IL MONITORAGGIO DELLO STROMBOLI

A cura di Jacopo Crimi

Versione in italiano, francese e inglese su *Stromboli online*
http://stromboli.net

INDICE

1. LA NORMALE ATTIVITA' STROMBOLIANA
2. L'ATTIVITA' DELLO STROMBOLI NEL 2002
3. IL MONITORAGGIO DELLO STROMBOLI NEL 2003
    a. DEFORMAZIONI
    b. EMISSIONI DI GAS
    c. ATTIVITA' SISMICA
    d. STABILITA' DEL PENDIO
4. LIMITI DI SICUREZZA
5. L'ATTIVITA' OSSERVABILE NEL 2003
6. NOTA IMPORTANTE

Figura 0 in copertina - © INGV Catania

1. La normale attività Stromboliana

Lo Stromboli è un vulcano attivo alto circa 3000 m (di cui 924 emersi), noto sin dall'antichità come il "Faro del Mediterraneo" per i bagliori rossi che si sprigionano dai suoi crateri ad ogni esplosione.

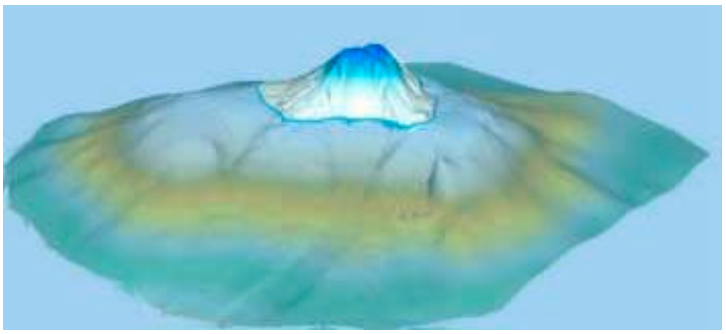
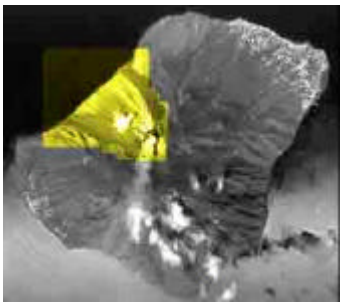


Figura 1 - © Alain Melchior: Lo Stromboli nella parte immersa

Figura 2 - © Juerg Alean: Tipica esplosione stromboliana dal cratere 1

L'abituale attività esplosiva è dovuta all'accumulo di gas sotto la crosta raffreddata del magma presente nei condotti. Quando la pressione del gas supera un certo limite, rompe la superficie del magma proiettando dai crateri magma e frammenti del condotto, con frequenza variabile da pochi minuti a qualche ora.

Numero e forma delle bocche, situate a circa 725 metri s.l.m., variano nel tempo. Fino all'inizio del 2003 , queste erano raggruppate all'interno di tre crateri: denominati cratere Nord Est (n°1), cratere Centrale (n°2) e cratere Sud Ovest (n°3).



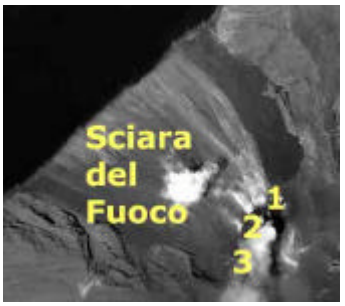


Figura 3, 4 e 5 - © Stromboli on Line: Settore Nord Occidentale dello Stromboli

La maggior parte dei prodotti dell'attività vulcanica si depositano lungo il fianco nord occidentale dell'isola in un area segnata da una profonda depressione morfologica, detta Sciara del Fuoco. La Sciara del Fuoco, a causa della sua accentuata pendenza ed essendo costituita da prodotti dell'attività vulcanica differenti tra di loro (lava, cenere e rocce), è perennemente soggetta a frane.

Da quando si è formata la Sciara del Fuoco (circa 5.000 anni fa), il vulcano Stromboli è sostanzialmente stabile e non si sono verificati fenomeni catastrofici: tuttavia l'abituale attività osservabile ai crateri viene storicamente interrotta da fasi transitorie più o meno lunghe in cui l'attività del vulcano si fa intensa.

Si verificano quindi sporadicamente esplosioni più violente, emissioni di lava e con l'interagire di questi fattori anche frane di consistenti dimensioni.

