



**LA DIDATTICA INTEGRATA DELLE
GRANDI IDEE DELLA SCIENZA
NELLA SCUOLA SECONDARIA**

Scuola Estiva di Formazione Docenti
16 – 20 Luglio 2018 Napoli

**LABORATORIO DI GEOLOGIA:
ESCURSIONE GEOLOGICA NEI CAMPI FLEGREI**

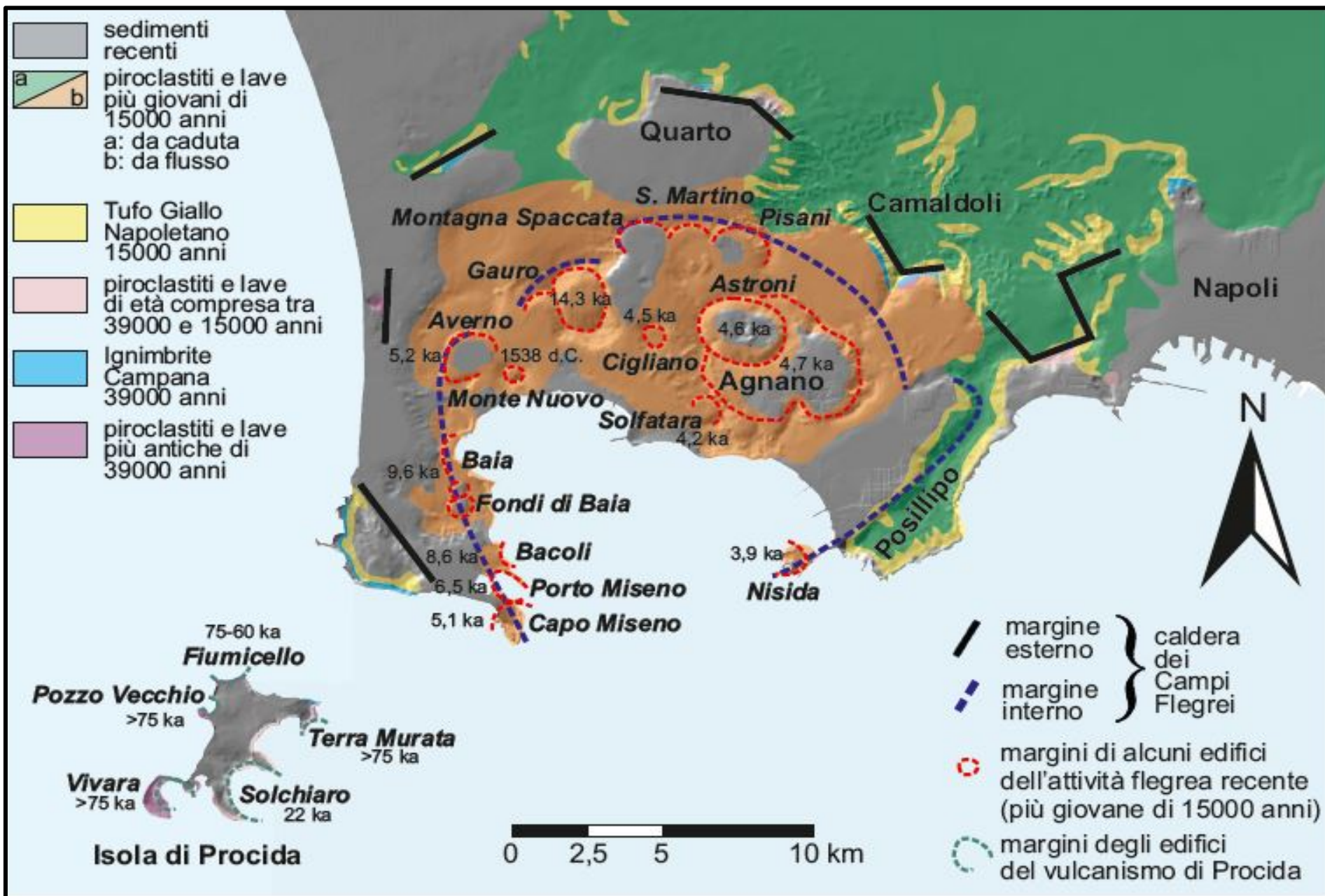
Responsabili: Prof. Alessandro Iannace
Prof. Lorenzo Fedele
Dott. Mariano Di Napoli

**Scuola Politecnica e
delle Scienze di Base**



Università degli Studi di Napoli Federico II





I Campi Flegrei: un po' di storia

L'area flegrea comprende il territorio collinoso racchiuso tra la città di Cuma, il promontorio di Capo Miseno e le porzioni più occidentali della città di Napoli (i "Campi Flegrei" propriamente detti), oltre alle antistanti isole di Procida ed Ischia. La natura vulcanica dell'area è nota fin dai tempi più antichi, come indicato dalla stessa denominazione *phlegraios* ("ardente"), risalente ai primi coloni greci. E' in quest'area che sorsero le prime città della Magna Grecia, tra cui *Pitekoussai* (Ischia), *Cuma Eubea* (Cuma), *Baia*, *Puteoli* (Pozzuoli), *Bauli* (Bacoli) e *Neapolis* (Napoli). Tale ricchezza di insediamenti, combinata alle bellezze paesaggistiche e naturalistiche, ha in seguito contribuito a rendere l'area flegrea una tappa fondamentale del *Grand Tour* in Italia.

Tra i protagonisti del Gran Tour un posto di eccellenza spetta a William Hamilton, che fu ambasciatore inglese presso il Regno di Napoli dal 1764 al 1800. Hamilton è celebrato per essere stato l'autore di un'opera, *Campi Phalegraei*, splendidamente illustrata con le *gouaches* realizzate dal pittore inglese Pietro Fabris. Tuttavia, questo lavoro va annoverato come uno dei primi esempi di vulcanologia scientifica e come un lavoro che contribuisce a definire, tra la fine del '700 e i primi del '800, la nascita della moderna Geologia.

