22, di cui 4 a monte dell’abitato di Stromboli e 2 per Ginostra.

Risulta confermato che la già rilevata morfologia territoriale a facce triangolari (Fig. 10 a,b) ha condizionato la forma delle aree bacinali che, di fatto, risultano più allungate nel settore centrale e più limitate spostandosi verso gli spartiacque periferici.

Le evidenze di ciò si riscontrano negli alvei San Bartolo (n.7) e nel Montagna Russo (n.8) che raggiungono quote superiori agli 800 m slm e negli alvei a monte della località San Vincenzo (n.10 e 12) con quote all'apice tra 750 e 850 m slm.

Sono proprio questi alvei (Fig. 12) che in seguito alle esondazioni del periodo 2022 – 2024, hanno riversato detriti, massi e fango sulle aree abitate.

I bacini a monte di Ginostra con problematiche idrauliche con maggiore impatto sull'antropico sono il numero 21 e 22 (Fig. 13).

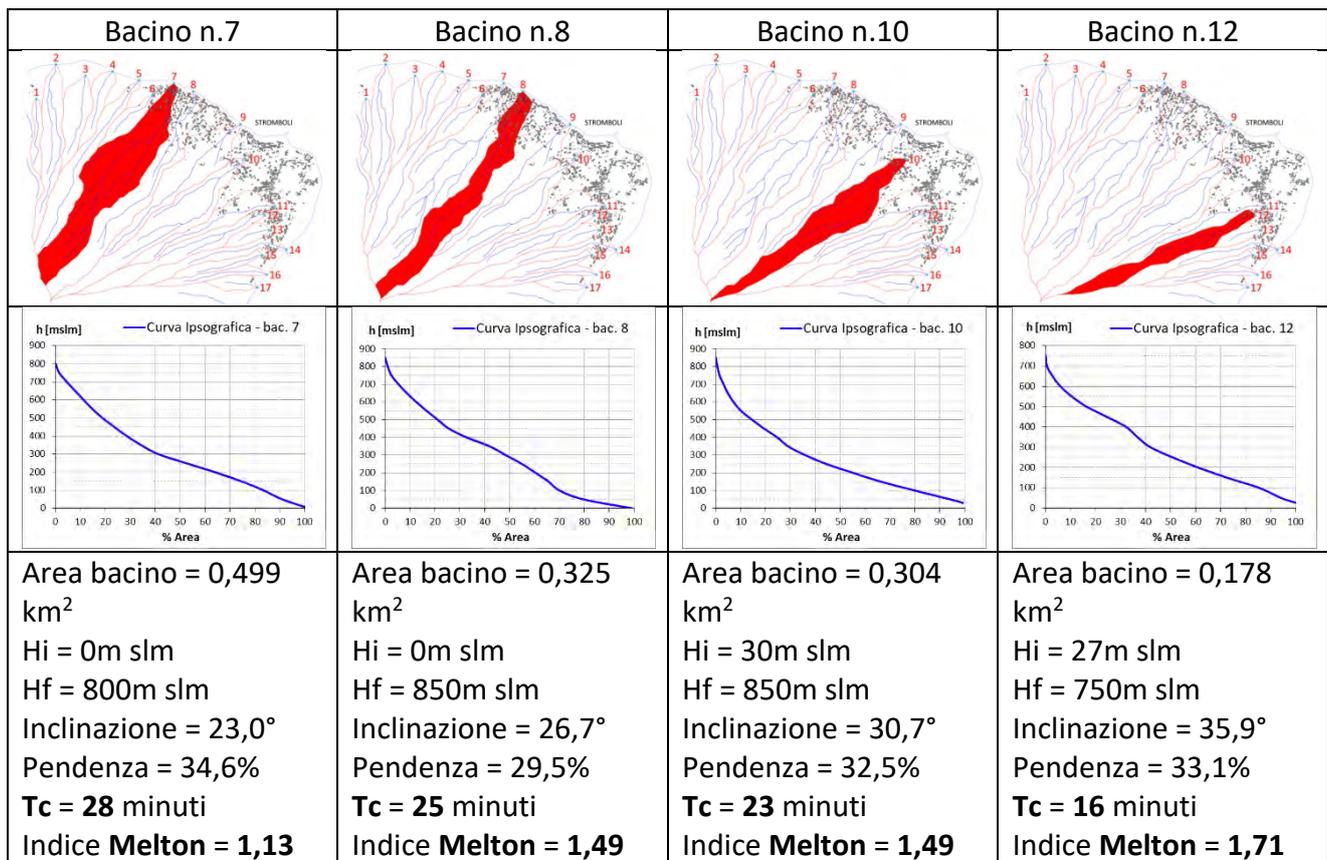


Fig. 12 - Studio morfometrico dei bacini idrografici esondati a monte dell'abitato di Stromboli

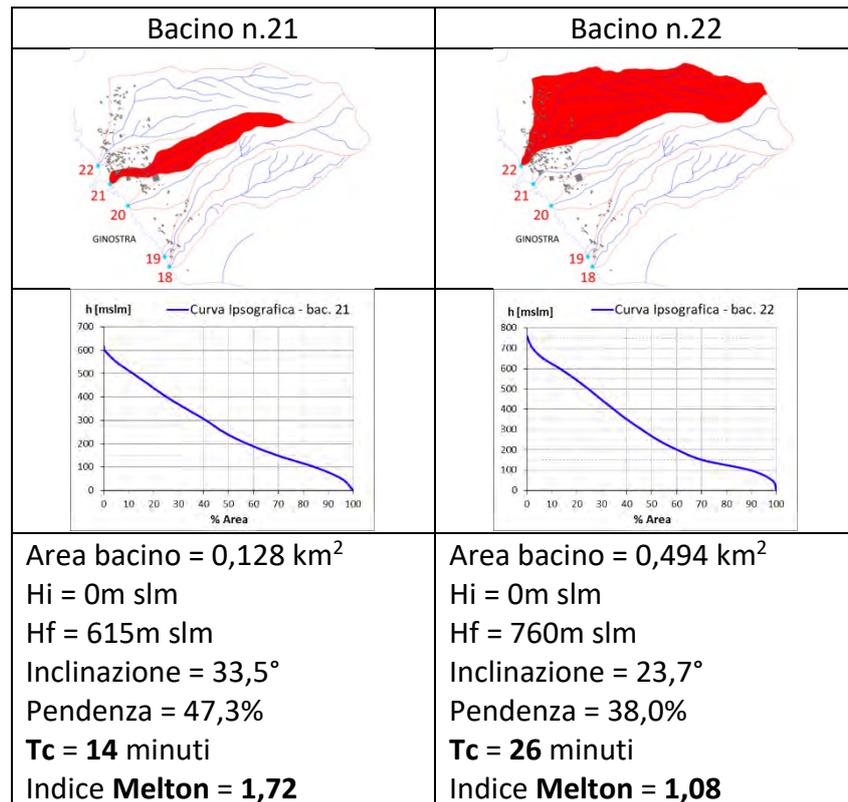


Fig. 13 - Studio morfometrico dei bacini idrografici esondati a monte dell'abitato di Ginostra

Per affrontare meglio la problematica idrologica è stata presa in considerazione prevalentemente l'interazione tra le componenti naturali (alvei, pendenze, aspetti geologici e geomorfologici) e antropiche (strade, edificato, etc..). Ovvero, i punti di interazione sono quelli in cui l'elemento naturale incontra l'elemento antropico, come nel caso di sezioni di sbocco di aree di bacino direttamente in area urbanizzata, o nei casi in cui le linee di deflusso confluiscono su strade trasformandole in alvei-strada. In queste condizioni l'elemento antropico modifica il naturale deflusso delle acque incanalando le stesse su percorsi condizionati da elementi strutturali (muri, cordoli stradali, etc..), con fondo impermeabilizzato (strade e viottoli) e conseguente aumento della velocità e dell'energia di trasporto. detrito e fango.

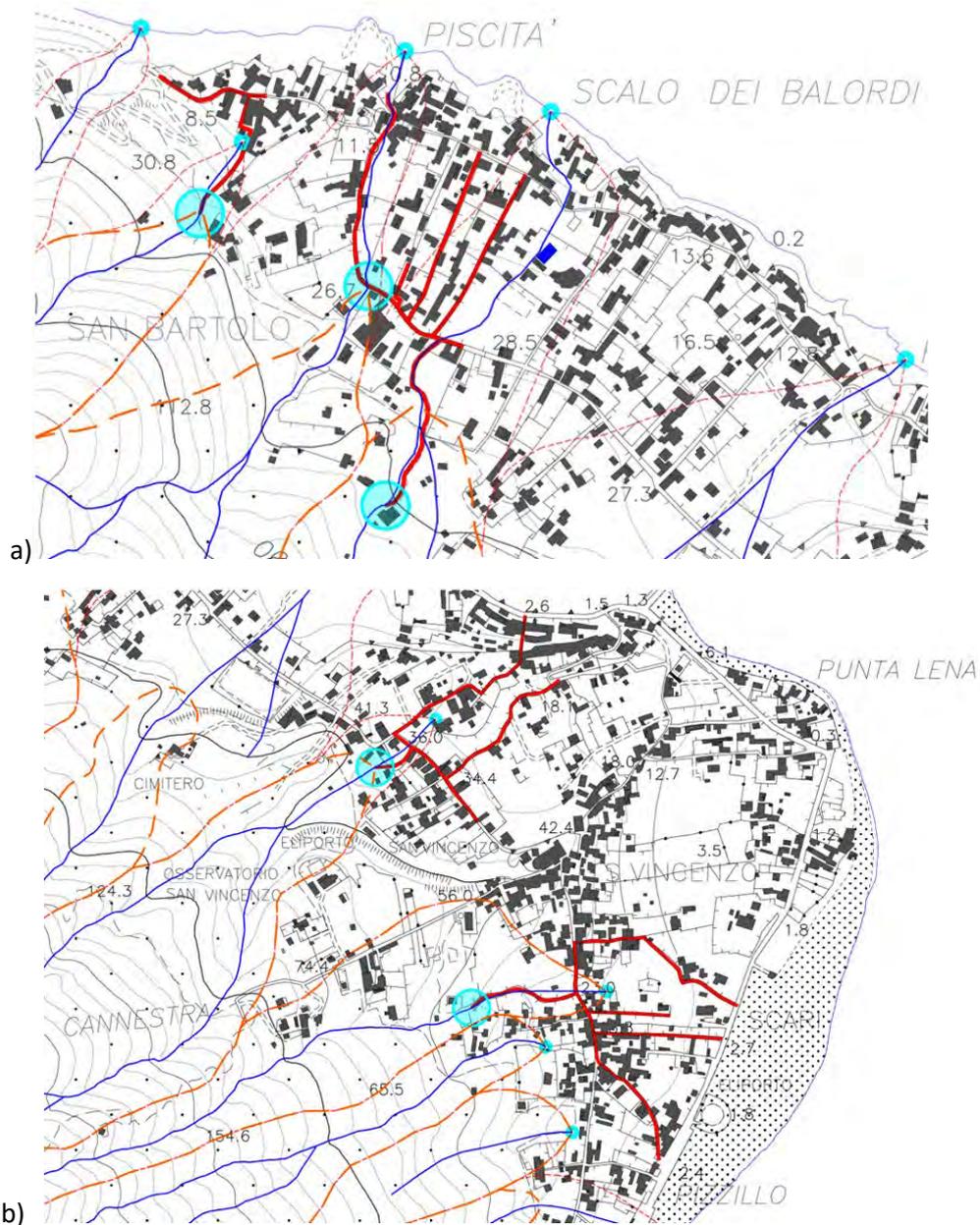


Fig. 14 – Ipotesi di possibili aree alluvionate a Stromboli: a) S. Bartolo e b) S. Vincenzo

In mancanza di una aggiornata mappa di dettaglio delle aree alluvionate dei due centri abitati dell'isola, sono state formulate le seguenti ipotesi sulla dinamica degli impatti delle colate di fango sull'antropizzato.

- Per Stromboli, nella zona di San Bartolo sono stati valutati i punti di interazione tra gli alvei a monte e le strade indicate nella figura con dei grandi cerchi di colore ciano. Da questi punti le acque di deflusso esondando si sono riversate sulla viabilità locale (indicata in rosso) in maniera incontrollata causando danni in seguito al trasporto di detrito e fango (Fig.14a).

Situazione analoga, probabilmente, si è verificata nella zona di San Vincenzo situata nell'area a sud dell'abitato (Fig.14b) dove le sezioni di sbocco dei due alvei sono nel centro abitato e i deflussi idrici si incanalano in alvei-strada con le stesse conseguenze riscontrate a San Bartolo. Per Ginostra, la zona alluvionata dell'abitato è stata presumibilmente quella riportata in Fig. 15.

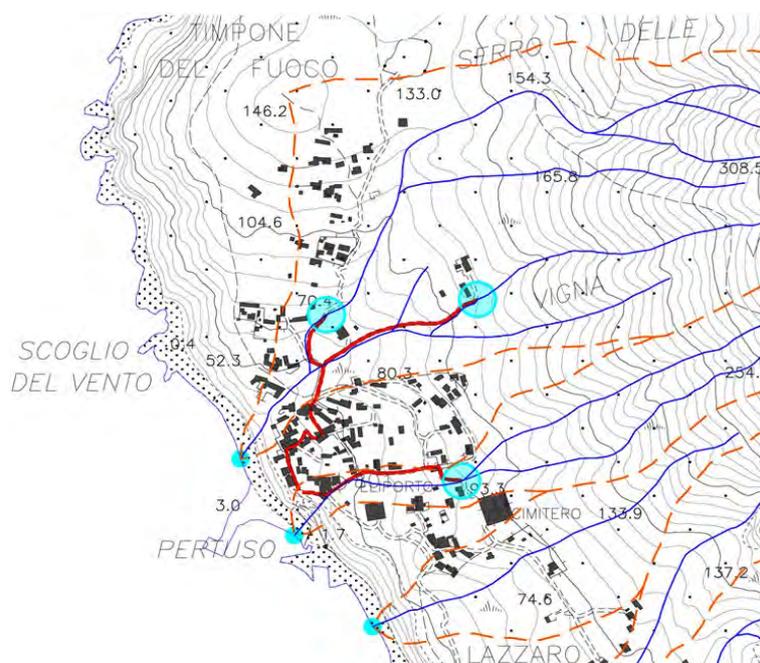


Fig. 15 - Ipotesi sulle possibili aree alluvionate dell'abitato di Ginostra

E' opportuno ribadire che le formulazioni sopra riportate riguardanti l'estensione delle aree alluvionate dei due centri abitati dell'isola, costituiscono allo stato risultati dello studio teorico qui esposto e delle ipotesi di lavoro riportate. Solo in seguito all'acquisizione di precise informazioni e studi anche sperimentali sul campo sar  possibile avere un quadro di conoscenze realistico e affidabile.

Infatti l'individuazione delle linee progettuali teoriche qui sopra riportato, allo stato abbastanza limitato delle conoscenze e del rilievo delle situazioni locali effettive su cui   basata, lungi dal presumere di assumere un carattere esecutivo, ha bisogno di ben pi  ampie conoscenze e di fini e dettagliati rilievi delle situazioni particellari dell'effettivo costruito e dei loro confini reali, per tradursi in un percorso di intervento concreto e cantierabile.

10. INTERVENTI TESI ALLA MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO

Si considerano due tipologie di intervento finalizzate a ridurre l'energia dei deflussi e a contenere gli stessi in percorsi preferenziali a protezione degli abitati di Stromboli e Ginostra.

1) La prima tipologia prevede una sistemazione delle aree a monte dei bacini che raggiungono quote superiori ai 500 m con deflussi che iniziano sul cono vulcanico semipermeabile con scarsa o nulla vegetazione. La finalit    quella di attenuare l'energia cinetica delle acque acquisita in discesa dal cono vulcanico.

L'intervento prevede la sistemazione a terrazzi degli impluvi torrentizi operando con strutture a secco utilizzanti tecniche di ingegneria naturalistica e contemporaneamente con limitati movimenti di terra sul bordo interno in modo da spianare le aree lungo le linee di impluvio. Le quote degli interventi per ogni alveo sono quelle del cambio di pendenza alla base del cono vulcanico.

Un esempio pilota è quello rappresentato in Figura 16 sul profilo reale dell'alveo San Bartolo a monte dell'abitato di Stromboli

Successivamente sfruttando la fertilità del terreno, si procederà all'impianto di specie autoctone per la ri-vegetazione delle aree terrazzate.

Nei casi in cui si rilevassero antichi terrazzamenti si dovrà procedere al loro ripristino e manutenzione.

L'estensione dell'intervento (1) lungo l'alveo e le modalità esecutive debbono essere oggetto di valutazione locale mediante sopralluoghi e su una base topografica di maggior dettaglio.