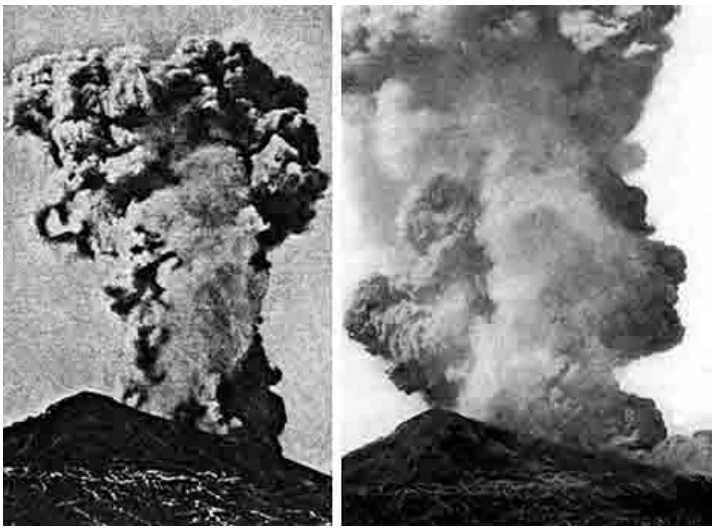


Figura 6 – © Perret: Forte esplosione del 13 Novembre 1915

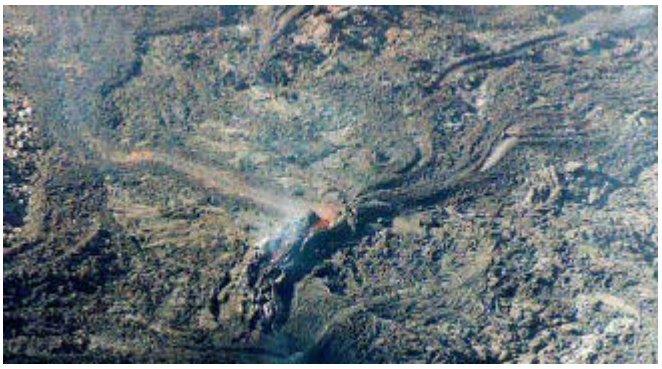


Figura 7 - © Sergio Ballarò: Marzo 2003. Bocca effimera sul Pianoro sotto Bastimento

Figura 8 – © Juerg Alean: Aprile 2003. Colate laviche dal pianoro sotto Bastimento e sullo sfondo il cratere 1

2. L'attività dello Stromboli nel 2002

Dalla seconda metà del 2002 lo Stromboli evidenzia un' intensa attività esplosiva. Il 19 novembre 2002 il livello del magma è così alto nei condotti da tracimare dall'orlo del Cratere 2.

Dal 7 al 10 di dicembre, l'attività esplosiva subisce una flessione per poi aumentare nuovamente nei giorni successivi. L'altezza dei getti di lava dal cratere 1 raggiunge i 200 m e si evidenzia la presenza di magma in prossimità dell'orlo craterico.

Alle 18:30 del 28 dicembre 2002 questa attività culmina con la fuoriuscita di un flusso lavico che prende origine dalla base nord-orientale del Cratere 1 (a circa 600 metri s.l.m.) e raggiunge il mare in trenta minuti.

Figura 9- © Marco Fulle: Flusso lavico in mare

Alle 13:15 del 30 dicembre 2002 si verifica il crollo di una parte della Sciara del Fuoco (stimati 20.000.000 m^3, di cui 2/3 nella parte immersa), probabilmente a causa del consistente flusso lavico emesso dal 28 dicembre.

Questo evento, oltre a provocare un onda di maremoto (tsunami) - simile a quelle del 1930, del 1944 e del 1954 – contribuisce a indebolire la struttura esterna del vulcano, evidenziando fratture in prossimità dei crateri e lungo la Sciara del Fuoco.

Figura 10 - © INGV Catania:
Cenere sollevata dal crollo del 30 dicembre 2002

Nel 2003, alcune di queste fratture si evolvono in crolli (inter e intracraterici) mentre l'emissione di lava continua da un numero variabile di bocche effimere.

La maggior parte di queste bocche temporanee da cui fuoriesce la lava è situata su un pianoro (sotto Bastimento) a circa 590 metri s.l.m. Questa continua emissione ha ormai creato un notevole accumulo di materiale sull'orlo di questo pianoro. (Figura 7 e 8).

La morfologia del vulcano appare quindi profondamente cambiata dall'inizio di quest'anno e oltre all'osservazione diretta è necessario altresì misurare ed analizzare i fenomeni superficiali per comprendere quelli profondi a cui va incontro il vulcano.