Il testo dell'opera, infatti, rappresenta l'assemblaggio di alcune lettere inviate alla prestigiosa Royal Society e da questa pubblicate tra il 1767 e il 1776. In tali contributi Hamilton stabiliva, contrariamente all'opinione scientifica dominante dell'epoca, che l'attività vulcanica, e in genere i processi magmatici, sono stati un elemento costitutivo dell'intera storia del Pianeta. Le splendide illustrazioni commissionate a Fabris (a spese dello stesso Hamilton), dovevano servire, nelle dichiarate intenzioni dell'autore, a fornire la necessaria base documentaria alle affermazioni scientifiche contenute nel testo. Le preziose *gouaches*, ben note ai collezionisti d'arte, furono concepite quindi come delle vere e proprie illustrazioni scientifiche, per quanto artisticamente realizzate, e rappresentano uno splendido esempio di come le immagini abbiano accompagnato la nascita della moderna Geologia. Un'attenta lettura delle Lettere di Hamilton dimostrano anche come le osservazioni di questo collezionista di antichità diventato vulcanologo dilettante, contengano alcune osservazioni metodologiche che fanno parte ancora oggi della metodologia ricerca di campo della vulcanologia.

I Campi Flegrei: storia vulcanologica e paesaggio

I Campi Flegrei sono uno dei campi vulcanici più conosciuti e studiati al mondo. Diversamente dagli apparati vulcanici centrali, come il ben noto Somma-Vesuvio, caratterizzati da un'attività concentrata in un'area estremamente localizzata, nei campi vulcanici l'attività eruttiva è dislocata in un'area molto estesa, in cui vengono edificati numerosi apparati vulcanici di piccole dimensioni. Un esempio analogo è rappresentato dal campo vulcanico di Yellowstone.

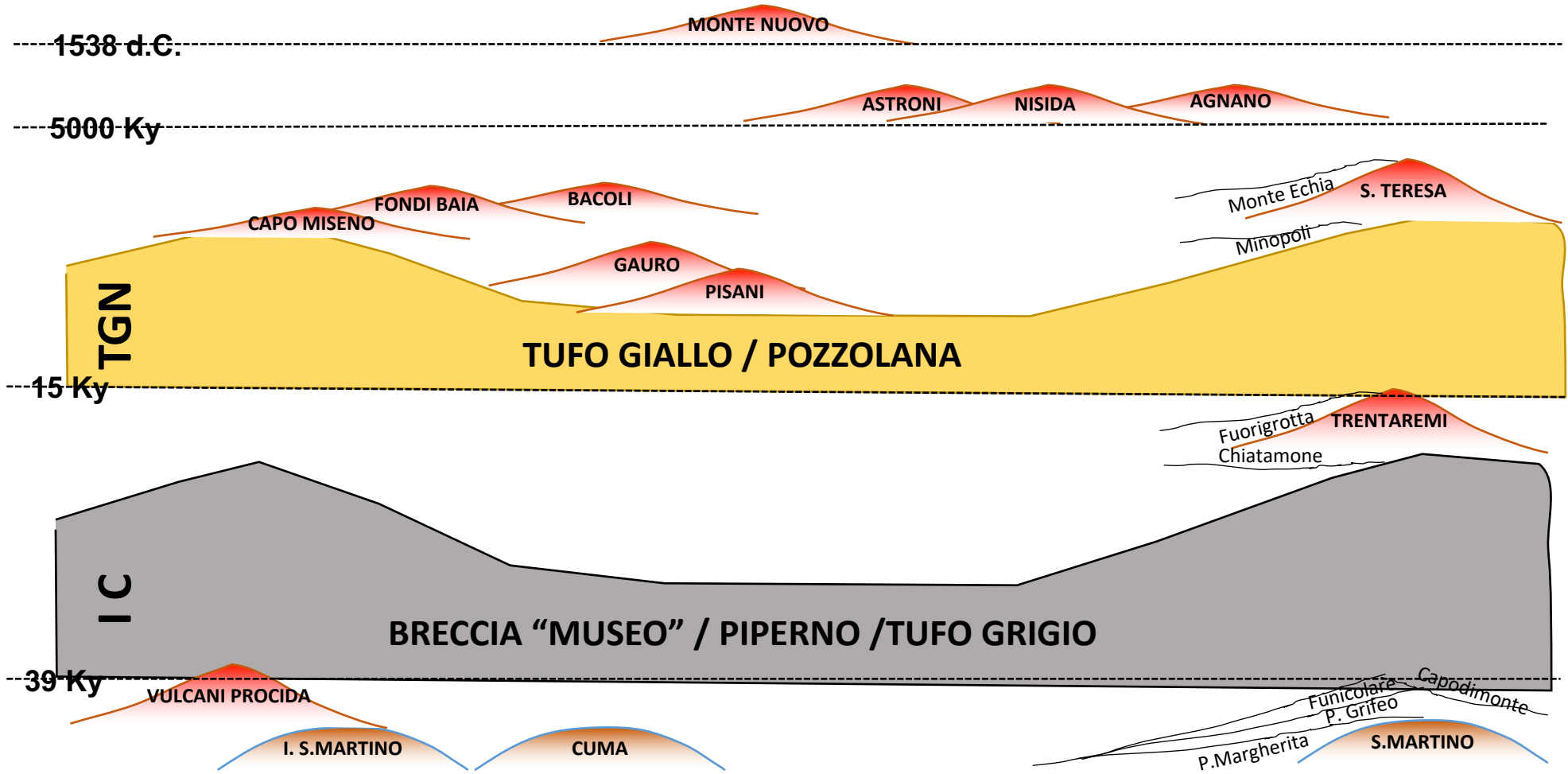
L'attività vulcanica flegrea è stata interessata da un gran numero di eruzioni prevalentemente esplosive, che hanno messo in posto ingenti volumi di depositi ("piroclastici"), edificando così numerosi edifici vulcanici. A tali prodotti vanno inoltre aggiunti sporadici depositi legati ad un vulcanismo di tipo effusivo, rappresentati da colate e duomi di lava di ridotta estensione areale.