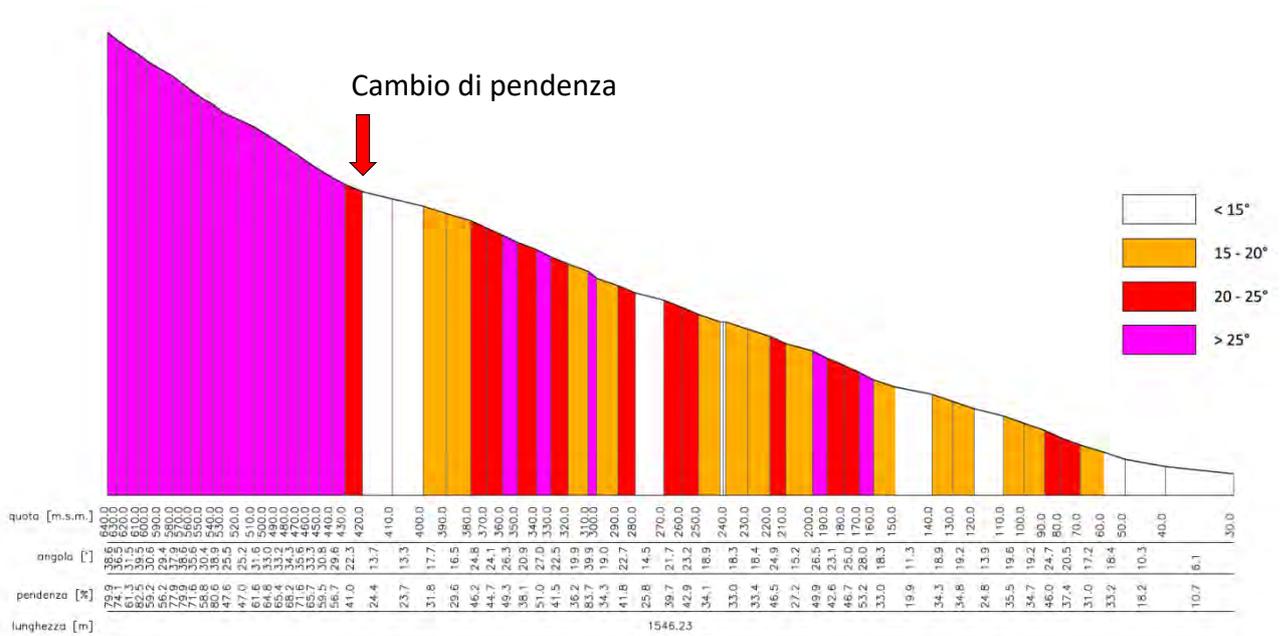
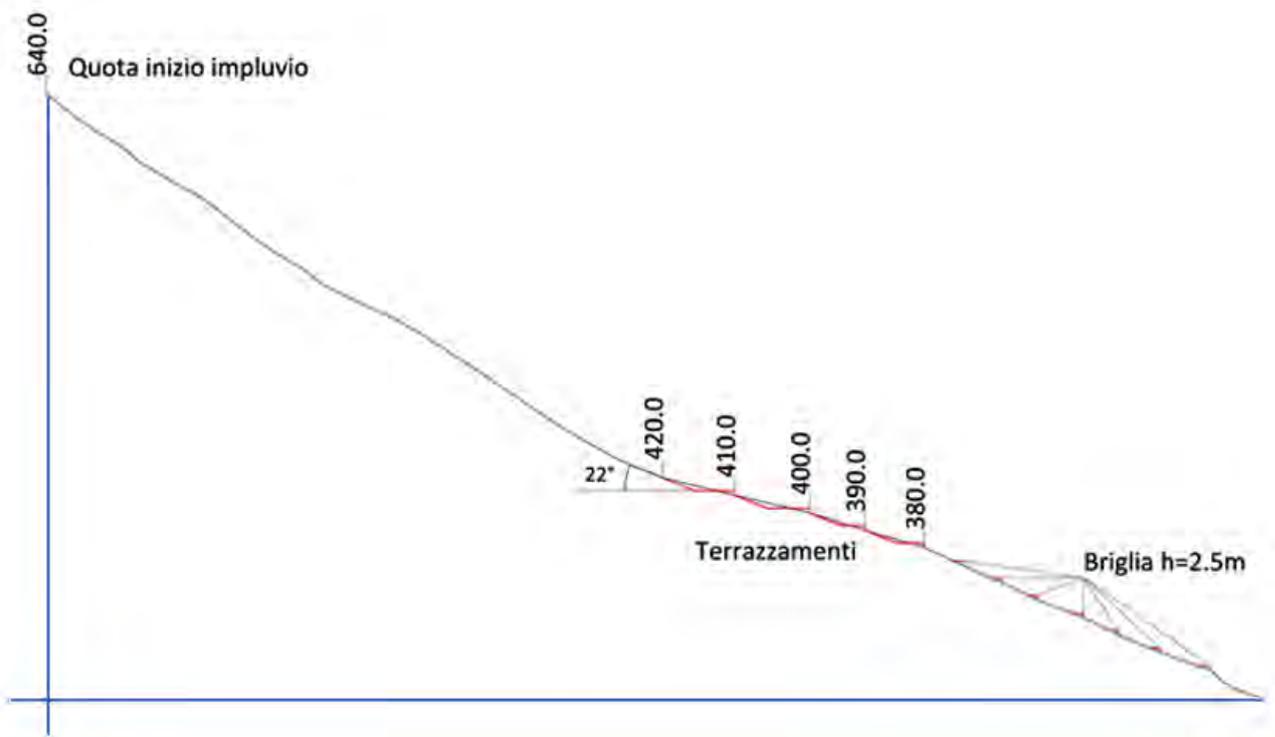
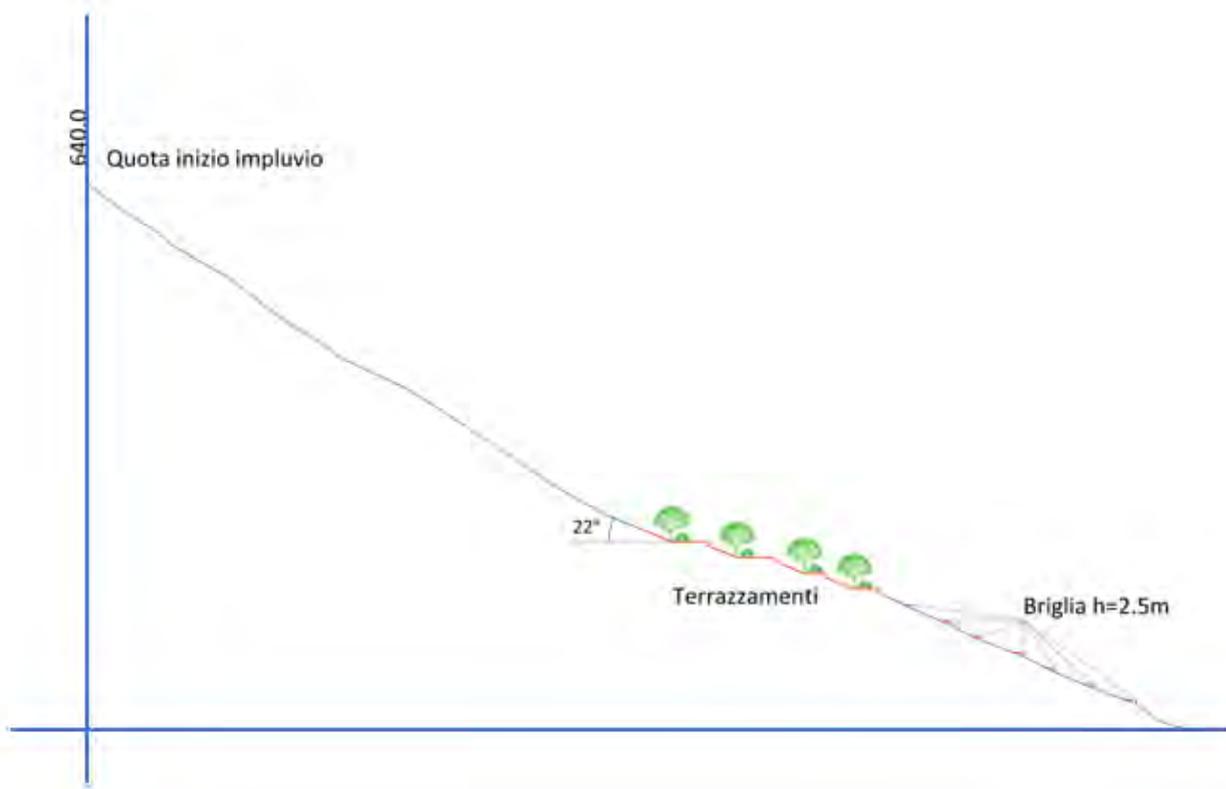


Fig. 16 - Profilo reale dell'alveo San Bartolo su base topografica in scala 1:10.000, con fasce di pendenza



a)



b)

Fig. 17 – Ipotesi di intervento con terrazzamenti e briglie in alveo a) – aree di rivegetazione b)

2) L'intervento è finalizzato alla canalizzazione dei deflussi a bassa percentuale della frazione solida (Fig. 18). Il fine principale è quello di intercettare a monte dell'abitato le incisioni torrentizie evitando che le acque si incanalino su alvei strada riversandosi tra case e viottoli.

Si prevedono canalizzazioni effettuate con movimenti di terra con una larghezza variabile in base al numero di alvei che vengono intercettati. Gli argini devono necessariamente essere progettati con tecniche di ingegneria naturalistica e se opportuno anche il fondo canale.

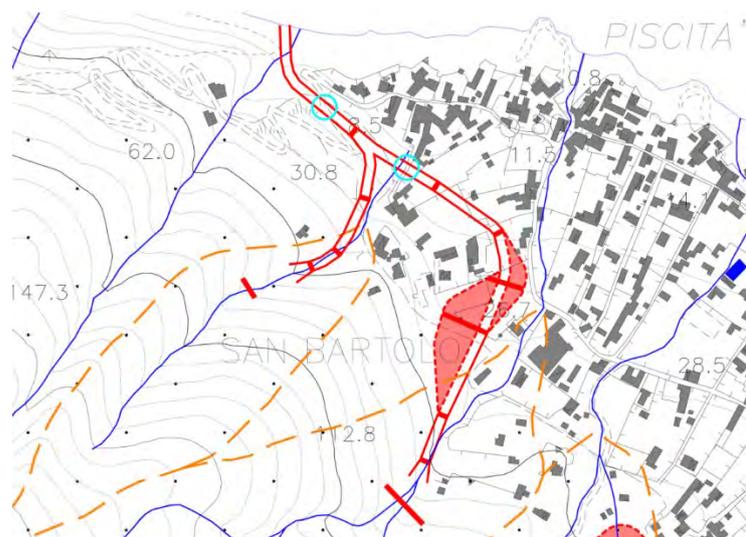
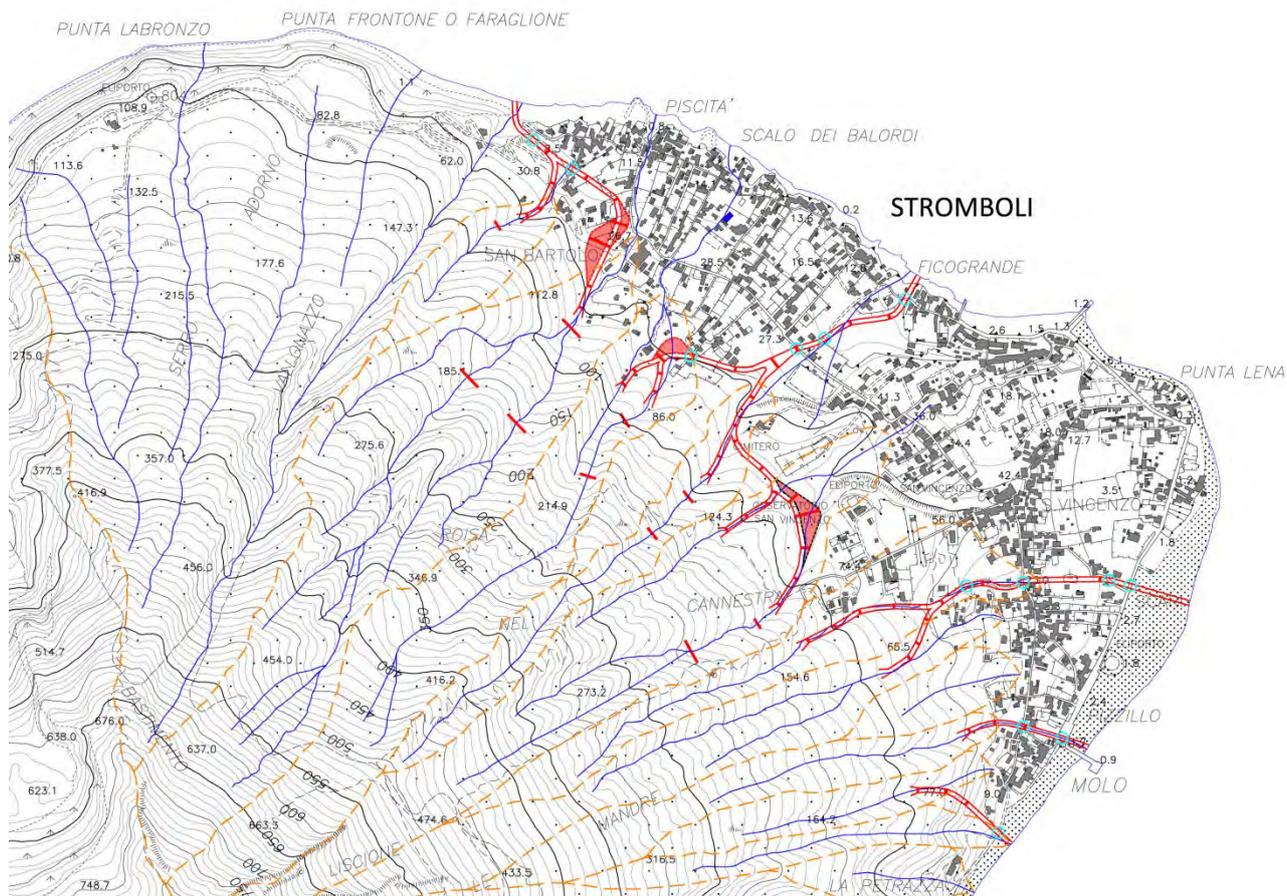


Fig. 18 – Ipotesi dell'intervento di canalizzazione dell'alveo San Bartolo

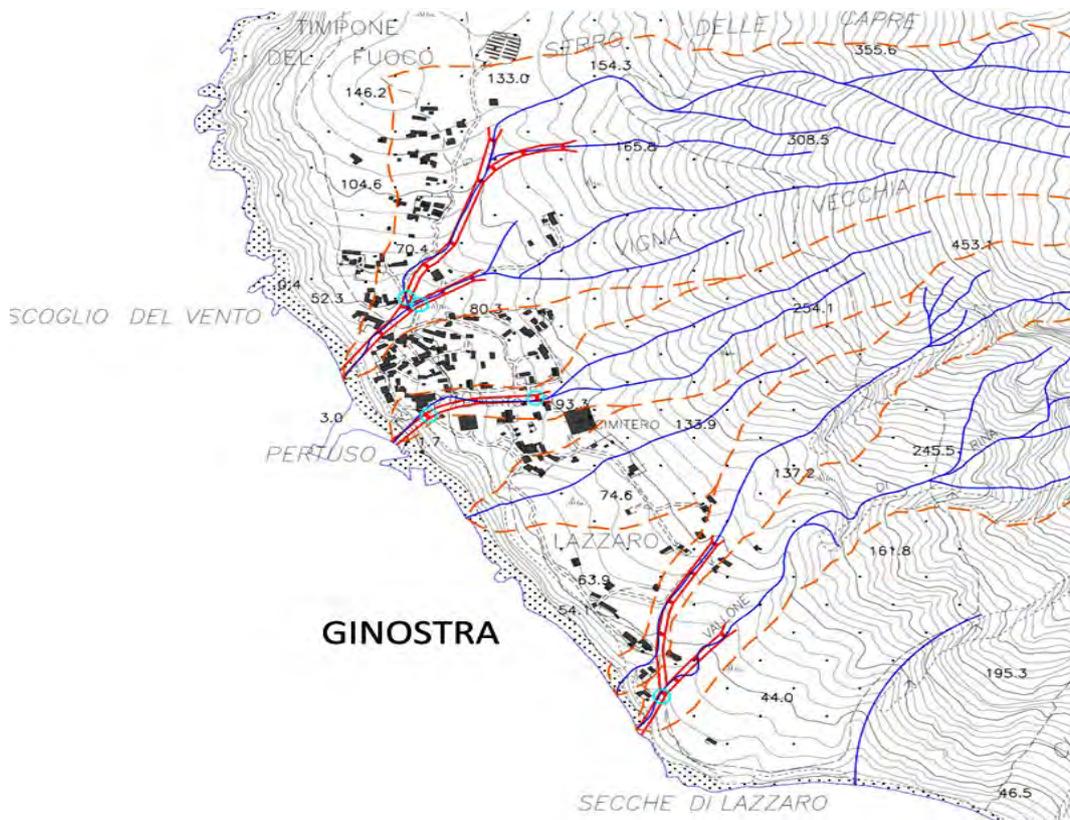
Continuando sull'esempio pilota dell'alveo San Bartolo si prevede la seguente sistemazione, nella quale le traverse in rosso rappresentano delle briglie già previste nell'intervento **1)**, mentre le aree in rosso sono vasche di calma per la sedimentazione di volumi di materiale non trattenuti dal primo intervento. I cerchi di colore ciano infine, indicano i punti critici di intersezione con la viabilità dove è opportuno valutare una soluzione tipo scatolare o una sopraelevazione della strada.

Nella rappresentazione la canalizzazione ha una larghezza pari a 10m che nella zona di intercettazione dell'alveo si allarga fino a 20m.

Di seguito vengono presentati gli schemi di mitigazione idraulica a monte dell'abitato di Stromboli e Ginostra:



a)



b)

Fig. 19 – Intercettazione e canalizzazione degli alvei a monte degli abitati di Stromboli a), e a monte dell'abitato di Ginostra b).