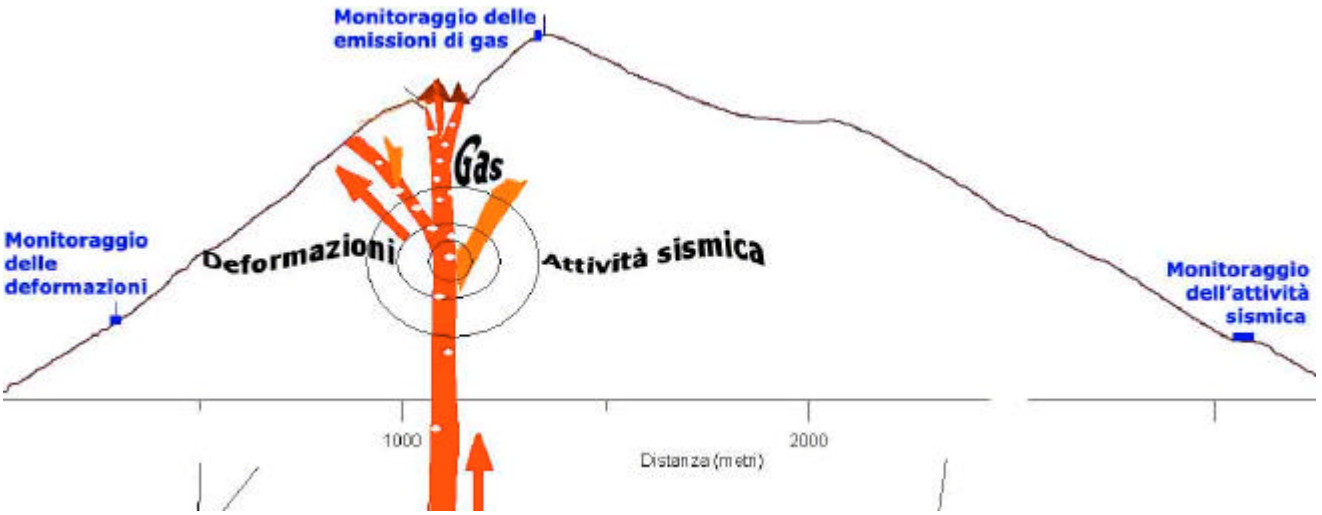


Figura 11- © Alain Melchior: Schema dei fenomeni legati al movimento del magma

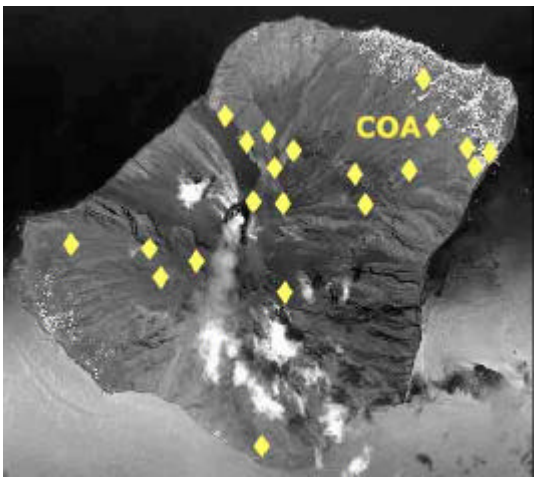


Figura 12: Stazioni di monitoraggio e COA

Figura 13: Osservatorio San Vincenzo

3. Il monitoraggio dello Stromboli nel 2003

La Protezione civile ha provveduto, dall'inizio di quest'anno, a installare una fitta rete di strumenti per monitorare il vulcano e controllare l'insorgere di fenomeni pericolosi.

E presente a Stromboli una serie di dispositivi denominati: Rete EDM, Rete GPS, Rete clinometrica, Interferometro SAR, Stazioni geochimiche di flusso, Rete geochimica acque e radon, COSPEC, Rete sismica broad band, Rete sismoacustica e radiometro, telecamera termica e telecamere a trasmissione satellitare. (vedi in figura 12 la collocazione delle principali stazioni di monitoraggio e le spiegazioni nei capitoli successivi).

I dati e le informazioni provenienti dagli strumenti installati dall'inizio dell'anno a Stromboli confluiscono tramite satelliti, onde radio e fibra ottica al Centro Operativo Avanzato (COA) del Dipartimento della Protezione Civile (Presidenza del Consiglio dei Ministri) presso l'osservatorio San Vincenzo. (vedi figura 13).

Le diverse strutture operative attive a Stromboli sono:
Regione Siciliana; Provincia di Messina; Comune di Lipari; Esercito italiano; Marina Militare; Aeronautica Militare; Carabinieri; Polizia di stato; Guardia di Finanza-SAGF; Corpo Nazionale dei VV. F.; Guardia Costiera – Capitaneria di Porto; Corpo Forestale Regione Siciliana; Polizia Municipale; Sovrintendenza dei BB. CC. AA della Regione Siciliana; ASL; Croce Rossa Italiana; Guide Alpine Vulcanologiche di Stromboli; Volontariato.

Gli enti di ricerca coinvolti a Stromboli, non solo per scopi di Protezione Civile, sono molti. Fra questi ricordiamo: Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) presente con diverse sezioni; Università di Bologna, Firenze, Milano, Pisa, Roma 1, Roma 3, Torino, Udine; CNR, ISMAR-IGM Bologna; CRC; Pennsylvania State University; CSIC Madrid; University of Hawaii.

Oltre all'osservazione diretta dell'attività con telecamere a trasmissione satellitare e ai sopralluoghi sul campo e in elicottero con telecamere termiche, è importante comprendere anche l'attività meno visibile.