La storia vulcanologica dei Campi Flegrei è scandita da due eventi catastrofici dominanti, l'eruzione dell'**Ignimbrite Campana** e quella del **Tufo Giallo Napoletano**, avvenute rispettivamente 39.000 e 15.000 anni fa. Questi due eventi hanno prodotto i volumi fondamentali dei tufi che costituiscono il sottosuolo e l'ossatura dell'intera area, da Napoli est fino a Procida. Non a caso, dai tempi dei primi insediamenti greci, hanno fornito i principali materiali da costruzione per la città, determinando anche lo sviluppo del complesso reticolo di cavità sotterranee. Numerosi altri eventi, collocati prima dell'IC, tra IC e TGN, e dopo il TGN, hanno prodotto invece volumi minori di tufi e lave. Di questi i più recenti sono ben riconoscibili (perché non demoliti dall'erosione e dalle eruzioni successive) nel paesaggio dei Campi Flegrei.

La carta geologica allegata fornisce una visione d'insieme semplificata della distribuzione delle differenti formazioni vulcaniche tra Napoli e le porzioni più occidentali dei Campi Flegrei. Non deve trarre in inganno il fatto che le formazioni che, come indicato precedentemente, costituiscono l'ossatura sono poco rappresentate nella carta. Il TGN, per esempio, è rappresentato solo come "striscioline" sottili, a differenza dei prodotti dei vulcani recenti dei Campi Flegrei, che coprono vaste aree. In realtà, i prodotti sciolti recenti ricoprono con un velo sottile le colline napoletane, che sono costituite essenzialmente dal tufo, materiale litoide, generalmente affiorante solo dove l'erosione mette a nudo pareti verticali molto potenti.

In una proiezione verticale, gli affioramenti verticali si traducono in limitate zone di affioramento, a differenza delle sottili coltri di piroclastiti sciolte che ricoprono il TGN. Nel caso dell'IC, ciò è aggravato dal fatto che gran parte delle rocce eruttate dell'IC sono sprofondate da tempo.

I Campi Flegrei: sintesi degli eventi e dei prodotti



In una proiezione verticale, gli affioramenti verticali si traducono in limitate zone di affioramento, a differenza delle sottili coltri di piroclastiti sciolte che ricoprono il TGN. Nel caso dell'IC, ciò è aggravato dal fatto che gran parte delle rocce eruttate dell'IC sono sprofondate da tempo.

Da 80.000 a 39.000 anni fa....

I più antichi prodotti noti dei Campi Flegrei e di Procida, risalgono a circa 80 mila anni fa e sono rappresentati rispettivamente dal duomo lavico di San Martino e dai vulcani di Pozzo Vecchio, Vivara e Terra Murata. Sempre a Procida, tra 74 e 60 mila anni fa ebbe luogo l'eruzione di Fiumicello, che produsse dei tufi stratificati e depositi piroclastici da caduta visibili anche a Monte di Procida.

Più o meno negli stessi tempi, si formarono almeno 4 edifici vulcani nell'area napoletana di Chiaia, (i relativi tufi sono osservabili oggi nella zona del Corso Vittorio Emanuele) e uno nell'area di Capodimonte.

Intorno a 39 mila anni fa i Campi Flegrei furono interessati dalla più potente eruzione della loro storia, l'eruzione dell'**Ignimbrite Campana (IC)**. Tale evento esplosivo, il più catastrofico mai documentato per l'intera area mediterranea negli ultimi 200 mila anni, fu accompagnato dalla formazione della caldera dei Campi Flegrei, una depressione sub-circolare del diametro di circa 12 km formatasi per effetto del collasso dell'area a seguito dello svuotamento di un esteso serbatoio magmatico. L'eruzione determinò la messa in posto di abbondanti volumi di depositi piroclastici, costituiti prevalentemente da un deposito cineritico grigio con scorie noto come "*Tufo Grigio Campano*" e, limitatamente alle zone situate sul margine della caldera, da una breccia di pomice e litici grossolani. Questa fu denominata "*Breccia Museo*" dal vulcanologo Johnston-Lavis fin dalla fine dell'800 in quanto i blocchi contengono una vasta rappresentanza di tutte le litologie vulcaniche e non dell'area napoletana. Le moderne ricerche vulcanologiche di campo consentono in realtà di distinguere diverse tipologie litologiche, ciascuna riferita a un diverso processo eruttivo/deposizionale. Sempre nelle zone prossimali dell'eruzione si formò il *Piperno*, una roccia utilizzata in molta architettura napoletana. Il Piperno è caratterizzato da una massa cineritica grigia nella quale spiccano "fiamme" scure che rappresentano frammenti scoriacei schiacciati per effetto del carico sovrastante quando lo spesso accumulo piroclastico era ancora caldo.

Tali prodotti hanno ricoperto un'area che dai Campi Flegrei si estende a nord fino a Mondragone e a sud fino a Sorrento, Minori e Maiori. Le ceneri più fini dell'IC, trasportate dai venti d'alta quota, sono state ritrovate fino al Mediterraneo orientale e in Siberia.

Da 39.000 a 15.000 anni fa....

Successivamente al catastrofico evento dell'IC, nell'area napoletana si formarono almeno altri due edifici vulcanici esplosivi, oggi riconoscibili nei tufi del Chiatamone-Monte Echia (sito dell'acropoli del primo insediamento di Partenope) e in quelli della base delle pareti del Parco della Rimembranza (spiaggia di Trentaremi).