11. LA POSSIBILE MITIGAZIONE “A BREVE” DEL RISCHIO DA COLATE DI FANGO SULLO STROMBOLI

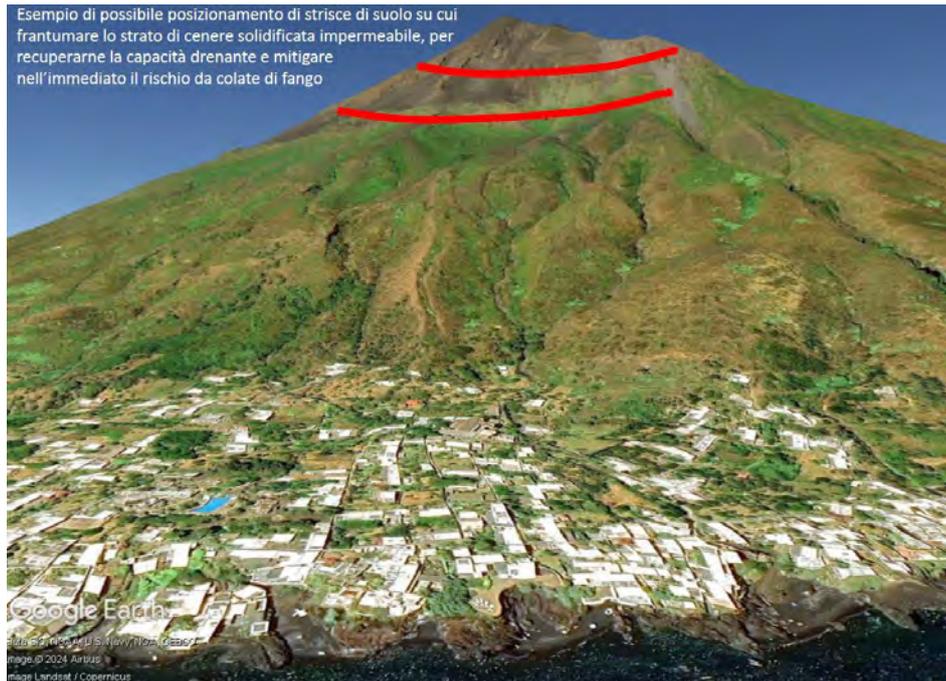
A seguito delle analisi idrologiche esposte nei paragrafi precedenti del presente rapporto, e dello studio delle caratteristiche morfometriche dei bacini dell'isola di Stromboli riportate nell'Allegato 2, si ritiene opportuno riprendere qui il nucleo della proposta operativa contenuta per esteso nel lavoro *“Una proposta operativa per la possibile mitigazione del rischio da colate di fango sullo Stromboli”* già pubblicato da Giuseppe Rolandi e Luciano Nunziante il 20.12.2024 come Research Proposal su *ResearchGate* con DOI 10.04131/RG.2.2.16776.86735, in quanto costituente una proposta emergenziale per la mitigazione “a breve” del rischio da colate di fango e detriti sullo Stromboli, per effetto delle piogge che potranno verificarsi nel periodo Gennaio-Marzo 2025.

Da osservazioni effettuate sul campo, e da colloqui e notizie raccolte a Stromboli nella recente emergenza, si è potuto accertare che al disotto dello strato di cenere solidificata e impermeabile formatosi in superficie, gli strati sottostanti di materiali piroclastici sciolti derivanti da precedenti eruzioni, di colore nero e di grana grossolana (sabbie e ghiaie) sono per loro natura molto assorbenti e drenanti delle acque meteoriche, circostanza questa confermata dalle analisi eseguite da ricercatori del presente gruppo di ricerca su campioni classificati.

Questa situazione suggerisce un rimedio abbastanza semplice e speditivo da applicare per attenuare nell'immediato il rischio connesso con la formazione di colate di fango: quello di frantumare la parte superiore solidificata delle ceneri sul cono vulcanico dove hanno inizio le colate, e inoltre determinare ivi delle strisce, della larghezza di qualche metro, sulle quali venga frantumata la cenere solidificata, che costituiscano barriera drenante in quota per le nascenti colate di fango.

Queste barriere realizzate in zone opportunamente scelte, possono essere eseguite con relativa semplicità, con l'osservazione di opportune misure di sicurezza, da personale qualificato e autorizzato, o manualmente o anche con piccoli mezzi meccanici, in dipendenza della configurazione dei siti.

In figura si rappresenta, a titolo puramente esemplificativo della proposta, una possibile allocazione di queste strisce-barriere drenanti. Questo intervento necessita di attenta valutazione delle portate in gioco e della capacità di assorbimento risultante, ma potrebbe essere adottato nell'immediato con relativa semplicità anche in via sperimentale in zone limitate, sotto il controllo e monitoraggio di tecnici preposti, allo scopo di verificarne l'efficacia in occasione delle prossime piogge più consistenti.



E' necessario qui notare che il rimedio speditivo proposto ha piena validità solo nel breve periodo, rispetto a eventi pluviometrici prossimi particolarmente temuti, ma potrebbe essere reso completamente vano a seguito di futuri eventi vulcanici capaci di creare di nuovo strati di ceneri solidificate impermeabili.

In conclusione di questa "proposta operativa" intesa di tipo "emergenziale", si ritiene opportuno ribadire che la via maestra per la riduzione del rischio da colate di fango in un sito dalle caratteristiche ambientali eccezionali riconosciute nell'ambito della Comunità Europea come quelle di Stromboli, rimane quella degli interventi di ingegneria naturalistica e del recupero ambientale basati su inerbimento, rinverdimento, rimboschimento, sistemazione disgaggio e risagomatura dei versanti instabili, oltre che quello della continua manutenzione e rafforzamento delle opere idrauliche, così come la rimozione e il riutilizzo dei materiali trasportati e depositi.

12. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SULLA MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO

Lo studio qui proposto è nato dall'esigenza di comprendere i caratteri dei recenti fenomeni eruttivi dello Stromboli ed è mirato a delineare linee di intervento e progettazione idonee a fronteggiare le emergenze alluvionali che hanno interessato i centri abitati dell'isola di Stromboli negli ultimi anni, in rapporto alle quali concorrono, non solo i cambiamenti climatici in atto, ma anche la continua attività vulcanica con le sue molteplici manifestazioni. Tutto ciò ha certamente alterato gli equilibri naturali sull'isola, producendo di fatto un'intensificazione dell'impatto sull'antropico. A tal fine, è stata elaborata una carta clivometrica tesa alla determinazione delle pendenze, idonea alla caratterizzazione dei versanti a monte degli abitati di Stromboli e Ginostra.

Sugli stessi versanti, quindi, sono state delimitate le aree dei 23 bacini idrografici su cui è stata svolta un'analisi morfometrica, determinando la tipologia di trasporto in alveo e i rispettivi

tempi di corrivazione. L'impatto sull'antropico è stato valutato dalla posizione delle sezioni di sbocco di ogni singolo alveo e dall'interazione con la viabilità.

Dallo studio generale sono stati stralciati quelli relativi ai 4 alvei a monte dell'abitato di Stromboli e ai 2 alvei a monte di Ginostra, oggetto di ripetute segnalazioni diffuse dai media per le loro problematiche idrauliche, con connessi ripetuti fenomeni di esondazione.

Da tali alvei, infatti, provengono i principali fattori di rischio per cose e persone, in quanto essi presentano sezioni di sbocco che interagiscono con la viabilità, trasformandola in alvei-strada.

Appare, in tal senso, evidente il ruolo della geometria dell'edificato che contribuisce in alcuni casi ad amplificare il fenomeno alluvionale in quei punti - vicoli o strettoie- in cui la sezione passante tra due manufatti diminuisce provocando l'aumento di livello e velocità della colata detritica.

In merito a questa problematica è il caso di notare che, essendo state attivate a tutt'oggi misure poco efficaci per la prevenzione del rischio idrogeologico, si ritenga particolarmente utile analizzare le cause più importanti che predispongono le due aree abitate di Stromboli ai fenomeni alluvionali, considerandole, come detto, anche in rapporto alla loro interazione con l'attività vulcanica.

Tale analisi è stata poi finalizzata ad ipotizzare le azioni tese alla mitigazione del rischio idrogeologico di Stromboli e Ginostra precedentemente riportate. Le azioni vertono, in particolare, sulla limitazione del carico solido del deflusso idrico in alveo a monte degli abitati e su interventi per canalizzare la componente più fluida fino allo sbocco in mare, evitando nei limiti del possibile l'attraversamento dell'edificato.

E' il caso di ribadire in chiave conclusiva, che l'efficacia di quanto acquisito, analizzato e ipotizzato in termini di soluzioni è legata al dettaglio della base topografica e all'aggiornamento della stessa, pertanto la scala di riduzione utilizzata (1:10.000) costituisce sicuramente una limitazione operativa in termini di elaborazione e interpretazione dei risultati.

Per quanto riguarda l'impatto sull'antropico le uniche informazioni acquisite sono state quelle delle cronache dei fatti accaduti.

Rielaborare lo studio sulla base della perimetrazione delle aree alluvionate dei punti di innesto reali degli alvei sugli alvei strada e delle aree bacinali maggiormente coinvolte potrà sicuramente fornire maggiori e più precise indicazioni su dove e come intervenire in maniera efficace.

Il presente lavoro pur con limitazioni dovute alla qualità e quantità dei dati di partenza costituisce una base di riferimento per ulteriori acquisizioni di conoscenze più precise, finalizzate all'elaborazione di uno studio più dettagliato, necessario per la realizzazione di misure atte alla salvaguardia dal rischio idrologico-idraulico degli abitati di Stromboli e Ginostra, ormai non più procrastinabile.

BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE E INFORMAZIONI

Beccaluva L., Gabbianelli G, Lucchini F, Rossi P.L., Savelli C.(1985). Petrology and K/Ar ages of volcanics dredged from the Eolian seamounts: implications for geodynamic evolution of the southern Tyrrhenian basin. *Earth and Planetary Science Letters*. Volume 74, Issues 2–3, July 1985, Pages 187-208.

Bertrand M, Liébault F, Piégay H - Debris-flow susceptibility of upland. Catchments. *Natural Hazards*, **2013** – Springer

Borghetti M.(2018) Analisi di pericolosità vulcanica e risposta sismica dell'Isola di Stromboli. Università di Bologna

Francalanci L., Lucchi F., Keller J., De Astis G., Tranne C. A. (2013). Chapter 13 Eruptive, volcano-tectonic and magmatic history of the Stromboli volcano (north-eastern Aeolian archipelago). Geological Society, London.

Lucchi F; Keller J.; De Astis G.; Francalanci L.; Tranne C. (2013). Geological map of Stromboli, scale 1:10,000 (Aeolian archipelago). 5a - Carte tematiche/geografiche.

E.Lucibello, G.Perrella, P.Petrosino, M.Fraldi, L.Fergola, L.Lirer, L.Nunziante. "La distruzione di Oplontis: relazione tra le fasi dell'eruzione del 79 d.C. e i danni rilevati nella villa di Poppea". *Rivista di Studi Pompeiani*. E148464. ISSN 1120-3579. Marzo, 2005.

Melton M. A. (1958) - Correlation structure of mature drainage systems and their representation in an E4 phase space. *Journ. Geol.* , 66, 35-56, 3 tabb ., 7 fl.

Peccerillo A., De Astis G., Faraone D., Forni F.and. Frezzotti M.L (2013). Petrogenesis and geodynamics Chapter 15 Compositional variations of magmas in the Aeolian arc: Geological Society, London, Memoirs doi: 10.1144/M37.15 Geological Society, London, Memoirs 3, v.37; p491-510.

Romagnoli C., Casalbore D., Bortoluzzi G. (2013). Bathymorphological setting of the Aeolian Islands..Geological Society, Lyellcollection.org

Nunziante, L., Fraldi, M., Lirer, L., Petrosino, P., Scotellaro, S., Cicirelli, C. "Risk assessment of the impact of pyroclastic currents on the towns located around Vesuvio: a non-linear structural inverse analysis". *Bulletin of Volcanology*. ISSN: 0258-8900.V.65, 547-561, nov.2003.

Nunziante L., Gesualdo A., Minutolo V. "Local collapse in soft rock bank cavities". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. ASCE American Society of Civil Engineers.December 2001. Dec. 2001. ISSN: 1090-0241. VOL.127 NO.12, pp 1037-1042.

Nunziante L., Gesualdo A., Minutolo V. "Failure in Mohr-Coulomb soil cavities". *Canadian Geotechnical Journal* .CNRC. ISSN: 0008-3674.Vol.38,N.6,Dec.2001.pp.1314-1320.

Rosi M., Pistolesi M., Bertagnini A., Landi P., Pompilio M., Di Roberto A. (2013). Chapter 14 Stromboli volcano, Aeolian Islands (Italy): present eruptive activity and hazard. Geological Society, London.

M.Fraldi, L.Nunziante, A.Gesualdo, F.Guarracino. ON THE BOUNDING OF LIMIT MULTIPLIERS FOR COMBINED LOADINGS. *Proceedings Royal Society A*. (February 2010) Vol.466, no. 2114, pgs. 493-514. DOI:10.1098/ rspa.2009.0240. Published online 21 October 2009.

Schmincke H.U. (2004) *Volcanism*. Springer Science & Business Media, - 324 pagine

Wohletz, K.H., Zimanowski, B., Büttner, B.R..(2013). Magma-water interactions. in *Modeling Volcanic Processes: The Physics and Mathematics of Volcanism* (Fagents, S.A., Gregg, T.K.P., Lopes, R.M.C. eds.) 230–257. Cambridge University Press.

Giuseppe Rolandi, Luciano Nunziante. "Una proposta operativa per la possibile mitigazione del rischio da colate di fango sullo Stromboli". Research Proposal – *ResearchGate*, DOI 10.04131/RG.2.2.16776.86735.

INGV-Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia- Osservatorio Etneo – Sezione di Catania, Italia

INGV- Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia- Sito web Stromboli eventi.

Nunziante, L. (2008). Elementi di Plasticità e Analisi Limite, in Nunziante, L., Gambarotta, L., Tralli, A. Scienza delle Costruzioni. (pp. 597-677). ISBN: 978-88-386-6378-9. McGraw-Hill (Italy).

Pro Loco Amo Stromboli APS, Presidente Dott. Rosa Oliva, Stromboli, Italia. Notizie e documentazioni.

L.Nunziante, G.Rolandi . Observations on recent Stromboli activities and their effects. ResearchGate preprint di consultazione pubblica. DOI: 10.13140/RG.2.2.16776.53768. 14.12.2024

Giuseppe Rolandi, Massimo Di Lascio, Orazio Colucci, Giovanni Bortoluzzi, Roberto Rolandi. Il controllo morfologico dei bacini idrografici del versante settentrionale dell'Epomeo sulla dinamica della colata detritica che ha invaso l'abitato di Casamicciola nel novembre 2022. Geologia dell'Ambiente. SIGEA – APS. N. 4/2023. Anno XXXI. Ottobre-Dicembre 2023.

Guide Magmatrek Stromboli per le preziose informazioni, foto e campioni prelevati.

Allegato 1

Analisi chimico-fisico-meccaniche sui caratteri delle ceneri, dei prodotti depositati e del “crostone” di recente formazione a monte degli abitati di Stromboli e Ginostra

1. Analisi chimiche per la determinazione di anioni, cationi, durezza totale e del contenuto di metalli sull'eluato in acqua tramite cromatografia ionica e spettrometria di massa interfacciata ad una sorgente al plasma per la determinazione dei metalli.

A cura di Gabriella Di Natale, Alessandra Marano, Clorinda Salvi, Marco Trifuoggi.

I campioni di cenere prelevati dall'isola di Stromboli sono stati sottoposti ad analisi chimiche per la determinazione di anioni, cationi, durezza totale e del contenuto di metalli sull'eluato in acqua.

Inoltre, sono stati determinati tutti gli elementi a seguito di digestione acida ossidativa totale.

Si riportano di seguito le metodiche adottate per le determinazioni analitiche e i risultati ottenuti.

Pretrattamento del campione.

Al fine di analizzare le ceneri, i campioni sono stati sottoposti a lisciviazione secondo la norma UNI EN 12457-2: 2004 “Caratterizzazione dei rifiuti-lisciviazione-prove di lisciviazione per rifiuti granulari e fanghi”.

I campioni sono stati preventivamente essiccati ad una temperatura di 105 °C. Successivamente è stato allestito il test di lisciviazione per il quale sono stati pesati 4g di campione, sospesi in 40g di acqua ultrapura (rapporto campione:lisciviante = 1:10), sottoposti ad agitazione per 24h alla velocità di 10rpm. Al termine delle 24h i campioni sono stati filtrati e sottoposti ad analisi in cromatografia ionica (risultati in Tabella 2 e Tabella 3); un'aliquota del campione, acidificata con HNO₃ u.p. è stata sottoposta ad analisi ICP-MS per la determinazione dei metalli (Tabella 4).

Per la determinazione dei metalli in ICP-MS, i campioni dopo essiccazione sono stati sottoposti a digestione acida ossidativa utilizzando un sistema di digestione a microonde MARS6-CEM secondo la seguente procedura:

circa 0,300 g di campione essiccato sono trasferiti in *vessel* in teflon e ad essi sono aggiunti 3 mL di HNO₃ u.p. (67-69% v/v); 3 mL di HCl u.p. (37% p/v) e 3 mL HF u.p. (48% v/v); Dopo circa 10 min i vessel sono stati chiusi e trasferiti al mineralizzatore. È stato selezionato il metodo “Coal Ash” a cui è associato il programma di seguito riportato (Tabella 1).

| Temperatura (°C) | Rampa (min) | Tempo di permanenza (min) | Pressione (psi) | Potenza (W) | Agitazione |
|------------------|-------------|---------------------------|-----------------|-------------|------------|
| 200 | 15:00 | 15:00 | 800 | 900-1050 | Off |

Tabella 1. Parametri utilizzati nel programma di digestione del metodo “Coal Ash”.

A seguito del raffreddamento, i campioni digeriti sono stati filtrati e portati ad un volume finale di 50 mL con acqua u.p.

Si è infine proceduto con l'analisi ICP-MS.

Analisi in cromatografia ionica.

I campioni di eluato filtrati sono stati analizzati secondo il metodo APAT CNR IRSA 4020 Man 29 2003 per la determinazione degli anioni, secondo il metodo APAT CNR IRSA 3030 Man 29 2003 per la determinazione dei cationi e secondo il metodo di prova APAT CNR IRSA 2040 A Man 29 2003 per la determinazione della durezza.