Monitorare un vulcano significa rilevare e analizzare i fenomeni misurabili che riflettono il movimento del magma in profondità. Il magma deforma le strutture all'interno delle quali si muove, emette gas e provoca le tipiche esplosioni stromboliane. Il monitoraggio si concentra quindi su questi tre temi: deformazioni, emissioni di gas e esplosioni stromboliane per comprendere quali sono i fenomeni profondi che interessano il vulcano. (vedi figura 11).

Questo permette di conoscere sempre meglio i meccanismi eruttivi ed aiuta a prevedere l'insorgere di fenomeni pericolosi per l'uomo quali esplosioni violente e frane imponenti.

a. Deformazioni

Il movimento del magma in profondità, la sua intrusione dentro le fratture, e la sua risalita provocano delle deformazioni locali che si riflettono sulla struttura esterna dello Stromboli. Vengono quindi scelte delle zone teoricamente soggette a deformazioni in caso di eventi maggiori e vi si installano delle stazioni, di cui si controlla la posizione. Se vi sono più stazioni di controllo, si parla allora di rete di strumenti. A Stromboli sono state installate tre reti, oltre ad una stazione magnetica e un radar da terra in grado di segnalare con precisione eventuali deformazioni.

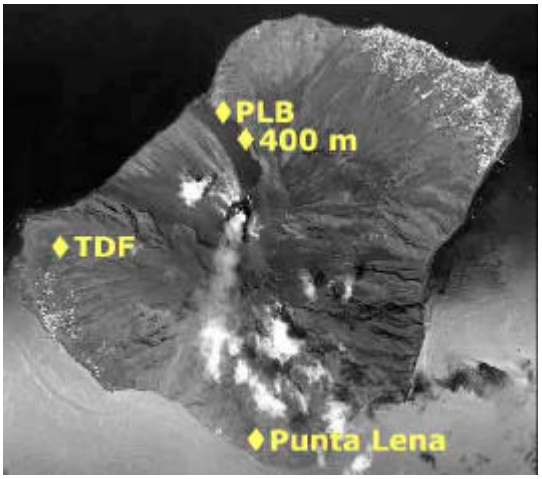


Figura 14: Stazioni per la misura delle deformazioni

:

Rete INGV EDM Sciara Bassa
(Electronic Distance Measurments). Viene emesso un fascio di luce laser da un dispositivo (detto teodolite, in figura 15) installato a Punta Labronzo (PLB), per controllare automaticamente la posizione di diverse stazioni poste nella Sciara bassa.

Figura 15: Teodolite della rete EDM a PLB

.

Rete INGV GPS
(Global Positioning System). Questo sistema si appoggia ad una serie di satelliti in orbita intorno alla Terra e permette di individuare quota, latitudine e longitudine di diverse stazioni poste nella Sciara e sui versanti dello Stromboli.

Rete permanente INGV clinometrica
Viene controllata continuamente la pendenza due stazioni - Timpone del Fuoco (TDF) e Punta Labronzo (PLB) - secondo due componenti: radiale e tangenziale al pendio.

Stazione Magnetica
Questo dispositivo installato a Punta Lena permette di rilevare le variazioni del campo magnetico locale (anomalie magnetiche) indotte dal movimento del magma

Interferometro SAR Università di Firenze e JRC ISPRA
(Synthetic Aperture Radar). Questo strumento, installato a 400 metri s.l.m., è un vero e proprio radar da terra montato su binari, che permette di scandagliare tutto il versante alto della Sciara del Fuoco.
Il segnale radar, inviato con un'antenna, viene riflesso dal bersaglio (la Sciara del Fuoco) e registrato al suo ritorno dall'altra antenna. L'analisi del segnale riflesso permette di individuare eventuali deformazioni sopraggiunte tra un passaggio e l'altro con una precisione superiore al millimetro.

Figura 16: SAR a 400 metri s.l.m.

b. Emissioni di gas

Il magma, muovendosi, emette in grande quantità diversi tipi di gas (principalmente H_2O, CO_2, SO_2): questi contaminano le acque freatiche e risalgono lungo le fratture e i condotti del vulcano. Prima delle esplosioni violente, si possono verificare in superficie dei cambiamenti nelle emissioni di gas. In figura 17 viene riportata in giallo l'ubicazione dei pozzi campionati a Stromboli: Fulco, Zurro, Cusolito e Limoneto e la stazione permanente del Pizzo e di Scari; in rosso sono riportate le stazioni per la misura del radon.