Nell'isola di Procida circa 22 mila anni fa si formò un ulteriore vulcano a Solchiaro, concludendo il lungo ciclo di costruzione dell'isola ad opera dei vulcani, oggi perfettamente leggibile nelle caratteristiche morfologie ad anello tipiche dell'isola.

Circa 15 mila anni fa avvenne la seconda eruzione più energetica della storia dei Campi Flegrei, l'eruzione del **Tufo Giallo Napoletano (TGN)**. Questa innescò un ulteriore sprofondamento calderico. Il principale prodotto di tale eruzione è costituito da un tufo compatto di colore giallo, il tufo dominante del paesaggio delle colline di Napoli ma presente anche nelle aree più occidentali dei Campi Flegrei. Il Tufo Giallo Napoletano deve la sua consistenza lapidea alla cementazione delle ceneri avvenuta attraverso la formazione di zeoliti, silicati prodotti dall'interazione delle acque circolanti con il vetro vulcanico. Le parti non cementate dei depositi cineritici del TGN costituiscono invece un materiale incoerente di colore grigio (la cosiddetta "*Pozzolana*"). Elemento base per la realizzazione di cemento idraulico, la Pozzolana può essere considerato uno degli elementi che hanno determinato il dominio di Roma nell'antichità.

Da 15.000 anni fa ad oggi....

Successivamente al TGN, la cosiddetta attività "recente" dei Campi Flegrei è stata segnata da circa 60 eruzioni, di esplosività decisamente più limitata e concentrate prevalentemente all'interno della caldera dei Campi Flegrei. Durante tale periodo sono stati edificati un gran numero di piccoli edifici vulcanici, costituiti per lo più da depositi cineritici e pomiceci variamente saldati, molti dei quali appaiono tuttora ben preservati nella loro tipica

morfologia a cono o ad anello. Tale fase di attività è culminata nel 1538 d.C. con l'eruzione storica del *Monte Nuovo*, responsabile della distruzione dell'antico villaggio di *Tripergole*.

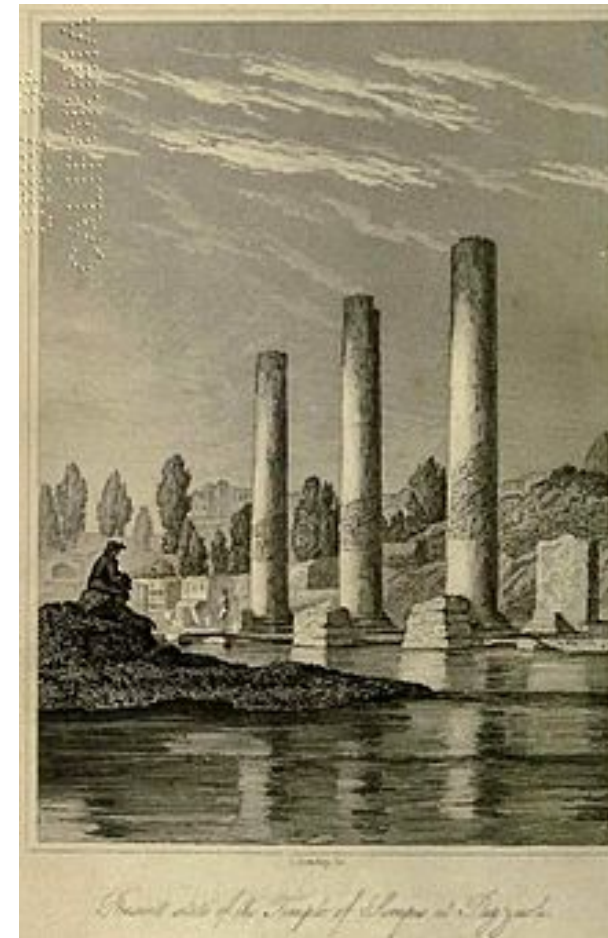
Allo stato attuale i Campi Flegrei sono interessati esclusivamente da una ridotta attività di tipo idrotermale, caratterizzata dall'emissione di vapori d'acqua di elevata temperatura, testimoniata dall'apertura di bocche ("fumarole") concentrate prevalentemente nell'area Solfatara-Pisciarelli. A tali manifestazioni vanno inoltre aggiunti fenomeni di bradisismo, come quelli relativi alle note crisi 1969-1972 e 1982-1984, durante le quali in corrispondenza della città di Pozzuoli è stato registrato un sollevamento complessivo del suolo pari a 3,5 m.