I risultati ottenuti sono di seguito riportati in Tabella 2 e Tabella 3.

| Sito | Br ⁻ | Cl ⁻ | F ⁻ | NO ₃ ⁻ | SO ₄ ²⁻ |
|------|-----------------|-----------------|----------------|------------------------------|-------------------------------|
| | (mg/Kg) | (mg/Kg) | (mg/Kg) | (mg/Kg) | (mg/Kg) |
| 1 | < 1 | 14,9 | 10,6 | < 10 | 399 |
| 2 | < 1 | 14,6 | 6,87 | < 10 | 119 |
| 3 | < 1 | 3620 | 46,7 | < 10 | 26640 |
| 4 | < 1 | 24,1 | 11,0 | < 10 | 926 |
| 5 | < 1 | 10,8 | 6,94 | < 10 | 396 |
| 7 | < 1 | 112 | 12,2 | < 10 | 4160 |
| 8 | < 1 | 96,2 | 11,5 | < 10 | 4010 |

Tabella 2 - Risultati delle analisi per la determinazione degli anioni sull'eluato mediante cromatografia ionica.

| Sito | Ca ²⁺ | Li ⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ | Durezza Totale dell'eluato (calcolo) |
|------|------------------|-----------------|------------------|----------------|-----------------|--------------------------------------|
| | (mg/Kg) | (mg/Kg) | (mg/Kg) | (mg/Kg) | (mg/Kg) | °F |
| 1 | 150 | < 0,03 | 9,58 | 21,2 | 20,8 | 4,13 |
| 2 | 33,3 | < 0,03 | 4,66 | 16,5 | 18,0 | 1,02 |
| 3 | 6520 | < 0,03 | 2720 | 501 | 2570 | 275 |
| 4 | 354 | < 0,03 | 7,87 | 22,3 | 27,6 | 9,16 |
| 5 | 142 | < 0,03 | 4,83 | 16,6 | 16,9 | 3,74 |
| 7 | 1680 | < 0,03 | 20,4 | 65,5 | 103 | 42,7 |
| 8 | 1700 | < 0,03 | 33,6 | 80,1 | 129 | 43,9 |

Tabella 3 - Risultati delle analisi per la determinazione dei cationi e della durezza totale sull'eluato mediante cromatografia ionica.

L'analisi condotta mediante ICP-MS, iCAP™ RQ ICP-MS, Thermo Fisher Scientific, è stata eseguita seguendo la procedura interna "POP.32.ACE.Determinazione degli elementi in tracce mediante ICP-MS" che fa riferimento alla norma UNI EN 16171:2016 – "Fanghi, rifiuti organici trattati e suolo - Determinazione di elementi mediante spettrometria di massa interfacciata ad una sorgente al plasma (ICP-MS)".

Ad ogni *batch* di campioni è stato associato un campione di *bianco reagente*, privo degli analiti di interesse.

Analisi per la determinazione dei metalli mediante ICP-MS.

I campioni mineralizzati sono stati analizzati secondo il metodo UNI EN 16171:2016 – Fanghi, rifiuti organici trattati e suolo - Determinazione di elementi mediante spettrometria di massa interfacciata ad una sorgente al plasma (ICP-MS). L'analisi condotta mediante ICP-MS, iCAP™ RQ ICP-MS, Thermo Fisher Scientific. Ad ogni *batch* di campioni è stato associato un campione di bianco reagente, privo degli analiti di interesse.

I risultati ottenuti sono di seguito riportati in Tabella 4 (Parte 1 e 2), Tabella 5 (Parte 1 e 2).

| Sito | Al | Sb | As | Ba | Be | B | Cd | Co | Cr | Fe | Li | Mn |
|------|-------|-------|---------|--------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|-------|-------|
| | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg |
| 1 | 2,4 | 0,003 | 0,007 | 0,13 | < 0,005 | < 0,1 | < 0,001 | 0,01 | 0,01 | 1,05 | 0,01 | 0,65 |
| 2 | 1,7 | 0,003 | 0,003 | 0,25 | < 0,005 | < 0,1 | 0,002 | 0,01 | 0,01 | 0,11 | 0,02 | 0,99 |
| 3 | 1,5 | 0,064 | < 0,001 | < 0,01 | < 0,005 | 6,8 | 0,046 | 1,00 | < 0,005 | 0,21 | 0,64 | 68,6 |
| 4 | 5,4 | 0,004 | 0,003 | 0,25 | < 0,005 | 0,2 | 0,002 | 0,02 | 0,01 | 0,15 | 0,03 | 1,57 |
| 5 | 3,7 | 0,004 | 0,003 | 0,32 | < 0,005 | 0,1 | 0,002 | 0,01 | 0,01 | 0,16 | 0,02 | 1,27 |
| 7 | 5,8 | 0,005 | 0,007 | 0,34 | < 0,005 | 0,7 | 0,002 | 0,04 | 0,01 | 0,42 | 0,08 | 2,87 |
| 8 | 5,1 | 0,009 | 0,007 | 0,31 | < 0,005 | 0,7 | 0,002 | 0,05 | 0,01 | 0,57 | 0,09 | 3,36 |

Tabella 4. (Parte 1) Risultati dell'analisi ICP-MS per la determinazione dei metalli sull'eluato.

| Sito | Hg | Mo | Ni | Pb | Cu | Se | Sr | Te | Tl | U | V | Zn |
|------|----------|--------|-------|---------|-------|--------|-------|---------|---------|---------|---------|--------|
| | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg |
| 1 | < 0,0005 | < 0,05 | 0,01 | 0,002 | 0,07 | < 0,01 | 0,61 | < 0,001 | 0,001 | 0,03 | < 0,001 | < 0,05 |
| 2 | < 0,0005 | < 0,05 | 0,01 | < 0,001 | 0,02 | < 0,01 | 0,41 | < 0,001 | 0,002 | < 0,005 | < 0,001 | 0,11 |
| 3 | < 0,0005 | < 0,05 | 1,77 | < 0,001 | 0,10 | < 0,01 | 10,01 | < 0,001 | < 0,001 | < 0,005 | < 0,001 | 0,64 |
| 4 | < 0,0005 | < 0,05 | 0,03 | < 0,001 | 0,07 | < 0,01 | 1,13 | < 0,001 | 0,002 | 0,01 | < 0,001 | 0,36 |
| 5 | < 0,0005 | < 0,05 | 0,06 | < 0,001 | 0,05 | < 0,01 | 1,58 | < 0,001 | 0,002 | 0,01 | < 0,001 | 0,09 |
| 7 | < 0,0005 | < 0,05 | 0,05 | < 0,001 | 0,23 | < 0,01 | 5,92 | < 0,001 | 0,002 | 0,02 | < 0,001 | 0,93 |
| 8 | < 0,0005 | < 0,05 | 0,18 | < 0,001 | 0,17 | < 0,01 | 8,44 | < 0,001 | 0,002 | 0,02 | < 0,001 | 0,53 |

Tabella 4. (Parte 2) Risultati dell'analisi ICP-MS per la determinazione dei metalli sull'eluato.

| Sito | Al | Sb | As | Ba | Be | B | Cd | Co | Cr | Fe | Li | Mn |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | mg/Kg |
| 1 | 5185 | 0,3 | 19 | 216 | 1,84 | 66,6 | < 0,1 | 21,4 | 24,6 | 38945 | 4,9 | 962 |
| 2 | 6976 | 0,2 | 20 | 180 | 1,83 | 71,9 | < 0,1 | 22,4 | 18,0 | 36872 | 4,2 | 926 |
| 3 | 1574 | 1,3 | 47 | 289 | 1,62 | 132,3 | 0,2 | 29,0 | 20,3 | 43884 | 2,7 | 1111 |
| 4 | 7134 | 0,3 | 20 | 199 | 1,85 | 75,2 | < 0,1 | 19,6 | 13,5 | 38822 | 4,4 | 873 |
| 5 | 3674 | 0,2 | 16 | 165 | 1,35 | 59,7 | < 0,1 | 20,9 | 24,9 | 32693 | 3,2 | 878 |
| 7 | 5113 | 0,3 | 18 | 270 | 1,66 | 70,9 | < 0,1 | 19,2 | 20,0 | 42270 | 3,4 | 896 |
| 8 | 3684 | 0,2 | 17 | 247 | 1,69 | 75,43 | < 0,1 | 26,7 | 15,6 | 42511 | 3,1 | 1013 |

Tabella 5. (Parte 1) Risultati dell'analisi ICP-MS per la determinazione dei metalli totali.

| Sito | Hg | Mo | Ni | Pb | Cu | Se | Sr | Te | Tl | U | V | Zn |
|------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg | mg/Kg |
| 1 | < 0,05 | < 5 | 29 | 18 | 92 | < 1 | 150 | < 0,1 | 0,5 | 3,9 | 234 | 67 |
| 2 | < 0,05 | < 5 | 31 | 15 | 107 | < 1 | 135 | < 0,1 | 0,4 | 3,3 | 223 | 64 |
| 3 | 0,14 | < 5 | 42 | 20 | 127 | < 1 | 213 | 1,1 | 3,3 | 3,2 | 243 | 77 |
| 4 | < 0,05 | < 5 | 22 | 17 | 117 | < 1 | 143 | < 0,1 | 0,5 | 3,6 | 224 | 65 |
| 5 | < 0,05 | < 5 | 31 | 13 | 100 | < 1 | 138 | < 0,1 | 0,4 | 2,7 | 217 | 56 |
| 7 | < 0,05 | < 5 | 22 | 18 | 129 | < 1 | 207 | 0,2 | 0,5 | 3,7 | 237 | 65 |
| 8 | < 0,05 | < 5 | 37 | 17 | 122 | < 1 | 170 | < 0,1 | 0,4 | 3,4 | 227 | 70 |

Tabella 5. (Parte 2) Risultati dell'analisi ICP-MS per la determinazione dei metalli totali.

2) Analisi mineralogica diffrattometrica di prodotti di deposizione di recenti eruzioni della Stromboli

A cura di Barbara Liguori.

Sono stati analizzati 6 campioni provenienti dalle recenti effusioni parossistiche dello Stromboli.

Per l'analisi diffrattometrica è stato utilizzato un diffrattometro da polveri PANalytical X'Pert Pro, equipaggiato con tubo generatore di raggi X al rame modello Emphyrean Cu LFF e detector lineare modello PIXCel 1D, configurato in geometria parafofocalizzante di tipo Bragg Brentano (range di scansione: 5 – 60 °2θ; ampiezza del passo di scansione: 0.0263°; modalità di scansione: continua).

In tabella 1 si riporta la descrizione dei campioni con i dettagli sulla zona di prelievo.

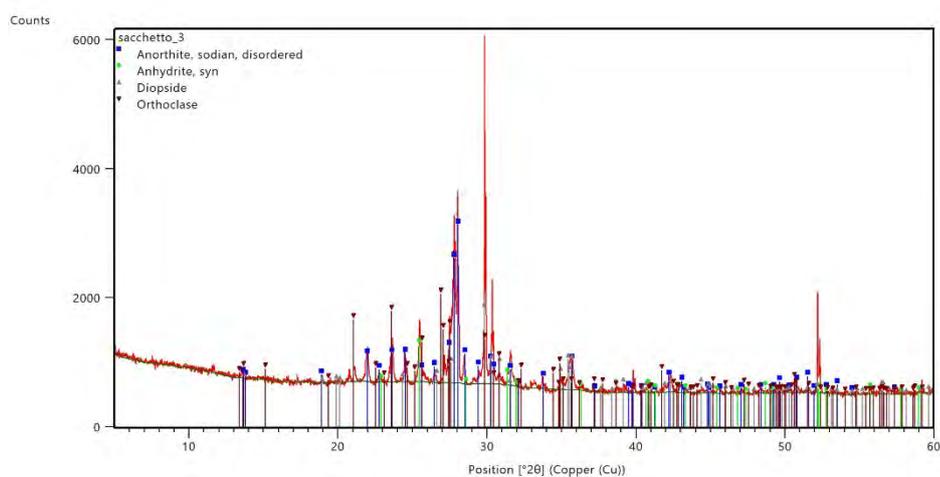
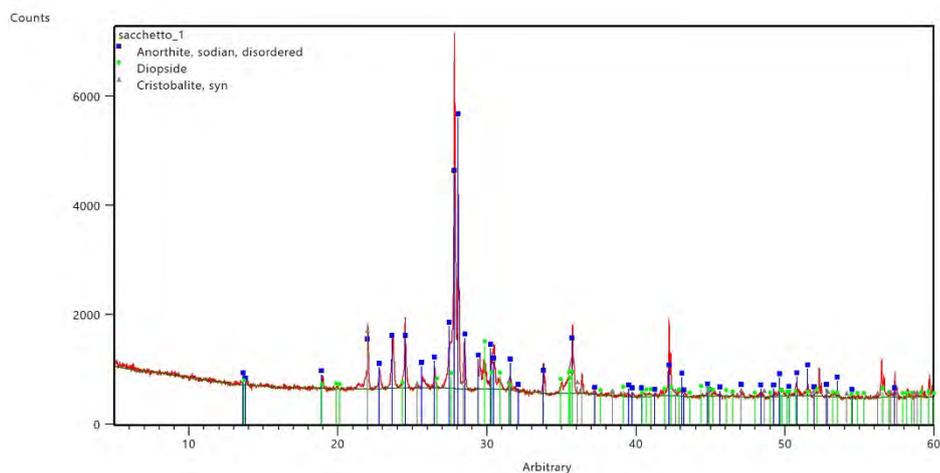
Tabella 1. Elenco dei campioni di depositi analizzati con indicazioni della zona di prelievo

| Etichetta | Descrizione |
|-----------|--|
| 1 | Torrente Montagna Russo, H 40 m slm (prelievo vicino Chiesa San Bartolo, casa Zaia Mario, materiale da colata 2024) |
| 3 | Prelievo di prodotti da eruzione del 4/7/2024 cenere indisturbata, non ancora interessata da "pioggia" di valore con acqua di mare (6/7/2024) |
| 4 | Prelievo lato Nord 400 m slm, sabbia 2024 |
| 5 | Prelievo Montagna preso a 400 m slm Chiesa San Bartolo, prelievo in solco dopo pioggia ottobre 2024 - materiale originario da precedenti eruzioni. |
| 6 | Prelievo Montagna, 400 m slm preso esterno solco prodotto da pioggia ottobre 2024 |
| 7 | Prelievo 2024- Montagna Russo a 400 m slm in bordo interno solco parzialmente lastrificato |

Tutti i campioni hanno mostrato la presenza di fasi feldspatiche (silico-alluminati di metalli alcalini e/o alcalino terrosi) di diversa natura cationica e in alcuni campioni è stata riscontrata la presenza di solfato di calcio (Tabella 2). Gli spettri di diffrazione sono riportati nelle Figure 1 e 2.

Tabella 2. Fasi mineralogiche rilevate nei campioni analizzati

| Etichetta | Fasi Mineralogiche |
|-----------|--|
| 1 | Fasi Feldspatiche (tipo anortite, diopside), silice |
| 3 | Fasi Feldspatiche (tipo anortite, diopside), solfato di calcio |
| 4 | Fasi Feldspatiche (tipo anortite, diopside) |
| 5 | Fasi Feldspatiche (tipo anortite, diopside) |
| 6 | Fasi Feldspatiche (tipo anortite, diopside) |
| 7 | Fasi Feldspatiche (tipo anortite, diopside), solfato di calcio |



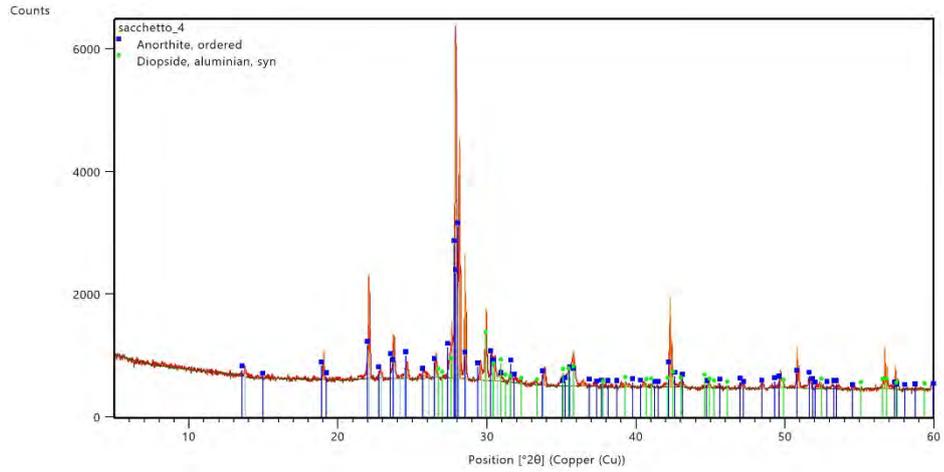
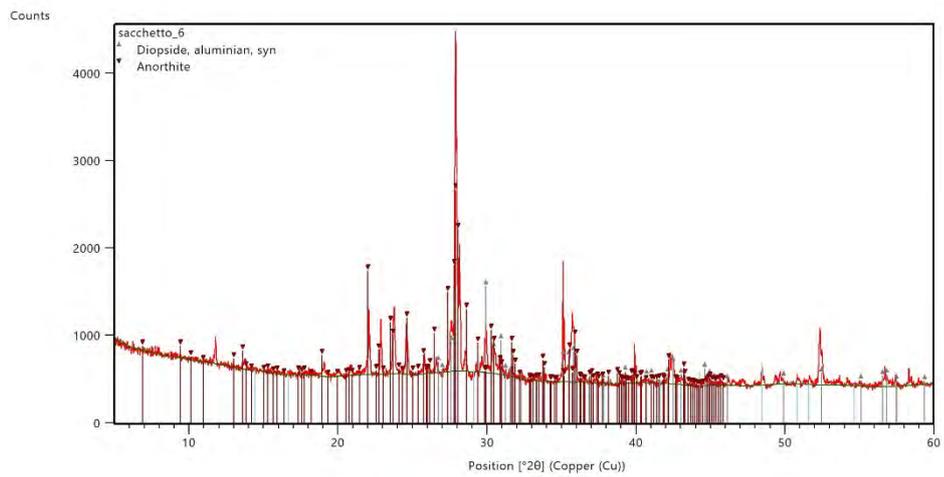
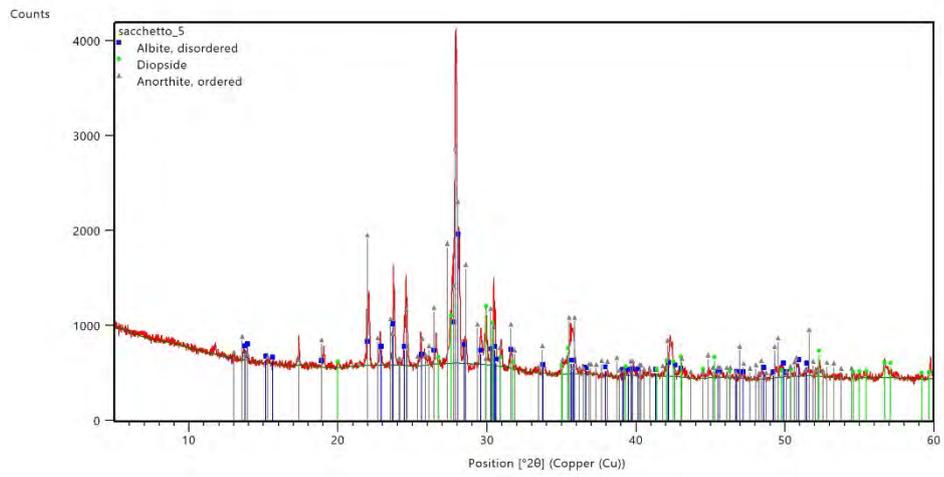