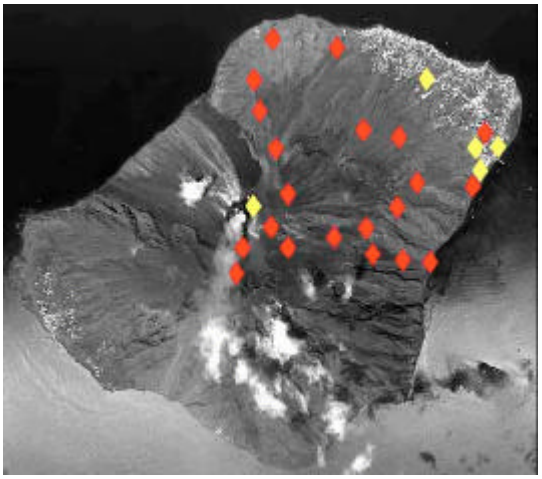


Figura 17: Stazioni per la misura delle emissioni di gas

Stazioni geochimiche INGV di flusso CO_2 e temperature del suolo
Si tratta di sonde, inserite nel terreno (al Pizzo sopra la Fossa e a Scari) a una profondità di circa 50 cm, che permettono di misurare continuamente la quantità di CO_2 emessa dal suolo (in grammi per metro quadro al giorno).

Rete geochimica INGV acque
Per misurare l'eventuale contaminazione delle acque da parte di gas di origine vulcanica vengono misurati due volte alla settimana i principali parametri chimico fisici (composizione, temperatura, pH, conducibilità elettrica (Eh)) di diversi pozzi dell'isola.
Le analisi più complesse (ioni in soluzione, concentrazione di metalli, Cl, S, composizione isotopica) dei campioni di acqua prelevati vengono effettuate dall'INGV nel laboratorio di Palermo.

Rete geochimica Radon Università di Torino
La quantità di gas radon emessa dal suolo è connessa alla risalita di fluidi lungo le fratture strutturali dell'apparato vulcanico e costituisce un ottimo segnale precursore di eventuali attività maggiori. L'emissione di questo gas radioattivo viene controllata tre volte alla settimana (in Becquerel al metro cubo) attraverso una rete di 25 stazioni dislocate sull'isola.

Figura 18 – Sensore e stazione per la misura del radon

COSPEC (Correlation Spectrometer)

Durante il sorvolo quotidiano in elicottero dei crateri, questo strumento (spettrometro) analizza la luce riflessa dal plume (il pennacchio vulcanico) e calcola l'emissione giornaliera di SO_2 (in tonnellate per giorno). Il COSPEC viene usato insieme ad un anemometro in quanto la direzione e la forza del vento influenzano notevolmente le misure.

Figura 19: Elicottero della Protezione Civile e Misure COSPEC dall'elicottero

c. Attività Sismica

A Stromboli l'attività sismica è per la maggior parte dovuta alle esplosioni stromboliane, la cui impronta sismica prende spesso il semplice nome di evento sismico. Questi provocano vicino ai crateri delle oscillazioni del terreno, delle onde sonore ed infrasoniche e degli impulsi termici che vengono rilevati dagli strumenti presenti a Stromboli.

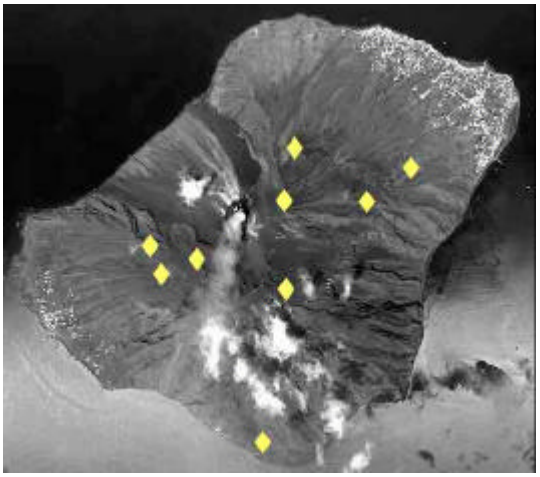


Figura 20: Stazioni per la misura dell'attività sismica

Osservando un tracciato sismico dello Stromboli si notano il tremore continuo del vulcano, gli eventi sismici associati all'attività stromboliana e le frane.

Confrontando le diverse forme dei segnali e i loro diversi tempi di arrivo alle stazioni della rete sismica è possibile risalire all'evento d'origine.

Questo permette di dedurre che la consueta attività esplosiva, non attualmente visibile ai crateri, continua tuttavia a manifestarsi più in profondità.

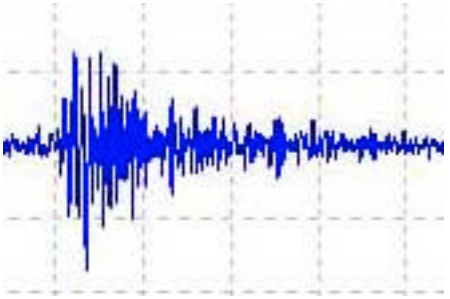


Figura 21 - © Roberto Carniel: Segnale di un evento sismico

Rete sismica broad band INGV

Questi strumenti (in figura 20 la loro collocazione sull'isola) misurano le oscillazioni del terreno in termini di velocità in tre direzioni (dette componenti) perpendicolari tra di loro, tipicamente Verticale, Nord-Sud ed Est-Ovest.