Il Tempio di Serapide, tempio della moderna Geologia e documento vulcanologico

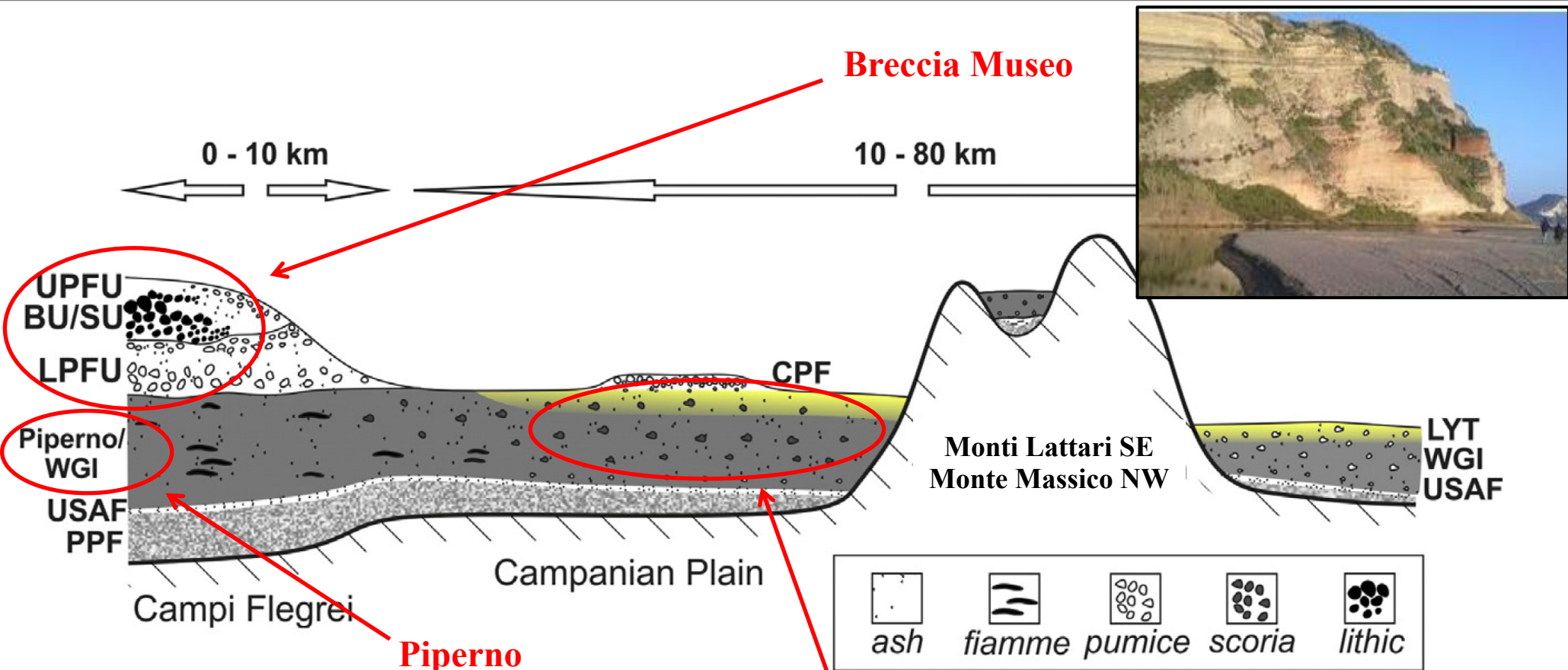
Il Tempio di Serapide di Pozzuoli è un luogo speciale per i geologi di tutto il mondo. Nel 1830 lo scozzese *Charles Lyell* pubblicò un'opera, i *Principles of Geology*, che fin dalla prima edizione è stata acclamata come un atto fondativo essenziale per la nascita della Geologia come scienza autonoma. Lyell scelse di rappresentare sul frontespizio del primo volume una immagine del Tempio di Serapide ed addirittura di usare una versione stilizzata del disegno come decorazione dorata sul dorso dei volumi.

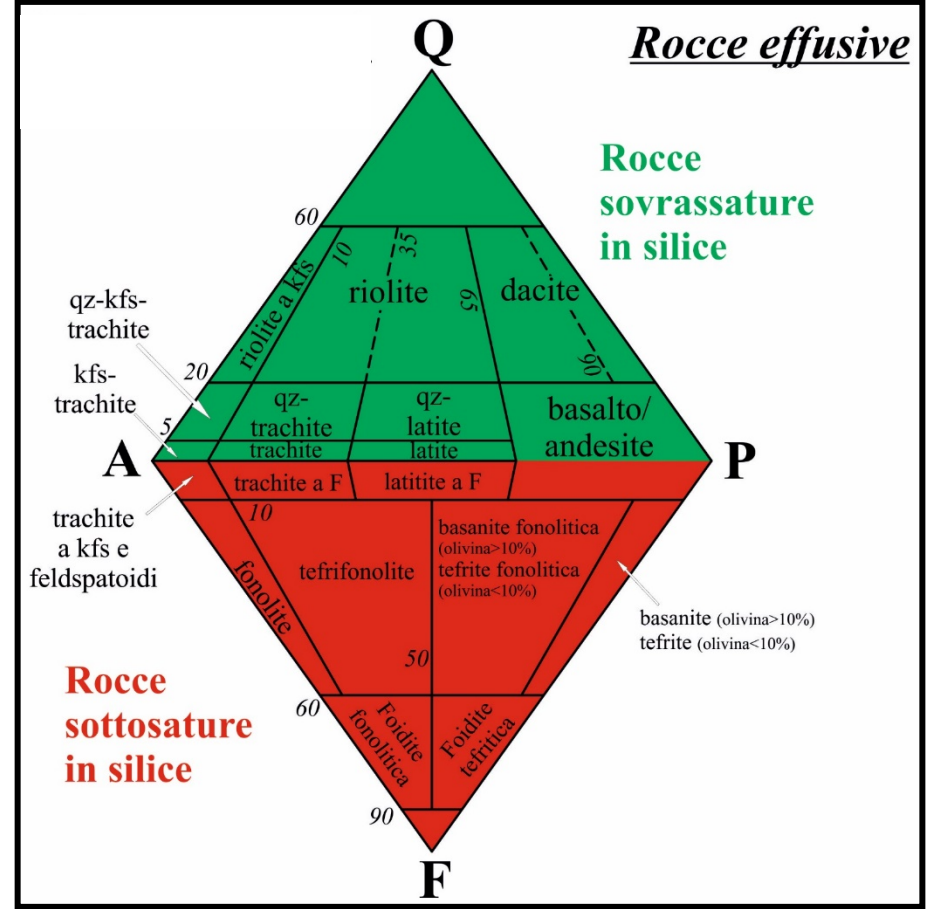
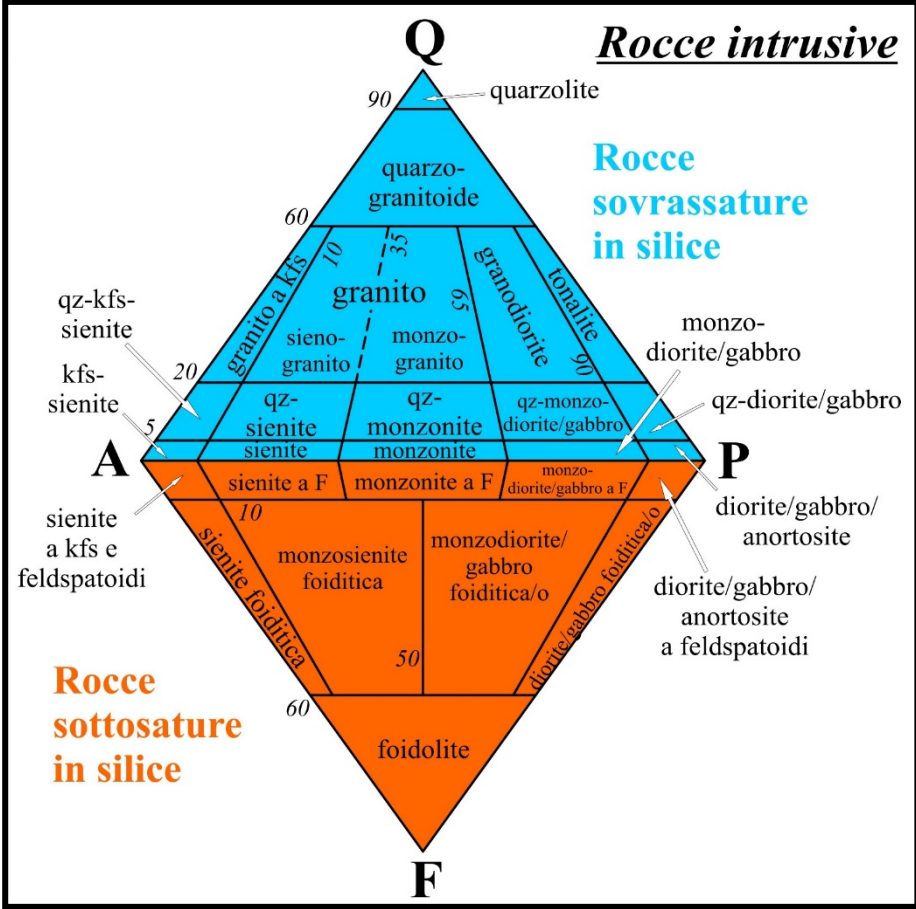
Il motivo di tale scelta è comprensibile quando si considera il titolo completo dei "Principles": *Being an Attempt to Explain the Former Changes of the Earth's Surface, by Reference to Causes Now in Operation*. Si tratta di un'opera nella quale Lyell si proponeva di dimostrare l'assunto metodologico che i processi attualmente operanti sulla superficie terrestre consentono di spiegare i fenomeni geologici del passato che sono registrati nelle rocce. Tra questi, il più problematico appariva il sollevamento della superficie terrestre. Per Lyell le colonne del Tempio di Serapide, che sono perforate da molluschi marini a varie altezze, dimostrano in maniera inequivocabile ed iconica che la superficie terrestre è sottoposta a lenti movimenti di sollevamento ed abbassamento. Da quasi duecento anni, il Tempio di Serapide di Pozzuoli svolge dunque questo ruolo di immagine iconica della possibilità che lenti processi, dati un tempo sufficientemente lungo, possono produrre cambiamenti significativi della superficie terrestre.