Figura 1- Spettri di diffrazione dei campioni 1, 3 e 4



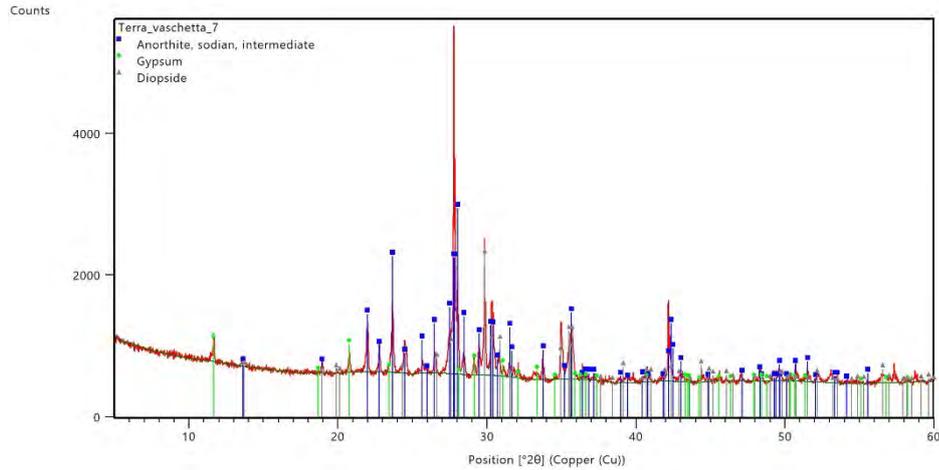


Figura 2- Spettri di diffrazione dei campioni 5, 6 e 7

3. Determinazione di “resistenza e rigidezza” degli strati di cenere “solidificati” formati nelle eruzioni dello Stromboli del Luglio 2024 mediante prove meccaniche.

A cura di Luciano Nunziante.

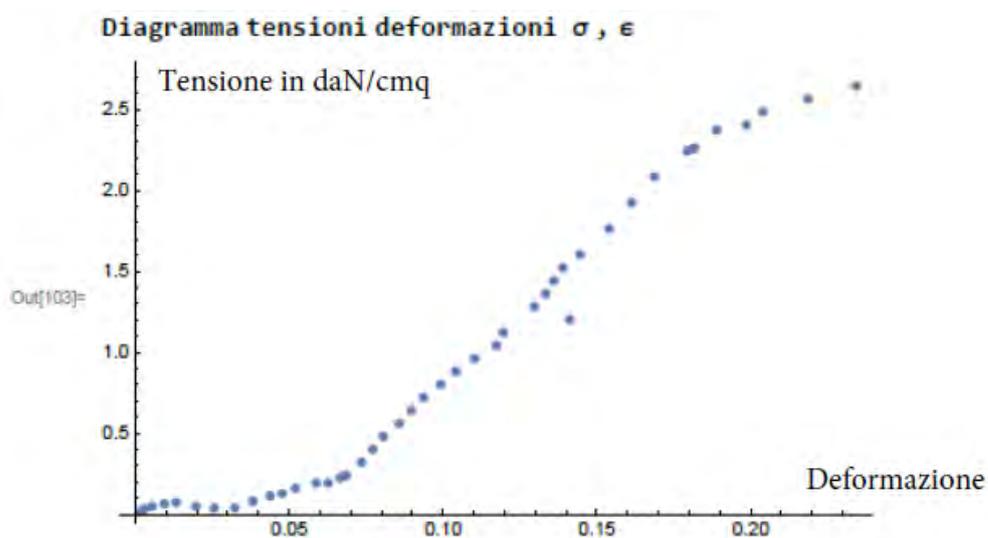


Una prima indagine meccanica su un campione di lastra di cenere solidificata proveniente dai depositi del Luglio 2024 su montagna Russo alla quota di circa +400 m s.l.m., è stata svolta il 29.11.2024 nel Laboratorio del Dipartimento di Strutture per l’Ingegneria e l’Architettura dell’Università di Napoli Federico II-Italia, e ha permesso di determinare densità apparente di valore $\rho = 1498 \text{ daN/m}^3$, resistenza a compressione con valore dell’ordine dei 2-3 daN/cm², e modulo di Young medio del materiale solidificato di valore 16,22 daNcm².

Qui di seguito si riporta il diagramma sforzo deformazione ottenuto dalla prova, che è stata eseguita con macchina di prova Mohr&Federhaff e comparatori centesimali, alla velocità media di sollecitazione di $1,76 \times 10^{-3}$ daN cm⁻² sec⁻¹.

Le caratteristiche meccaniche delle ceneri solidificate, determinate con la prova, sono del tutto paragonabili a quelle di rocce molto tenere o delle argille molto molli.

Questi prodotti, che provengono da un processo di "solidificazione" delle ceneri che sono costituite da materiale granulare, sono di caratteristiche fisiche ben diverse da quelle delle ceneri sciolte che di norma vengono spostate per spazzamento, si presentano come veri e propri solidi, in quanto mantengono la propria forma e sono duri da scomporre e difficili da asportare anche mediante scavo meccanico; inoltre la loro compattezza li rende impermeabili.



Peraltro, immessi in acqua si sciolgono perdendo la loro forma solida.

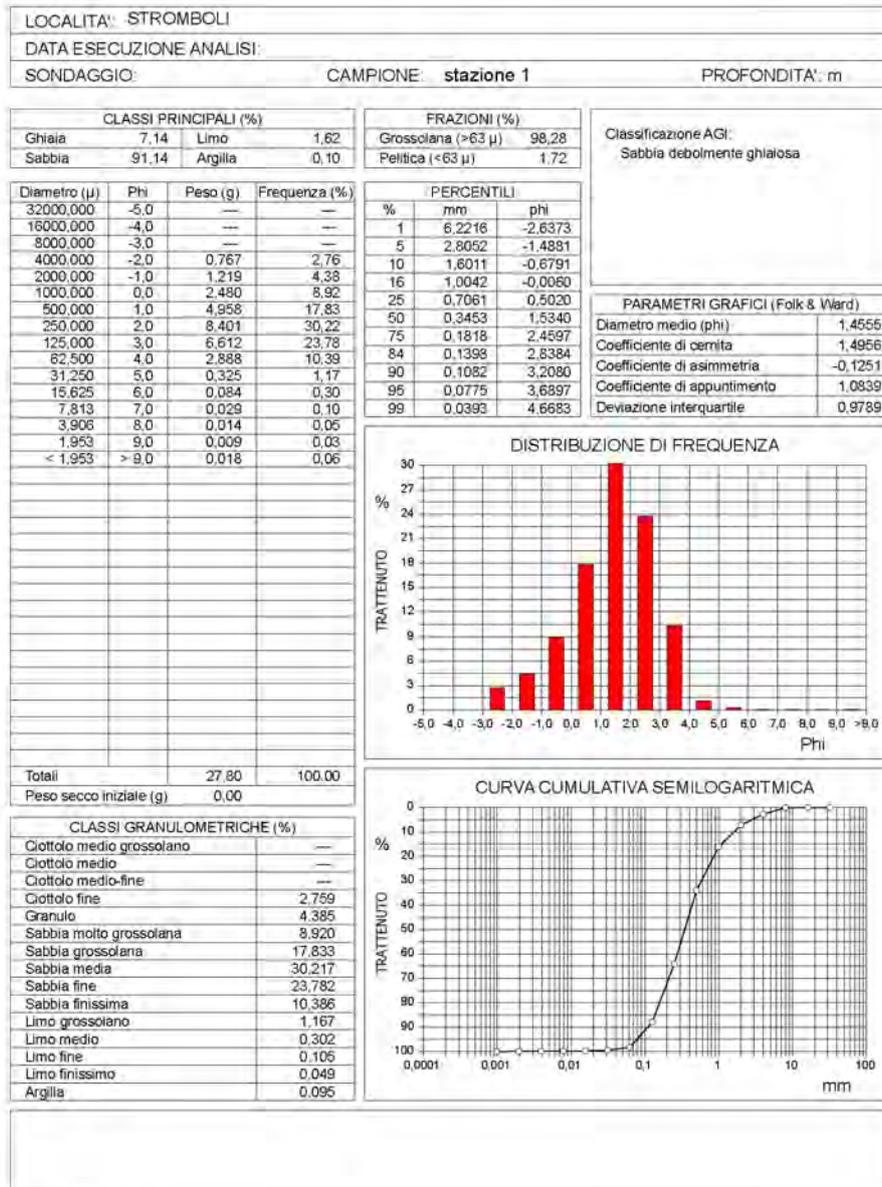
In sito, l'azione delle prime piogge ne asporta le parti superficiali, mentre successivi ripetuti eventi pluviometrici li fanno dissolvere.

Da testimonianze raccolte risulta che il manto superficiale solidificato dopo il Luglio 2024 è ancora presente dopo le piogge di questi mesi, con una persistenza del 30/40 % circa.

4. Analisi granulometrica e densimetrica di campioni di ceneri e prodotti da eventi effusivi dello Stromboli del Luglio 2024. A cura di Luciano Nunziante e Giuseppe Rolandi.

Su campioni di ceneri e prodotti da eventi effusivi dello Stromboli del Luglio 2024, è stata effettuata un'analisi granulometrica e densimetrica, i cui risultati vengono proposti nelle tabelle riportate qui di seguito.

ANALISI SEDIMENTOLOGICA



Software SGEO

ANALISI SEDIMENTOLOGICA

| | | |
|--------------------------|----------------------|----------------|
| LOCALITA': STROMBOLI | | |
| DATA ESECUZIONE ANALISI: | | |
| SONDAGGIO: | CAMPIONE: stazione 2 | PROFONDITA': m |

| CLASSI PRINCIPALI (%) | | | |
|-----------------------|-------|---------|------|
| Ghiaia | 66,69 | Limo | 0,38 |
| Sabbia | 32,91 | Argilla | 0,02 |

| FRAZIONI (%) | |
|--------------------|-------|
| Grossolana (>63 μ) | 99,60 |
| Pellica (<63 μ) | 0,40 |

Classificazione AGI:
Ghiaia con sabbia

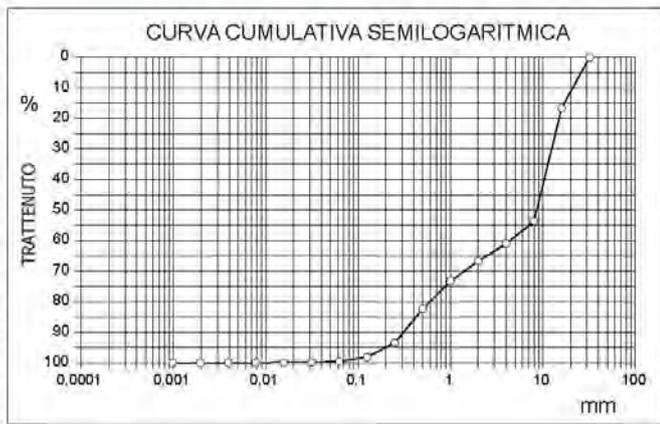
| Diametro (μ) | Phi | Peso (g) | Frequenza (%) |
|--------------|-------|----------|---------------|
| 32000.000 | -5.0 | --- | --- |
| 16000.000 | -4.0 | 15,951 | 16,60 |
| 8000.000 | -3.0 | 35,625 | 37,07 |
| 4000.000 | -2.0 | 7,053 | 7,34 |
| 2000.000 | -1.0 | 5,453 | 5,67 |
| 1000.000 | 0,0 | 6,335 | 6,59 |
| 500.000 | 1,0 | 8,719 | 9,07 |
| 250.000 | 2,0 | 10,664 | 11,10 |
| 125.000 | 3,0 | 4,505 | 4,69 |
| 62.500 | 4,0 | 1,404 | 1,46 |
| 31.250 | 5,0 | 0,263 | 0,27 |
| 15.625 | 6,0 | 0,072 | 0,07 |
| 7.813 | 7,0 | 0,019 | 0,02 |
| 3.906 | 8,0 | 0,008 | 0,01 |
| 1.953 | 9,0 | 0,006 | 0,01 |
| < 1,953 | > 9,0 | 0,013 | 0,01 |

| PERCENTILI | | |
|------------|---------|---------|
| % | mm | phi |
| 1 | 30,6913 | -4,9398 |
| 5 | 25,9705 | -4,6988 |
| 10 | 21,0770 | -4,3976 |
| 16 | 16,4061 | -4,0362 |
| 25 | 13,6747 | -3,7734 |
| 50 | 8,5690 | -3,0991 |
| 75 | 0,8771 | 0,1892 |
| 84 | 0,4512 | 1,1481 |
| 90 | 0,3102 | 1,6887 |
| 95 | 0,1989 | 2,3296 |
| 99 | 0,0832 | 3,5864 |

| PARAMETRI GRAFICI (Folk & Ward) | |
|---------------------------------|---------|
| Diametro medio (phi) | -1,9957 |
| Coefficiente di cernita | 2,3610 |
| Coefficiente di asimmetria | 0,5917 |
| Coefficiente di appuntimento | 0,7269 |
| Deviazione interquartile | 1,9813 |

| | | |
|-------------------------|-------|--------|
| Totale | 96,09 | 100,00 |
| Peso secco iniziale (g) | 15,95 | |

| CLASSI GRANULOMETRICHE (%) | |
|----------------------------|--------|
| Ciottolo medio grossolano | --- |
| Ciottolo medio | 16,600 |
| Ciottolo medio-fine | 37,075 |
| Ciottolo fine | 7,340 |
| Granulo | 5,675 |
| Sabbia molto grossolana | 6,593 |
| Sabbia grossolana | 9,074 |
| Sabbia media | 11,098 |
| Sabbia fine | 4,688 |
| Sabbia finissima | 1,461 |
| Limo grossolano | 0,274 |
| Limo medio | 0,075 |
| Limo fine | 0,020 |
| Limo finissimo | 0,008 |
| Argilla | 0,019 |



ANALISI SEDIMENTOLOGICA

| | | |
|--------------------------|----------------------|----------------|
| LOCALITA': STROMBOLI | | |
| DATA ESECUZIONE ANALISI: | | |
| SONDAGGIO: | CAMPIONE: stazione 3 | PROFONDITA': m |

| CLASSI PRINCIPALI (%) | | | |
|-----------------------|-------|---------|-------|
| Ghiaia | 7,49 | Limo | 28,49 |
| Sabbia | 62,16 | Argilla | 1,86 |

| FRAZIONI (%) | |
|--------------------|-------|
| Grossolana (>63 µ) | 69,65 |
| Pellica (<63 µ) | 30,35 |