Il termine broad band (banda larga) indica che i sismometri (figura 22) registrano sia le alte che le basse frequenze (rispettivamente i movimenti rapidi e lenti del vulcano).

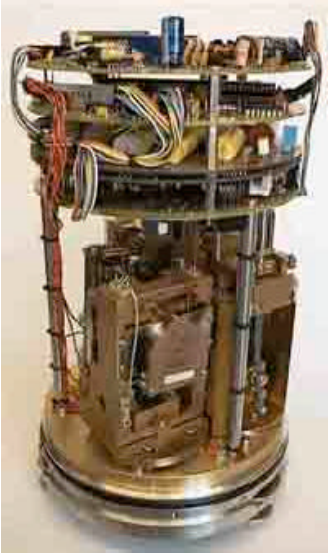


Figura 22 - © Guralp: L'interno di un sismometro

Rete sismoacustica e Radiometro Università di Firenze

Una serie di microfoni disposti nell'area craterica registrano gli infrasuoni emessi dalle esplosioni. Come i sismometri individuano gli eventi sismici attraverso le oscillazioni del terreno, i microfoni registrano nell'aria l'onda di pressione generata dalle esplosioni.

Questo permette di risalire alla direzione di provenienza dell'evento esplosivo in modo più accurato.

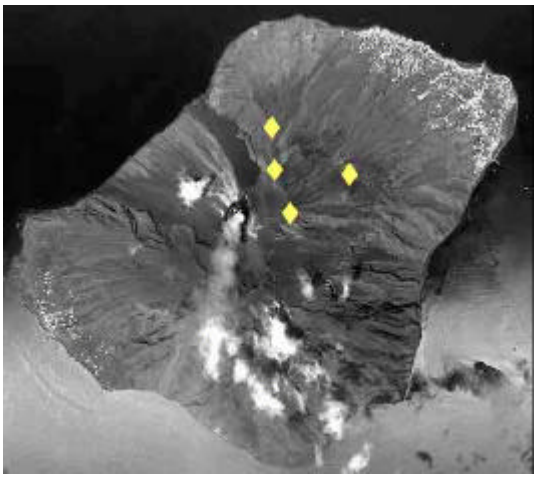


Figura 23: Stazioni per la misura dell'attività acustica e termica

Situato a circa 500 m dai crateri, il radiometro (a 15° di apertura angolare) rileva le variazioni di temperatura di un campo grande 150 metri su 150 metri. Si riesce così a monitorare la fuoriuscita di materiale caldo dai crateri.

d. Stabilità del pendio

I numerosi fenomeni legati all'attività vulcanica (deformazioni, emissione di gas, terremoti, colate laviche) influenzano direttamente la stabilità del pendio della Sciara del Fuoco. E' quindi dall'integrazione di tutti i dati raccolti con gli strumenti citati che viene valutata la stabilità della Sciara e il relativo rischio di frane consistenti.

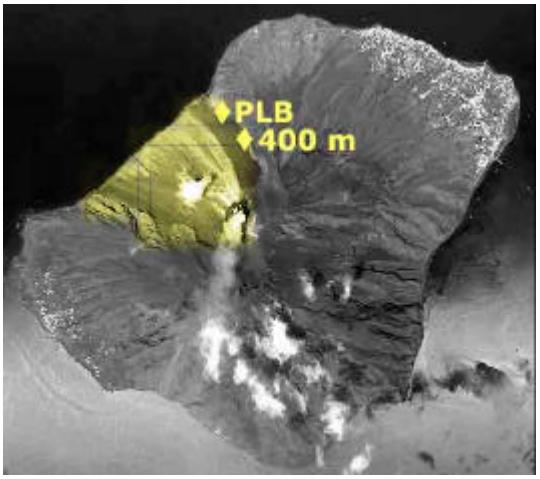


Figura 24: Stazioni per la misura della stabilità del pendio

Oltre alla **rete sismica** che indica il numero di frane giornaliere, ricordiamo la **rete EDM** e l'**interferometro SAR** che controllano continuamente l'insorgere di deformazioni e quindi di fratture che potrebbero evolvere in possibili crolli. Per analizzare correttamente tutte le informazioni rilevate è altrettanto necessario un controllo visivo continuo degli eventi.

Telecamere satellitari Protezione Civile
Sono presenti due telecamere rivolte verso la Sciara del Fuoco, installate a 400 metri s.l.m. e a Punta Labronzo (PLB).

Queste telecamere, direzionabili a distanza, permettono di controllare continuamente la stabilità del pendio, la portata delle colate, le emissioni di cenere.