Alla luce di quello che sappiamo oggi, in realtà il Tempio di Serapide non rappresenta la scelta migliore: i lenti movimenti del suolo dell'area flegrea, noti come *bradisismo*, sono dovuti a variazioni nella velocità di circolazione dei fluidi idrotermali e nei movimenti delle masse magmatiche sottostanti. Si tratta quindi di movimenti decisamente più veloci rispetto a quelli che avvengono nella maggior parte della superficie terrestre (subsidenza, sollevamento, traslazione di placche ecc.). Anzi, in questo senso, la ricostruzione dei movimenti del suolo a partire dall'epoca Imperiale Romana che le colonne del Tempio hanno consentito, rendono questo Tempio un sito di straordinaria importanza per modellizzare e monitorare l'attività di un'area complessa e pericolosa come quella Flegrea.

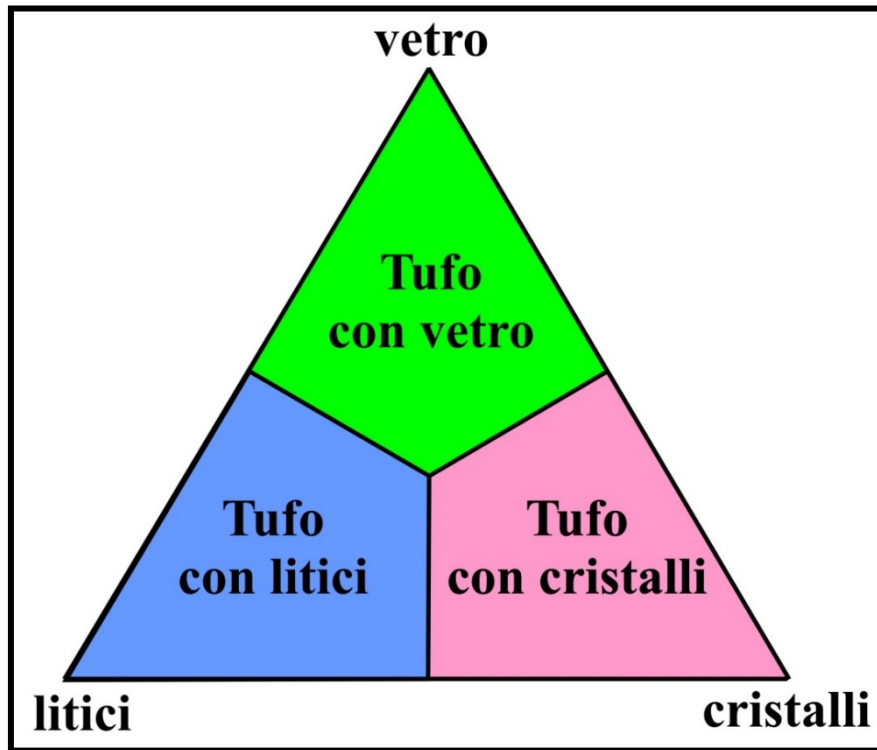


*"Lo stato attuale del tempio di Serapide di Pozzuoli" (1832),
Frontespizio dell'opera
di Lyell*