Classificazione AGI:
Sabbia con limo debolmente ghiaiosa

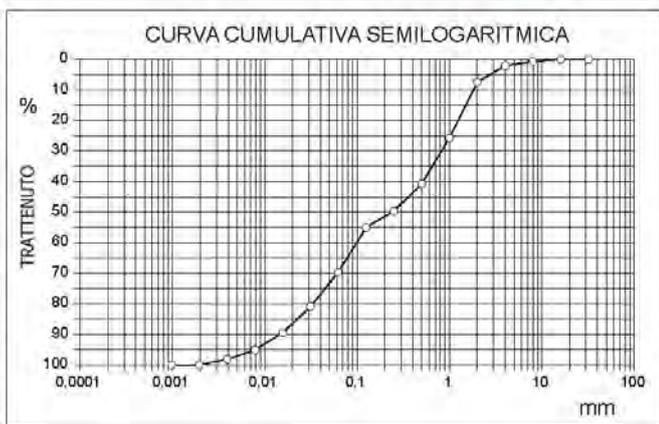
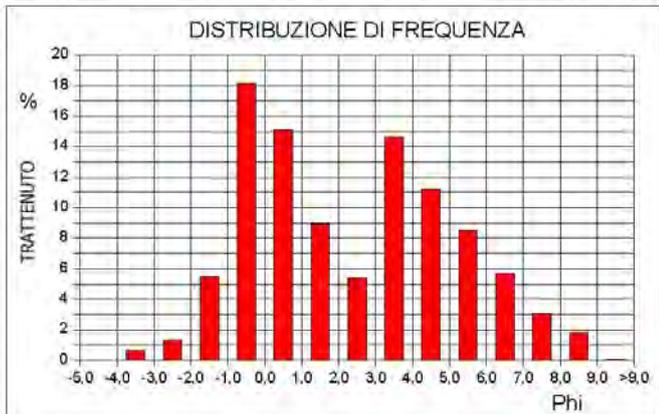
| Diametro (µ) | Phi | Peso (g) | Frequenza (%) |
|--------------|-------|----------|---------------|
| 32000.000 | -5,0 | — | — |
| 16000.000 | -4,0 | — | — |
| 8000.000 | -3,0 | 0,282 | 0,65 |
| 4000.000 | -2,0 | 0,586 | 1,34 |
| 2000.000 | -1,0 | 2,406 | 5,50 |
| 1000.000 | 0,0 | 7,935 | 18,15 |
| 500.000 | 1,0 | 6,585 | 15,06 |
| 250.000 | 2,0 | 3,901 | 8,92 |
| 125.000 | 3,0 | 2,352 | 5,38 |
| 62.500 | 4,0 | 6,399 | 14,64 |
| 31.250 | 5,0 | 4,915 | 11,25 |
| 15.625 | 6,0 | 3,738 | 8,55 |
| 7.813 | 7,0 | 2,480 | 5,67 |
| 3.906 | 8,0 | 1,319 | 3,02 |
| 1.953 | 9,0 | 0,795 | 1,82 |
| < 1,953 | > 9,0 | 0,018 | 0,04 |

| PERCENTILI | | |
|------------|--------|---------|
| % | mm | phi |
| 1 | 6,6590 | -2,7353 |
| 5 | 2,7366 | -1,4524 |
| 10 | 1,8172 | -0,8617 |
| 16 | 1,4451 | -0,5312 |
| 25 | 1,0249 | -0,0354 |
| 50 | 0,2384 | 2,0683 |
| 75 | 0,0450 | 4,4755 |
| 84 | 0,0243 | 5,3628 |
| 90 | 0,0146 | 6,0970 |
| 95 | 0,0079 | 6,9782 |
| 99 | 0,0028 | 8,4723 |

| PARAMETRI GRAFICI (Folk & Ward) | |
|---------------------------------|--------|
| Diametro medio (phi) | 2,3000 |
| Coefficiente di cernita | 2,7509 |
| Coefficiente di asimmetria | 0,1413 |
| Coefficiente di appuntimento | 0,7660 |
| Deviazione interquartile | 2,2555 |

| | | |
|-------------------------|-------|--------|
| Totali | 43,71 | 100,00 |
| Peso secco iniziale (g) | 0,00 | |

| CLASSI GRANULOMETRICHE (%) | |
|----------------------------|--------|
| Ciottolo medio grossolano | — |
| Ciottolo medio | — |
| Ciottolo medio-fine | 0,645 |
| Ciottolo fine | 1,341 |
| Granulo | 5,504 |
| Sabbia molto grossolana | 18,153 |
| Sabbia grossolana | 15,065 |
| Sabbia media | 8,924 |
| Sabbia fine | 5,381 |
| Sabbia finissima | 14,639 |
| Limo grossolano | 11,245 |
| Limo medio | 8,552 |
| Limo fine | 5,674 |
| Limo finissimo | 3,018 |
| Argilla | 1,859 |



ANALISI SEDIMENTOLOGICA

| | | |
|--------------------------|----------------------|---------------|
| LOCALITA': STROMBOLI | | |
| DATA ESECUZIONE ANALISI: | | |
| SONDAGGIO: | CAMPIONE: stazione 4 | PROFONDITA' m |

| CLASSI PRINCIPALI (%) | | | |
|-----------------------|-------|---------|------|
| Ghiaia | 19,76 | Limo | 2,74 |
| Sabbia | 77,19 | Argilla | 0,30 |

| FRAZIONI (%) | |
|--------------------|-------|
| Grossolana (>63 µ) | 96,96 |
| Pellica (<63 µ) | 3,04 |

Classificazione AGI:
Sabbia con limo debolmente ghialosa

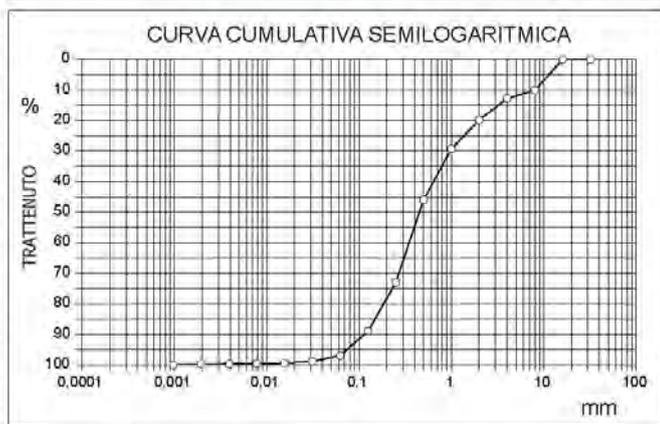
| Diametro (µ) | Phi | Peso (g) | Frequenza (%) |
|--------------|-------|----------|---------------|
| 32000,000 | -5,0 | --- | --- |
| 16000,000 | -4,0 | --- | --- |
| 8000,000 | -3,0 | 3,402 | 10,09 |
| 4000,000 | -2,0 | 0,901 | 2,67 |
| 2000,000 | -1,0 | 2,360 | 7,00 |
| 1000,000 | 0,0 | 3,202 | 9,60 |
| 500,000 | 1,0 | 5,615 | 16,66 |
| 250,000 | 2,0 | 9,143 | 27,12 |
| 125,000 | 3,0 | 5,363 | 15,91 |
| 62,500 | 4,0 | 2,701 | 8,01 |
| 31,250 | 5,0 | 0,628 | 1,86 |
| 15,625 | 6,0 | 0,207 | 0,61 |
| 7,813 | 7,0 | 0,062 | 0,18 |
| 3,906 | 8,0 | 0,028 | 0,08 |
| 1,953 | 9,0 | 0,026 | 0,08 |
| < 1,953 | > 9,0 | 0,075 | 0,22 |

| PERCENTILI | | |
|------------|---------|---------|
| % | mm | phi |
| 1 | 14,9379 | -3,9009 |
| 5 | 11,3492 | -3,5045 |
| 10 | 8,0503 | -3,0090 |
| 16 | 2,9033 | -1,5377 |
| 25 | 1,3648 | -0,4487 |
| 50 | 0,4506 | 1,1505 |
| 75 | 0,2295 | 2,1233 |
| 84 | 0,1551 | 2,6891 |
| 90 | 0,1141 | 3,1316 |
| 95 | 0,0740 | 3,7557 |
| 99 | 0,0255 | 5,2953 |

| PARAMETRI GRAFICI (Folk & Ward) | |
|---------------------------------|---------|
| Diametro medio (phi) | 0,7673 |
| Coefficiente di cernita | 2,1567 |
| Coefficiente di asimmetria | -0,2772 |
| Coefficiente di appuntimento | 1,1569 |
| Deviazione interquartile | 1,2860 |

| | | |
|-------------------------|-------|--------|
| Totale | 33,71 | 100,00 |
| Peso secco iniziale (g) | 33,88 | |

| CLASSI GRANULOMETRICHE (%) | |
|----------------------------|--------|
| Ciottolo medio grossolano | --- |
| Ciottolo medio | --- |
| Ciottolo medio-fine | 10,091 |
| Ciottolo fine | 2,673 |
| Granulo | 7,000 |
| Sabbia molto grossolana | 9,498 |
| Sabbia grossolana | 16,656 |
| Sabbia media | 27,120 |
| Sabbia fine | 15,907 |
| Sabbia finissima | 8,012 |
| Limo grossolano | 1,862 |
| Limo medio | 0,614 |
| Limo fine | 0,185 |
| Limo finissimo | 0,083 |
| Argilla | 0,300 |



ANALISI SEDIMENTOLOGICA

| | | |
|--------------------------|----------------------|----------------|
| LOCALITA': STROMBOLI | | |
| DATA ESECUZIONE ANALISI: | | |
| SONDAGGIO: | CAMPIONE: stazione 5 | PROFONDITA': m |

| CLASSI PRINCIPALI (%) | | | |
|-----------------------|-------|---------|------|
| Ghiaia | 16,99 | Limo | 4,23 |
| Sabbia | 78,39 | Argilla | 0,39 |

| FRAZIONI (%) | |
|--------------------|-------|
| Grossolana (>63 µ) | 95,38 |
| Pellica (<63 µ) | 4,62 |

Classificazione AGI:
Sabbia con limo debolmente ghialosa

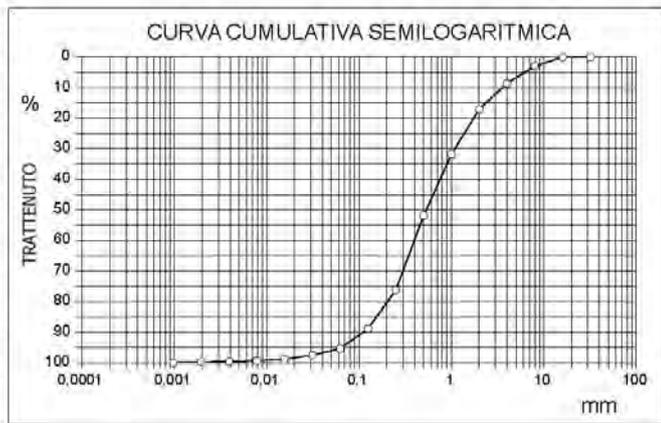
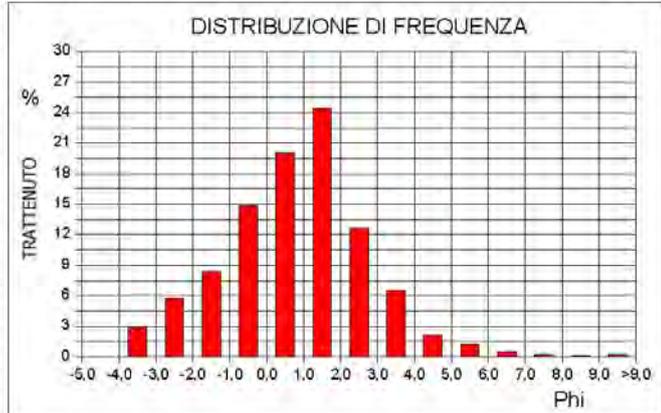
| Diametro (µ) | Phi | Peso (g) | Frequenza (%) |
|--------------|-------|----------|---------------|
| 32000,000 | -5,0 | --- | --- |
| 16000,000 | -4,0 | --- | --- |
| 8000,000 | -3,0 | 1,886 | 2,88 |
| 4000,000 | -2,0 | 3,773 | 5,76 |
| 2000,000 | -1,0 | 5,462 | 8,34 |
| 1000,000 | 0,0 | 9,702 | 14,82 |
| 500,000 | 1,0 | 13,136 | 20,07 |
| 250,000 | 2,0 | 15,935 | 24,35 |
| 125,000 | 3,0 | 8,277 | 12,65 |
| 62,500 | 4,0 | 4,259 | 6,51 |
| 31,250 | 5,0 | 1,406 | 2,15 |
| 15,625 | 6,0 | 0,852 | 1,30 |
| 7,813 | 7,0 | 0,369 | 0,56 |
| 3,906 | 8,0 | 0,145 | 0,22 |
| 1,953 | 9,0 | 0,087 | 0,13 |
| < 1,953 | > 9,0 | 0,165 | 0,25 |

| PERCENTILI | | |
|------------|---------|---------|
| % | mm | phi |
| 1 | 12,5791 | -3,6530 |
| 5 | 6,2009 | -2,6325 |
| 10 | 3,5745 | -1,8377 |
| 16 | 2,1715 | -1,1187 |
| 25 | 1,3752 | -0,4597 |
| 50 | 0,5336 | 0,9062 |
| 75 | 0,2589 | 1,9496 |
| 84 | 0,1633 | 2,6146 |
| 90 | 0,1109 | 3,1731 |
| 95 | 0,0661 | 3,9415 |
| 99 | 0,0127 | 6,3018 |

| PARAMETRI GRAFICI (Folk & Ward) | |
|---------------------------------|---------|
| Diametro medio (phi) | 0,8007 |
| Coefficiente di cernita | 1,9294 |
| Coefficiente di asimmetria | -0,0807 |
| Coefficiente di appuntimento | 1,1183 |
| Deviazione interquartile | 1,2046 |

| | | |
|-------------------------|-------|--------|
| Totale | 65,45 | 100,00 |
| Peso secco iniziale (g) | 65,99 | |

| CLASSI GRANULOMETRICHE (%) | |
|----------------------------|--------|
| Ciottolo medio grossolano | --- |
| Ciottolo medio | --- |
| Ciottolo medio-fine | 2,881 |
| Ciottolo fine | 5,764 |
| Granulo | 8,345 |
| Sabbia molto grossolana | 14,823 |
| Sabbia grossolana | 20,069 |
| Sabbia media | 24,345 |
| Sabbia fine | 12,646 |
| Sabbia finissima | 6,507 |
| Limo grossolano | 2,148 |
| Limo medio | 1,302 |
| Limo fine | 0,564 |
| Limo finissimo | 0,221 |
| Argilla | 0,385 |



ANALISI SEDIMENTOLOGICA

| | | |
|--------------------------|----------------------|----------------|
| LOCALITA': STROMBOLI | | |
| DATA ESECUZIONE ANALISI: | | |
| SONDAGGIO: | CAMPIONE: stazione 6 | PROFONDITA': m |

| CLASSI PRINCIPALI (%) | | | |
|-----------------------|-------|---------|-------|
| Ghiaia | 2,92 | Limo | 19,78 |
| Sabbia | 73,38 | Argilla | 3,92 |

| FRAZIONI (%) | |
|--------------------|-------|
| Grossolana (>63 μ) | 76,30 |
| Pellica (<63 μ) | 23,70 |

Classificazione AGI:
Sabbia limosa

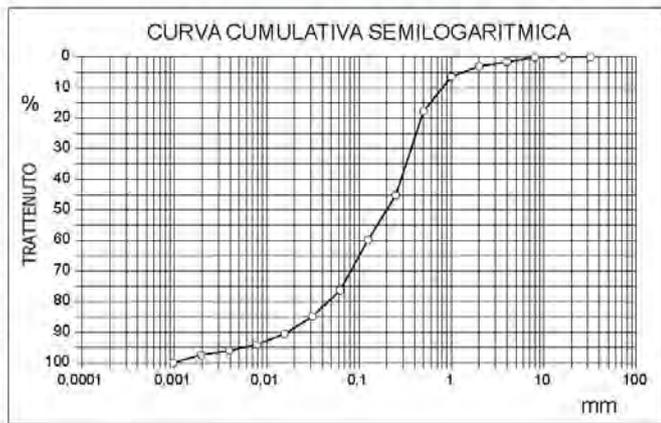
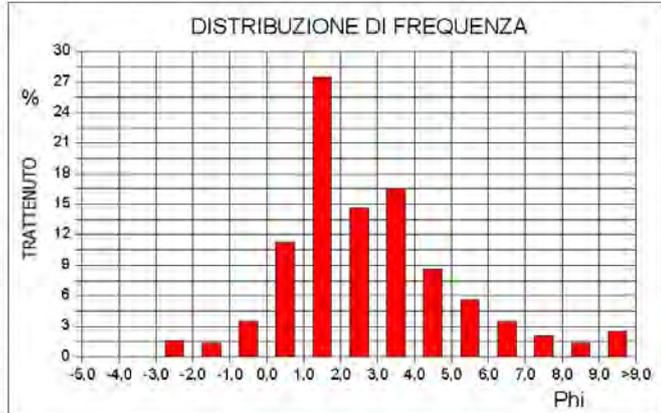
| Diametro (μ) | Phi | Peso (g) | Frequenza (%) |
|--------------|-------|----------|---------------|
| 32000,000 | -5,0 | --- | --- |
| 16000,000 | -4,0 | --- | --- |
| 8000,000 | -3,0 | --- | --- |
| 4000,000 | -2,0 | 0,577 | 1,57 |
| 2000,000 | -1,0 | 0,498 | 1,35 |
| 1000,000 | 0,0 | 1,274 | 3,46 |
| 500,000 | 1,0 | 4,158 | 11,29 |
| 250,000 | 2,0 | 10,130 | 27,51 |
| 125,000 | 3,0 | 5,377 | 14,60 |
| 62,500 | 4,0 | 6,081 | 16,51 |
| 31,250 | 5,0 | 3,165 | 8,60 |
| 15,625 | 6,0 | 2,081 | 5,65 |
| 7,813 | 7,0 | 1,289 | 3,50 |
| 3,906 | 8,0 | 0,748 | 2,03 |
| 1,953 | 9,0 | 0,515 | 1,40 |
| < 1,953 | > 9,0 | 0,929 | 2,52 |

| PERCENTILI | | |
|------------|--------|---------|
| % | mm | phi |
| 1 | 5,1402 | -2,3618 |
| 5 | 1,3183 | -0,3986 |
| 10 | 0,8007 | 0,3207 |
| 16 | 0,5540 | 0,8520 |
| 25 | 0,4157 | 1,2664 |
| 50 | 0,1989 | 2,3300 |
| 75 | 0,0660 | 3,9214 |
| 84 | 0,0336 | 4,8960 |
| 90 | 0,0167 | 5,9036 |
| 95 | 0,0066 | 7,4695 |
| 99 | 0,0013 | 9,6036 |

| PARAMETRI GRAFICI (Folk & Ward) | |
|---------------------------------|--------|
| Diametro medio (phi) | 2,6927 |
| Coefficiente di cernita | 2,2031 |
| Coefficiente di asimmetria | 0,2877 |
| Coefficiente di appuntimento | 1,2146 |
| Deviazione interquartile | 1,3275 |

| | | |
|-------------------------|-------|--------|
| Totale | 36,82 | 100,00 |
| Peso secco iniziale (g) | 37,02 | |

| CLASSI GRANULOMETRICHE (%) | |
|----------------------------|--------|
| Ciottolo medio grossolano | --- |
| Ciottolo medio | --- |
| Ciottolo medio-fine | --- |
| Ciottolo fine | 1,567 |
| Granulo | 1,352 |
| Sabbia molto grossolana | 3,460 |
| Sabbia grossolana | 11,292 |
| Sabbia media | 27,510 |
| Sabbia fine | 14,604 |
| Sabbia finissima | 16,514 |
| Limo grossolano | 8,595 |
| Limo medio | 5,651 |
| Limo fine | 3,601 |
| Limo finissimo | 2,032 |
| Argilla | 3,922 |