Figura 25 :Telecamera satellitare a PLB

Telecamera termica
Utilizzata durante l'osservazione diretta sul campo e i sorvoli giornalieri in elicottero, permette di evidenziare sulle immagini le zone ad alta temperatura (ad esempio colate, fratture, zone di degassazione, frane dentro i crateri) altrimenti invisibili ad occhio nudo.

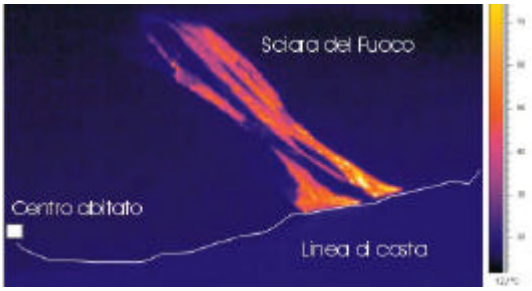


Figura 26 - © INGV Catania:
Immagine termica della Sciara del Fuoco

4. Limiti di sicurezza

Confrontando le informazioni provenienti dalle diverse attività di monitoraggio (deformazione, emissioni di gas, attività sismica e osservazione diretta) e mettendole in relazione è possibile conoscere i fenomeni profondi che interessano oggi il vulcano.
Dall'analisi della sua storia e dai dati che provengono dalle attività di monitoraggio, è possibile affermare che lo Stromboli è ora in una fase normale del suo ciclo, anche se la sua attività appare particolarmente intensa. Per quanto riguarda la previsione di eventi maggiori grazie alle attività di monitoraggio il discorso per frane e esplosioni và separato.

Frane
La stabilità del pendio della Sciara del Fuoco è intensamente ed efficacemente controllata 24 ore su 24; nel caso ci fosse un crollo di dimensioni simili a quello del 30 dicembre 2002, lo si individuerebbe per tempo. Come ulteriore precauzione, sono installati a Stromboli due ondametri posti in mare ai bordi della Sciara per rilevare eventuali onde anomale. In questo caso è previsto un sistema di allarme per avvertire la popolazione ed allontanarla rapidamente dalle zone costiere.

E' per il momento improbabile che si verifichi un crollo di dimensioni simili a quello del 30 dicembre scorso, in quanto questa frana ha asportato la maggior parte del materiale instabile presente sulla Sciara del Fuoco.

Esplosioni
La violenta esplosione occorsa il 5 aprile 2003 è avvenuta con tutti gli strumenti della rete di monitoraggio perfettamente funzionanti ma non sono stati individuati per tempo i segnali precursori dell'evento.

E' tuttora in corso una meticolosa analisi dei dati raccolti prima del 5 aprile per cercare possibili segnali precursori, registrati dagli strumenti ma non ancora identificati.

Figura 27 – © Jacopo Crimi:
Forte esplosione del 5 aprile 2003

Limiti di sicurezza
Anche se gli eventi maggiori come quelli del 30 dicembre e del 5 aprile scorso hanno tempi di ritorno elevati (ossia storicamente accadono raramente), la Protezione Civile ha imposto in via precauzionale una serie di limiti di sicurezza.
.
A causa delle continue frane che interessano il versante della Sciara del Fuoco (proiettando talvolta massi sino a diverse centinaia di metri dalla linea di costa) e considerata la possibilità di un crollo maggiore, per tutto il 2003 permane il divieto di balneazione e di navigazione a meno di 800 metri dalla Sciara del Fuoco.

Considerando che l'evento del 5 Aprile ha riversato proiettili sino a quota 500 metri s.l.m. e che non sono stati ancora evidenziati segni precursori univoci dell'evento, il limite di sicurezza per l'accesso al vulcano è stato fissato a 290 metri s.l.m. (fine mulattiera).
Per andare sino ai 400 metri s.l.m., e avere una più completa visione della Sciara del Fuoco e del campo lavico, è assolutamente obbligatorio farsi accompagnare dalle guide vulcanologiche operanti sull'isola.
I trasgressori saranno perseguiti a termini di legge e denunciati all'autorità giudiziaria.

Figura 28: Emissione di cenere dai crateri a Giugno 2003, vista da Piscità.

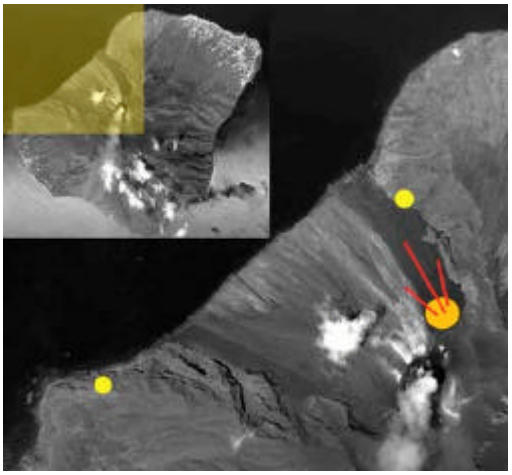


Figura 29: Schema dei punti di osservazione della Sciara del Fuoco.