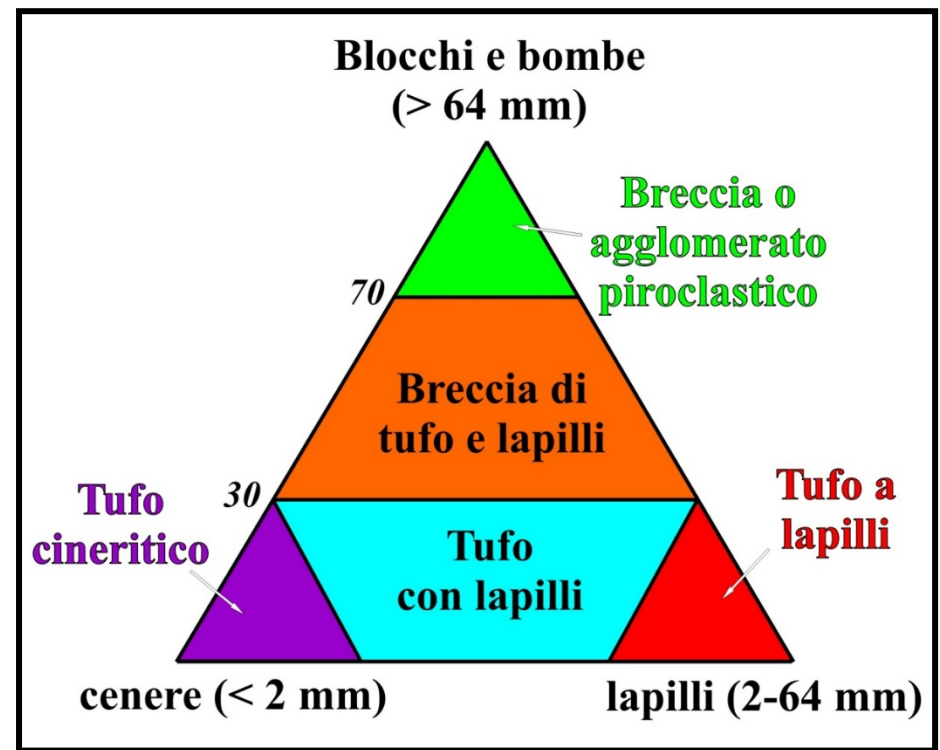




Per la classificazione delle **rocce ignee**, sia effusive (vulcaniche) che intrusive (plutoniche) si utilizza un diagramma particolare, costituito da un doppio triangolo equilatero con una base comune, detto **diagramma di Streckeisen**, dal nome del geologo che per primo lo ideò. La determinazione della posizione dei punti nel diagramma viene fatta solo esprimendo le percentuali in termini di **Quarzo (Q)**, **Alcalifeldspati (A)**, **Plagioclasti (P)** e **Foidi (F)**, ovvero ricavando la composizione mineralogica **modale** (calcolo delle percentuali in volume dei singoli minerali che la costituiscono). In questa classificazione non rientrano però i minerali mafici, rocce con più del 90% di ferro e magnesio.