ANALISI SEDIMENTOLOGICA

| | | |
|--------------------------|-----------------------|---------------|
| LOCALITA': STROMBOLI | | |
| DATA ESECUZIONE ANALISI: | | |
| SONDAGGIO: | CAMPIONE: stazione 7a | PROFONDITA' m |

| CLASSI PRINCIPALI (%) | | | | FRAZIONI (%) | | Classificazione AGI: Sabbia con limo debolmente argillosa |
|-----------------------|-------|---------|-------|--------------------|-------|--|
| Ghiaia | 0,00 | Limo | 44,28 | Grossolana (>63 μ) | 47,09 | |
| Sabbia | 47,09 | Argilla | 8,63 | Pellica (<63 μ) | 52,91 | |

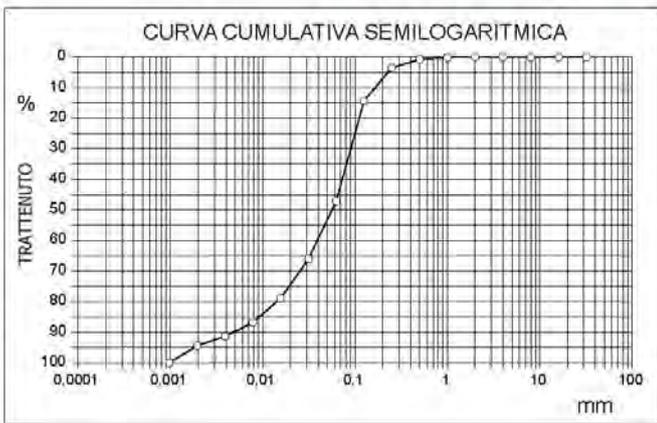
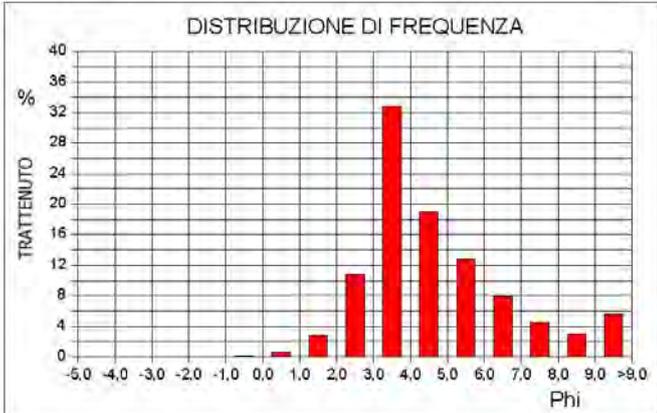
| Diametro (μ) | Phi | Peso (g) | Frequenza (%) |
|--------------|-------|----------|---------------|
| 32000,000 | -5,0 | --- | --- |
| 16000,000 | -4,0 | --- | --- |
| 8000,000 | -3,0 | --- | --- |
| 4000,000 | -2,0 | --- | --- |
| 2000,000 | -1,0 | --- | --- |
| 1000,000 | 0,0 | 0,014 | 0,09 |
| 500,000 | 1,0 | 0,088 | 0,57 |
| 250,000 | 2,0 | 0,439 | 2,83 |
| 125,000 | 3,0 | 1,678 | 10,81 |
| 62,500 | 4,0 | 5,093 | 32,80 |
| 31,250 | 5,0 | 2,946 | 18,98 |
| 15,625 | 6,0 | 1,994 | 12,85 |
| 7,813 | 7,0 | 1,231 | 7,93 |
| 3,906 | 8,0 | 0,704 | 4,53 |
| 1,953 | 9,0 | 0,473 | 3,05 |
| < 1,953 | > 9,0 | 0,867 | 5,58 |

| PERCENTILI | | |
|------------|--------|--------|
| % | mm | phi |
| 1 | 0,4597 | 1,1213 |
| 5 | 0,2268 | 2,1402 |
| 10 | 0,1646 | 2,6029 |
| 16 | 0,1206 | 3,0521 |
| 25 | 0,0997 | 3,3265 |
| 50 | 0,0662 | 4,1534 |
| 75 | 0,0493 | 5,6955 |
| 84 | 0,0400 | 6,6418 |
| 90 | 0,0348 | 7,6970 |
| 95 | 0,0308 | 8,1041 |
| 99 | 0,0211 | 9,8208 |

| PARAMETRI GRAFICI (Folk & Ward) | |
|---------------------------------|--------|
| Diametro medio (phi) | 4,6158 |
| Coefficiente di cernita | 1,9526 |
| Coefficiente di asimmetria | 0,4041 |
| Coefficiente di appuntimento | 1,2047 |
| Deviazione interquartile | 1,1845 |

| | | |
|-------------------------|-------|--------|
| Totale | 15,53 | 100,00 |
| Peso secco iniziale (g) | 15,75 | |

| CLASSI GRANULOMETRICHE (%) | |
|----------------------------|--------|
| Ciottolo medio grossolano | --- |
| Ciottolo medio | --- |
| Ciottolo medio-fine | --- |
| Ciottolo fine | --- |
| Granulo | --- |
| Sabbia molto grossolana | 0,090 |
| Sabbia grossolana | 0,567 |
| Sabbia media | 2,827 |
| Sabbia fine | 10,808 |
| Sabbia finissima | 32,798 |
| Limo grossolano | 18,976 |
| Limo medio | 12,845 |
| Limo fine | 7,928 |
| Limo finissimo | 4,534 |
| Argilla | 8,626 |



ANALISI SEDIMENTOLOGICA

| | |
|--------------------------|--|
| LOCALITA': STROMBOLI | |
| DATA ESECUZIONE ANALISI: | |
| SONDAGGIO: | CAMPIONE: stazione 7b PROFONDITA': m |

| CLASSI PRINCIPALI (%) | | | |
|-----------------------|-------|---------|------|
| Ghiaia | 6,03 | Limo | 0,44 |
| Sabbia | 93,51 | Argilla | 0,02 |

| FRAZIONI (%) | |
|--------------------|-------|
| Grossolana (>63 μ) | 99,54 |
| Pellica (<63 μ) | 0,46 |

Classificazione AGI:
Sabbia con limo debolmente argillosa

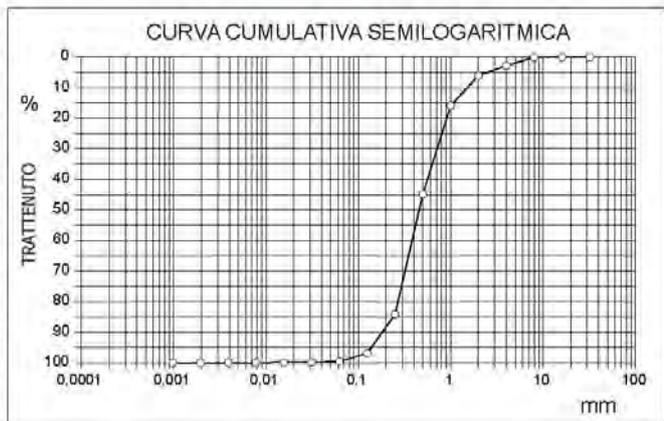
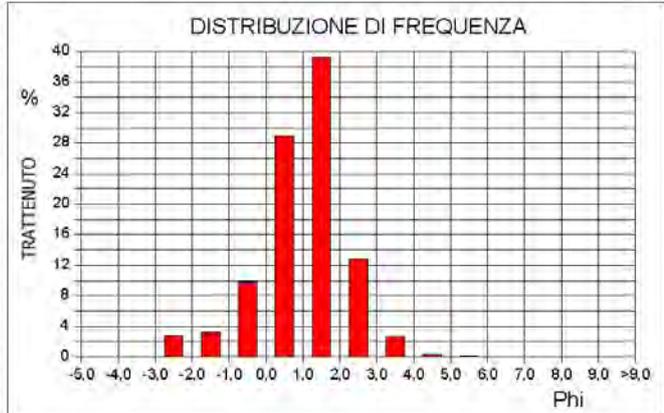
| Diametro (μ) | Phi | Peso (g) | Frequenza (%) |
|--------------|-------|----------|---------------|
| 32000,000 | -5,0 | — | — |
| 16000,000 | -4,0 | — | — |
| 8000,000 | -3,0 | — | — |
| 4000,000 | -2,0 | 0,919 | 2,78 |
| 2000,000 | -1,0 | 1,071 | 3,24 |
| 1000,000 | 0,0 | 3,253 | 9,85 |
| 500,000 | 1,0 | 9,562 | 28,97 |
| 250,000 | 2,0 | 12,954 | 39,24 |
| 125,000 | 3,0 | 4,230 | 12,81 |
| 62,500 | 4,0 | 0,872 | 2,64 |
| 31,250 | 5,0 | 0,114 | 0,35 |
| 15,625 | 6,0 | 0,023 | 0,07 |
| 7,813 | 7,0 | 0,005 | 0,01 |
| 3,906 | 8,0 | 0,002 | 0,01 |
| 1,953 | 9,0 | 0,002 | 0,01 |
| < 1,953 | > 9,0 | 0,005 | 0,01 |

| PERCENTILI | | |
|------------|--------|---------|
| % | mm | phi |
| 1 | 6,2367 | -2,6408 |
| 5 | 2,4913 | -1,3169 |
| 10 | 1,5125 | -0,5969 |
| 16 | 0,9972 | 0,0041 |
| 25 | 0,8040 | 0,3148 |
| 50 | 0,4565 | 1,1313 |
| 75 | 0,2935 | 1,7684 |
| 84 | 0,2504 | 1,9978 |
| 90 | 0,1816 | 2,4615 |
| 95 | 0,1385 | 2,8517 |
| 99 | 0,0721 | 3,7945 |

| PARAMETRI GRAFICI (Folk & Ward) | |
|---------------------------------|---------|
| Diametro medio (phi) | 1,0444 |
| Coefficiente di cernita | 1,1300 |
| Coefficiente di asimmetria | -0,1527 |
| Coefficiente di appuntimento | 1,1753 |
| Deviazione interquartile | 0,7268 |

| | | |
|-------------------------|-------|--------|
| Totali | 33,01 | 100,00 |
| Peso secco iniziale (g) | 33,18 | |

| CLASSI GRANULOMETRICHE (%) | |
|----------------------------|--------|
| Ciottolo medio grossolano | — |
| Ciottolo medio | — |
| Ciottolo medio-fine | — |
| Ciottolo fine | 2,784 |
| Granulo | 3,244 |
| Sabbia molto grossolana | 9,854 |
| Sabbia grossolana | 28,965 |
| Sabbia media | 39,240 |
| Sabbia fine | 12,813 |
| Sabbia finissima | 2,642 |
| Limo grossolano | 0,345 |
| Limo medio | 0,071 |
| Limo fine | 0,015 |
| Limo finissimo | 0,007 |
| Argilla | 0,020 |



ANALISI SEDIMENTOLOGICA

| | | |
|--------------------------|----------------------|---------------|
| LOCALITA': STROMBOLI | | |
| DATA ESECUZIONE ANALISI: | | |
| SONDAGGIO: | CAMPIONE: stazione 8 | PROFONDITA' m |

| CLASSI PRINCIPALI (%) | | | |
|-----------------------|-------|---------|-------|
| Ghiaia | 0,52 | Limo | 40,20 |
| Sabbia | 50,20 | Argilla | 9,09 |

| FRAZIONI (%) | |
|--------------------|-------|
| Grossolana (>63 μ) | 50,71 |
| Pellica (<63 μ) | 49,29 |

Classificazione AGI:
Sabbia con limo debolmente argillosa

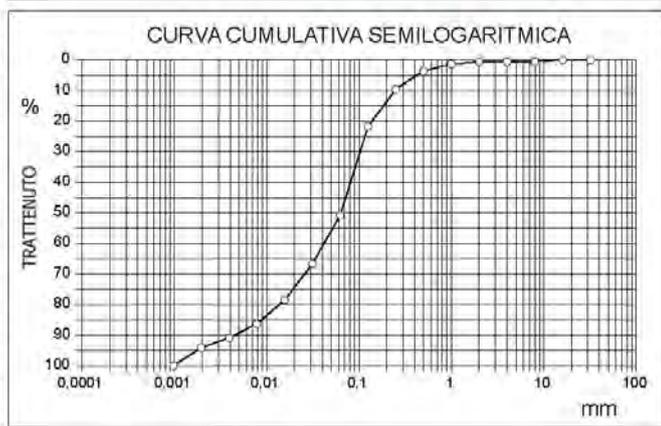
| Diametro (μ) | Phi | Peso (g) | Frequenza (%) |
|--------------|-------|----------|---------------|
| 32000,000 | -5,0 | --- | --- |
| 16000,000 | -4,0 | --- | --- |
| 8000,000 | -3,0 | 0,411 | 0,45 |
| 4000,000 | -2,0 | 0,043 | 0,05 |
| 2000,000 | -1,0 | 0,019 | 0,02 |
| 1000,000 | 0,0 | 0,701 | 0,77 |
| 500,000 | 1,0 | 2,032 | 2,22 |
| 250,000 | 2,0 | 5,516 | 6,03 |
| 125,000 | 3,0 | 11,130 | 12,17 |
| 62,500 | 4,0 | 26,540 | 29,01 |
| 31,250 | 5,0 | 14,571 | 15,93 |
| 15,625 | 6,0 | 10,862 | 11,87 |
| 7,813 | 7,0 | 7,108 | 7,77 |
| 3,906 | 8,0 | 4,230 | 4,62 |
| 1,953 | 9,0 | 2,951 | 3,23 |
| < 1,953 | > 9,0 | 5,365 | 5,86 |

| PERCENTILI | | |
|------------|--------|---------|
| % | mm | phi |
| 1 | 1,2922 | -0,3698 |
| 5 | 0,4210 | 1,2480 |
| 10 | 0,2435 | 2,0383 |
| 16 | 0,1730 | 2,5314 |
| 25 | 0,1155 | 3,1137 |
| 50 | 0,0636 | 3,9754 |
| 75 | 0,0492 | 5,7039 |
| 84 | 0,0096 | 6,7058 |
| 90 | 0,0045 | 7,8032 |
| 95 | 0,0018 | 9,1474 |
| 99 | 0,0011 | 9,8295 |

| PARAMETRI GRAFICI (Folk & Ward) | |
|---------------------------------|--------|
| Diametro medio (phi) | 4,4042 |
| Coefficiente di cernita | 2,2405 |
| Coefficiente di asimmetria | 0,3088 |
| Coefficiente di appuntimento | 1,2499 |
| Deviazione interquartile | 1,2951 |

| | | |
|-------------------------|-------|--------|
| Totale | 91,48 | 100,00 |
| Peso secco iniziale (g) | 91,50 | |

| CLASSI GRANULOMETRICHE (%) | |
|----------------------------|--------|
| Ciottolo medio grossolano | --- |
| Ciottolo medio | --- |
| Ciottolo medio-fine | 0,449 |
| Ciottolo fine | 0,047 |
| Granulo | 0,021 |
| Sabbia molto grossolana | 0,766 |
| Sabbia grossolana | 2,221 |
| Sabbia media | 6,030 |
| Sabbia fine | 12,167 |
| Sabbia finissima | 29,012 |
| Limo grossolano | 15,929 |
| Limo medio | 11,874 |
| Limo fine | 7,771 |
| Limo finissimo | 4,624 |
| Argilla | 9,090 |



| CAMPIONE | Peso specifico |
|-----------------|-----------------------|
| | in daN/m ³ |
| 1 | 2,748 |
| 2 | 2,732 |
| 3 | 2,625 |
| 4 | 2,658 |
| 5 | 2,593 |
| 6 | 2,716 |
| 7a | 2,813 |
| 7b | 2,599 |
| 8 | 2,850 |

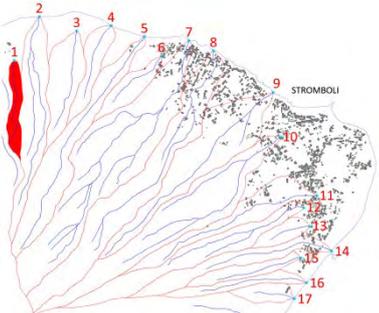
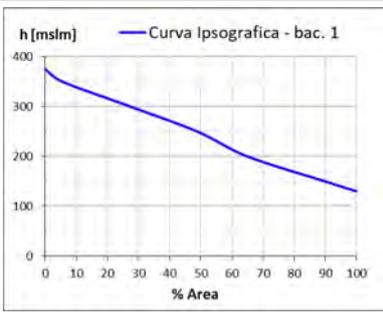
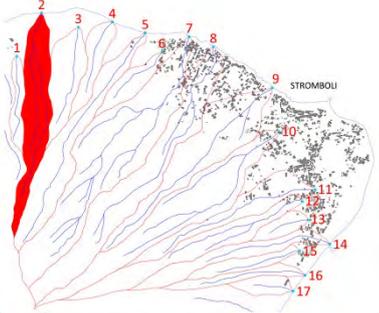
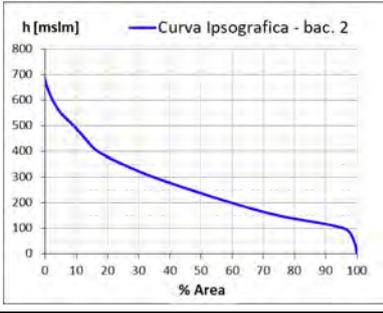
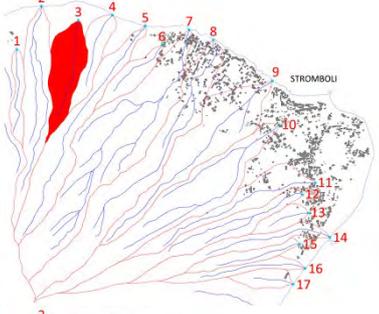
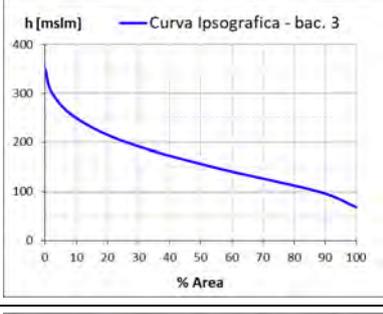
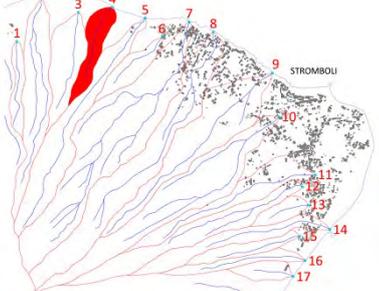
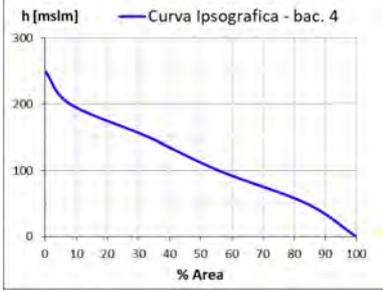
Tabella dei pesi specifici dei granuli dei materiali effusivi presenti nei campioni prelevati.