Figura 30 – © Marco Fulle: Colate laviche a Giugno 2003, viste da 400 metri s.l.m. lato Stromboli.

Figura 31 – © Marco Fulle: Frane e grain flow, sulla Sciara del Fuoco, viste da 400 metri s.l.m. lato Stromboli.

5. L'attività osservabile nel 2003

Da maggio 2003, la normale attività Stromboliana (liberazione di gas dai crateri in modo impulsivo) è di nuovo visibile anche dai villaggi di Stromboli e di Ginostra sotto la forma di emissioni di cenere (figura 28). Questi eventi corrispondono agli eventi sismici descritti in precedenza, associati in questo caso a segnali infrasonici e termici.

Le colate laviche attive sul Pianoro sotto bastimento (quota 600 metri s.l.m.) continuano a fluire dal 28 dicembre scorso e raggiungono quote variabili (raramente oltre i 300 metri s.l.m.) sulla Sciara del Fuoco a seconda del livello di effusione.

Da quando cala il sole, l'emissione di lava è facilmente osservabile dal mare e dai sentieri che dai villaggi di Stromboli e Ginostra portano ai crateri.

Dal lato del villaggio di Stromboli è possibile osservare l'emissione di lava sin da quota 290 metri s.l.m., mentre dal lato di Ginostra è sufficiente arrivare a Punta del Corvo (quota 150 metri s.l.m.) per avere una buona visione del campo lavico e della Sciara del Fuoco.

Da questi punti di osservazione, è possibile notare come la morfologia dei crateri sia cambiata dall'inizio dell'anno e come la lava deposta abbia provocato la crescita del pianoro da cui sgorga.

In figura 29 viene riportata la schematizzazione dei punti di osservazione in giallo, del pianoro in arancione e delle colate in rosso.

Le continue frane visibili sulla Sciara del Fuoco sono per lo più dovute al distacco della parte più avanzata delle colate laviche e creano un accumulo di materiale alla base del versante. Questo deposito forma una sorta di trampolino da cui i blocchi, dopo la corsa sul pendio della Sciara, vengono proiettati in mare, talvolta a decine di metri dalla linea di costa.

E' inoltre possibile osservare sulla Sciara un curioso fenomeno, denominato grain flow: quelle che sembrano delle fratture dalle quali si libera gas (evidenziato in figura 31) sono in realtà delle piccole frane di elementi della stessa granulometria che procedono solidali l'un con l'altro, a velocità molto ridotta.

Ricordiamo ancora che per superare quota 290 metri s.l.m., sia dal lato Stromboli che dal lato Ginostra, è obbligatorio farsi accompagnare dalle guide autorizzate operanti sull'isola, mentre non è consentito avvicinarsi a meno di 800 metri dalla linea di costa della Sciara del Fuoco.

Questi limiti permettono di osservare in sicurezza l'attività dello Stromboli, opportunità rara per potersi avvicinare ad un vulcano attivo e contemplare spettacolari fenomeni che riflettono un'attività profonda ancora in parte sconosciuta.

6. Nota Importante

Le informazioni riportate su questo documento sono state compilate sulla base dei comunicati giornalieri pubblicati su internet dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) sezione di Catania e consultando documentazione del settore.

Questo documento non intende assumere nessun carattere di ufficialità e mira alla divulgazione delle importanti attività di monitoraggio che fanno ora dello Stromboli uno dei vulcani più controllati al mondo.

Per informazioni ufficiali, si invita il lettore a consultare tali comunicati:
http://www.ct.ingv.it/Stromboli2002/Main.htm

Tutte le cartine sono state rielaborate da una foto satellitare tratta dall'archivio fotografico di Stromboli on Line ©.

Tutte le immagini sono di proprietà esclusiva degli autori e sono state pubblicate su questo documento grazie alla loro gentile concessione. Si invita pertanto a contattarli direttamente qualora si intendesse utilizzarle altrove.

Juerg Alean, Roberto Carniel, Marco Fulle - Stromboli on Line ©: www.stromboli.net
INGV - Sezione di Catania - Sezione di Palermo ©: www.ingv.it - www.ct.ingv.it - www.pa.ingv.it
Sergio Ballarò ©: http://web.tiscali.it/stromboli_s.ballaro
Alain Melchior ©: http://users.swing.be/stromboli
Guralp ©: www.guralp.com

Ringrazio in modo particolare Roberto Carniel, Sergio Ballarò e Alain Melchior per la gentile collaborazione.

Ultima modifica 10 Luglio 2003, Stromboli.

A cura di Jacopo Crimi
Dottore in Scienze Ambientali con tesi sullo sviluppo sostenibile di Ginostra.
Trilingue, Buone conoscenze informatiche, Residente a Stromboli.
Tel: 090.986236/333.6327733 – Email: jacopo.crimi@tin.it