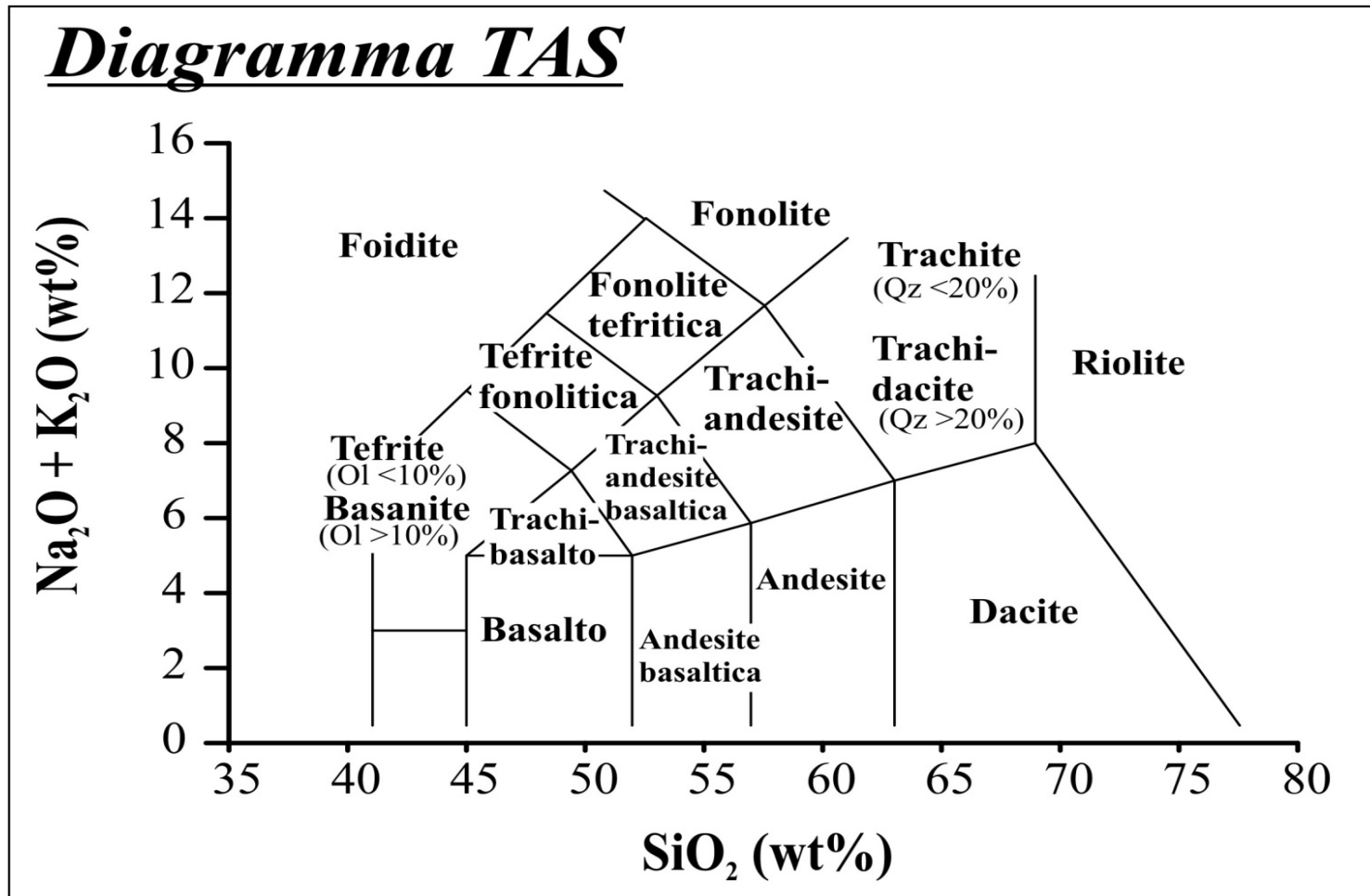


Classificazione delle rocce piroclastiche per **tipo di costituenti.**



Classificazione delle rocce piroclastiche per **granulometria dei costituenti.**

Il **piroclasto** è un frammento di roccia espulso da un condotto vulcanico subaereo durante l'attività esplosiva. Sono rocce detritiche, formate dalla sedimentazione di materiali solidi proiettati in aria dai vulcani (detti **piroclasti**) durante violente esplosioni (l'agente di trasporto dei frammenti, in questo caso, è l'aria). Le rocce piroclastiche si presentano in vari strati sovrapposti. I materiali solidi eiettati dai vulcani si distinguono, a seconda delle loro dimensioni via via decrescenti, in **blocchi**, **lapilli**, **sabbie** e **ceneri vulcaniche**. I materiali più grossolani si distribuiscono a minore distanza dal cratere, mentre quelli più fini possono essere trasportati, con il favore del vento, anche a centinaia di chilometri.



La **classificazione TAS** è una metodologia utilizzata per la classificazione chimica delle rocce magmatiche effusive. Il termine TAS è un acronimo che deriva dall'inglese "Total Alkali versus Silica", cioè confronto tra il totale degli elementi alcalini e la silice presente nelle rocce.

Il diagramma TAS consiste in un semplice grafico bidimensionale in cui:

l'asse X è costituito dalla percentuale in peso di Silice (SiO_2);

l'asse Y è costituito dalla percentuale in peso di Ossido di sodio (Na_2O) + Ossido di potassio (K_2O).

L'analisi viene effettuata togliendo dal campione da classificare il CO_2 e l' H_2O presenti, quindi ricalcolando le percentuali, sul totale del peso residuo del campione, di SiO_2 e $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ e ponendole nel grafico.

L'area dei Campi Flegrei è caratterizzata dal fenomeno del **bradisismo**, che consiste in un lento movimento di sollevamento e abbassamento del suolo. Sebbene il meccanismo del bradisismo non sia stato ancora completamente compreso, è opinione consolidata che le cause del fenomeno risiedano in variazioni del sistema vulcanico. L'aumento di temperatura e di pressione nelle rocce del sottosuolo determinano infatti il sollevamento dell'area secondo una geometria a "cupola" centrata sulla città di Pozzuoli. E' bene precisare che una crisi bradisismica non segnala necessariamente l'approssimarsi di un'eruzione. Tuttavia è in grado, anche da sola, di causare danni agli edifici e disagi alla popolazione.

L'evoluzione del bradisismo nel corso dei secoli è visibile vicino al porto di Pozzuoli sulle colonne del Serapeo, un mercato di epoca romana, inizialmente considerato tempio dedicato a Serapide. Su di esse si ritrovano i fori prodotti dai *litodomi*, un tipo di molluschi marini che vive in ambiente costiero intertidale, ovvero in una zona del litorale che dipende dalle maree. La presenza dei litodomi testimonia il lento processo di abbassamento dell'area, iniziato in epoca successiva a quella romana. Nel periodo di massimo abbassamento, risalente probabilmente al medioevo, alcuni studi dimostrano che il livello del suolo era tra i 7 e i 10 metri più basso rispetto all'epoca di costruzione del Serapeo nel I sec. d.C. Nel 1500 un'importante crisi di sollevamento determinò un innalzamento complessivo dell'area di circa 7 metri e precedette l'eruzione del Monte Nuovo, avvenuta nel 1538.

Dopo l'eruzione iniziò invece un periodo di lenta subsidenza. In tempi più recenti, precisamente nel 1969-72 e nel 1982-84, si sono verificate due crisi bradisismiche, accompagnate da attività sismica, che hanno portato a un sollevamento del suolo complessivo di circa 3,50m. Durante la prima delle due crisi si registrò un sollevamento del suolo di circa 1,70m, al quale seguì una lenta subsidenza fino al 1982. Fra il 1982 e il 1984 si ebbe un nuovo sollevamento del suolo di 1,80m accompagnato da circa 10.000 terremoti, il maggiore dei quali avvenne il 4 ottobre 1983 e fu di magnitudo 4.2. Durante queste crisi una parte della popolazione di Pozzuoli venne evacuata per il rischio di crolli provocati dalla forte attività sismica. Dal 1985 il suolo ha ripreso ad abbassarsi, sebbene con periodi di sollevamento più brevi e di minore entità.