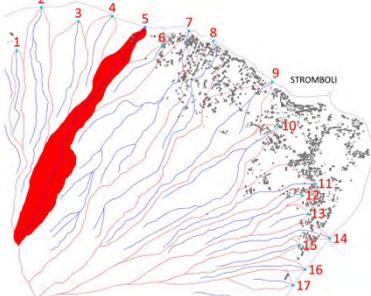
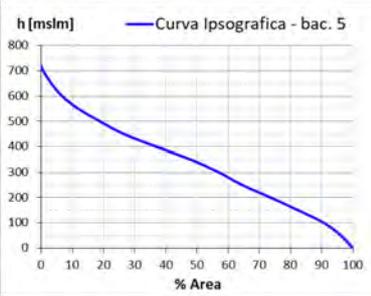
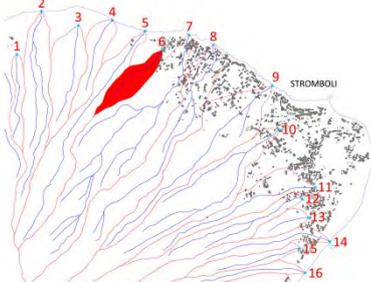
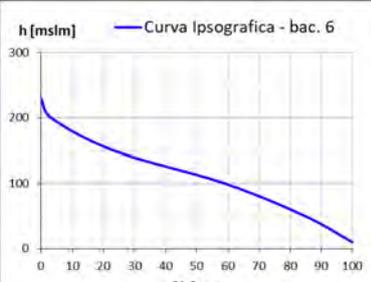
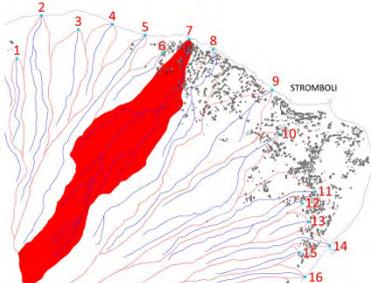
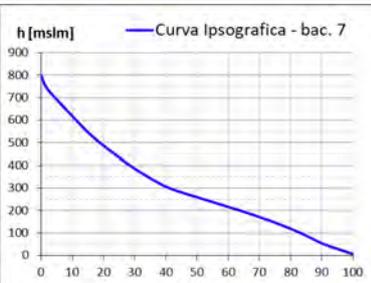
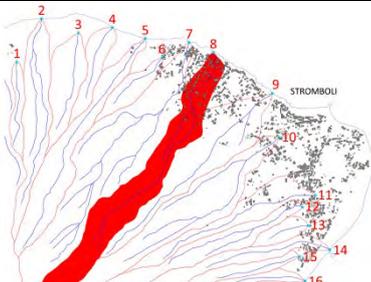
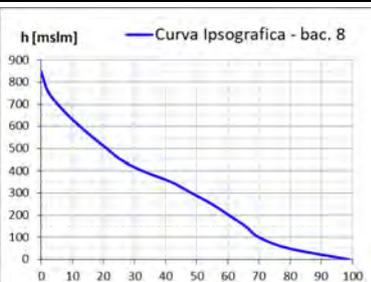
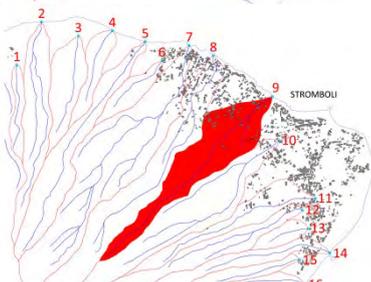
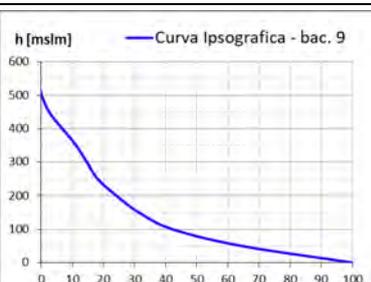
Allegato 2

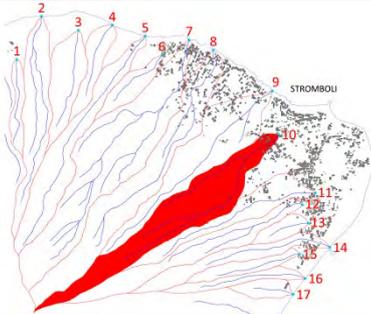
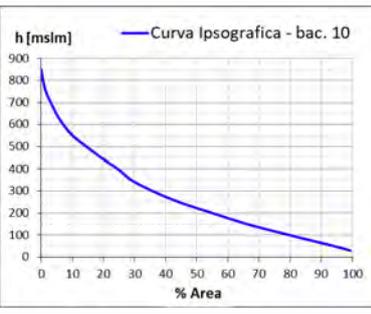
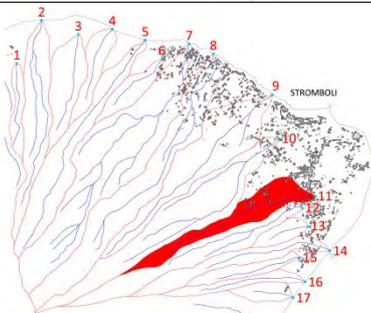
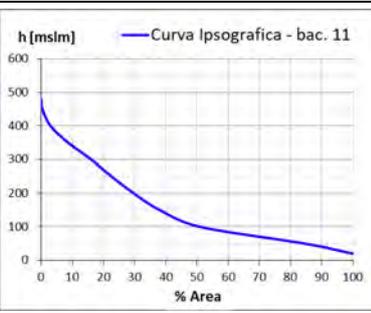
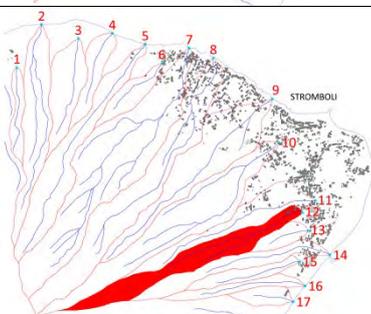
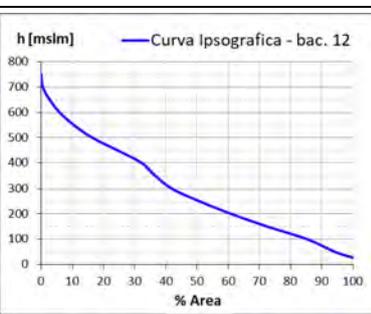
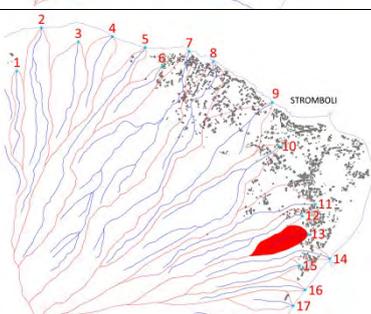
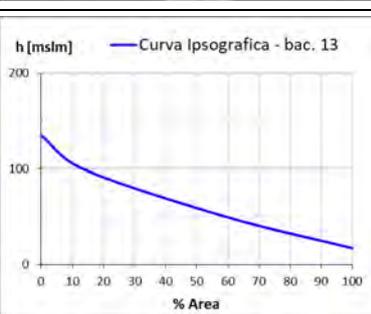
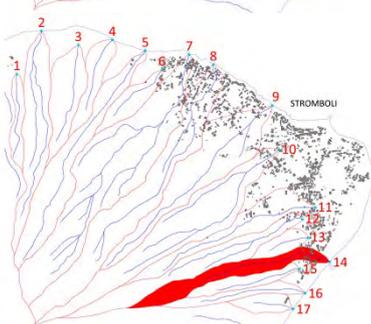
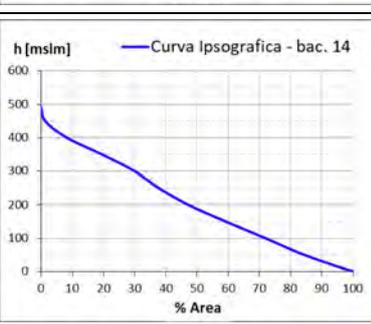
Caratteristiche morfometriche dei bacini dell'isola di Stromboli

a cura di Massimo Di Lascio e Giuseppe Rolandi

STUDIO IDROGRAFICO DEI BACINI DELL'AREA A MONTE DELL'ABITATO DI STROMBOLI

| Num. Bac. Idrogr. | Ubicazione sul versante a monte dell'abitato di Stromboli | Curva Ipsografica | Parametri |
|-------------------|---|--|--|
| 1 |  |  | Area bacino = 0,043 km ² Hi = 130m slm Hf = 375m slm Pm = 58,5% Tc = 9 minuti Indice Melton = 1,18 |
| 2 |  |  | Area bacino = 0,182 km ² Hi = 0m slm Hf = 680m slm Pm = 39,8% Tc = 19 minuti Indice Melton = 1,59 |
| 3 |  |  | Area bacino = 0,119 km ² Hi = 68m slm Hf = 350m slm Pm = 38,2% Tc = 16 minuti Indice Melton = 0,82 |
| 4 |  |  | Area bacino = 0,069 km ² Hi = 0m slm Hf = 250m slm Pm = 34,2% Tc = 14 minuti Indice Melton = 0,95 |

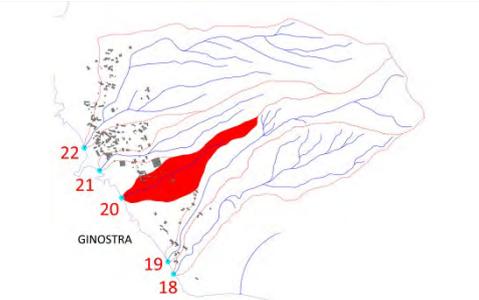
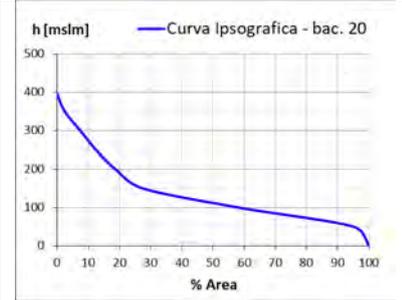
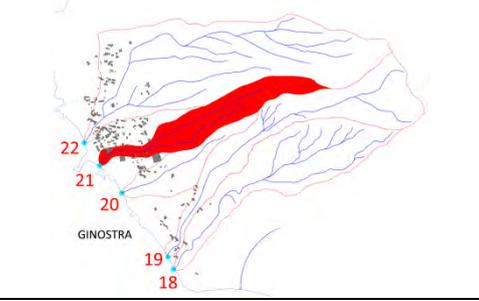
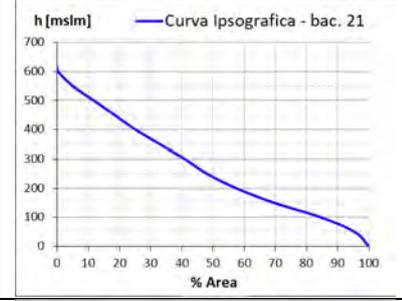
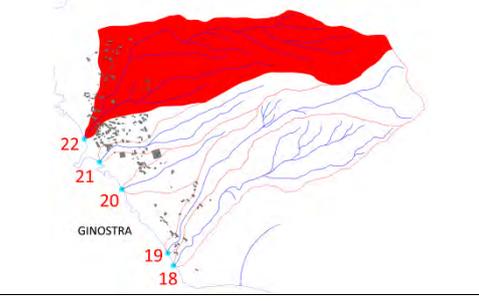
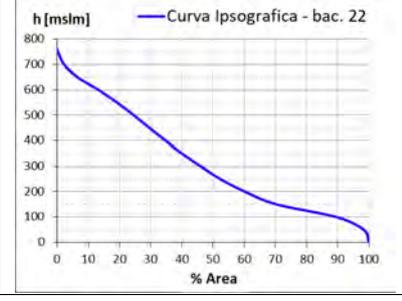
| | | | |
|---|---|---|--|
| 5 |  |  <p>h [mslm] — Curva Ipsografica - bac. 5</p> | <p>Area bacino = 0,222 km² Hi = 0m slm Hf = 720m slm Pm = 40,7% Tc = 20 minuti Indice Melton = 1,53</p> |
| 6 |  |  <p>h [mslm] — Curva Ipsografica - bac. 6</p> | <p>Area bacino = 0,060 km² Hi = 10m slm Hf = 230m slm Pm = 32,3% Tc = 13 minuti Indice Melton = 0,90</p> |
| 7 |  |  <p>h [mslm] — Curva Ipsografica - bac. 7</p> | <p>Area bacino = 0,499 km² Hi = 0m slm Hf = 800m slm Pm = 34,6% Tc = 28 minuti Indice Melton = 1,13</p> |
| 8 |  |  <p>h [mslm] — Curva Ipsografica - bac. 8</p> | <p>Area bacino = 0,325 km² Hi = 0m slm Hf = 850m slm Pm = 29,5% Tc = 25 minuti Indice Melton = 1,49</p> |
| 9 |  |  <p>h [mslm] — Curva Ipsografica - bac. 9</p> | <p>Area bacino = 0,262 km² Hi = 0m slm Hf = 510m slm Pm = 32,0% Tc = 31 minuti Indice Melton = 1,00</p> |

| | | | |
|----|---|--|--|
| 10 |  |  <p>h [mslm] — Curva Ipsografica - bac. 10</p> | <p>Area bacino = 0,304 km² Hi = 30m slm Hf = 850m slm Pm = 32,5% Tc = 23 minuti Indice Melton = 1,49</p> |
| 11 |  |  <p>h [mslm] — Curva Ipsografica - bac. 11</p> | <p>Area bacino = 0,140 km² Hi = 20m slm Hf = 480m slm Pm = 28,8% Tc = 21 minuti Indice Melton = 1,23</p> |
| 12 |  |  <p>h [mslm] — Curva Ipsografica - bac. 12</p> | <p>Area bacino = 0,178 km² Hi = 27m slm Hf = 750m slm Pm = 33,1% Tc = 16 minuti Indice Melton = 1,71</p> |
| 13 |  |  <p>h [mslm] — Curva Ipsografica - bac. 13</p> | <p>Area bacino = 0,039 km² Hi = 17m slm Hf = 135m slm Pm = 32,7% Tc = 13 minuti Indice Melton = 0,60</p> |
| 14 |  |  <p>h [mslm] — Curva Ipsografica - bac. 14</p> | <p>Area bacino = 0,115 km² Hi = 0m slm Hf = 490m slm Pm = 29,1% Tc = 15 minuti Indice Melton = 1,44</p> |

| | | | |
|----|--|--|--|
| 15 | | | <p>Area bacino = 0,056 km² Hi = 20m slm Hf = 320m slm Pm = 38,8% Tc = 12 minuti Indice Melton = 1,27</p> |
| 16 | | | <p>Area bacino = 0,055 km² Hi = 0m slm Hf = 400m slm Pm = 38,4% Tc = 12 minuti Indice Melton = 1,70</p> |
| 17 | | | <p>Area bacino = 0,040 km² Hi = 0m slm Hf = 210m slm Pm = 52,2% Tc = 10 minuti Indice Melton = 1,05</p> |

STUDIO IDROGRAFICO DEI BACINI DELL'AREA A MONTE DELL'ABITATO DI GINOSTRA

| | | | |
|----|--|--|---|
| 18 | | | <p>Area bacino = 0,244 km² Hi = 0m slm Hf = 850m slm Pm = 55,8% Tc = 19 minuti Indice Melton = 1,72</p> |
| 19 | | | <p>Area bacino = 0,232 km² Hi = 0m slm Hf = 910m slm Pm = 53,6% Tc = 21 minuti Indice Melton = 1,89</p> |

| | | | |
|------------------|--|---|---|
| <p>20</p> |  | <p>h [mslm] — Curva Ipsografica - bac. 20</p>  | <p>Area bacino = 0,081 km² Hi = 0m slm Hf = 395m slm Pm = 44,9% Tc = 15 minuti Indice Melton = 1,39</p> |
| <p>21</p> |  | <p>h [mslm] — Curva Ipsografica - bac. 21</p>  | <p>Area bacino = 0,128 km² Hi = 0m slm Hf = 615m slm Pm = 47,3% Tc = 14 minuti Indice Melton = 1,72</p> |
| <p>22</p> |  | <p>h [mslm] — Curva Ipsografica - bac. 22</p>  | <p>Area bacino = 0,494 km² Hi = 0m slm Hf = 760m slm Pm = 38,0% Tc = 26 minuti Indice Melton = 1,08</p> |