



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento TERRITORIO E SISTEMI AGRO-FORESTALI

Corso di laurea triennale in Tecnologie Forestali e Ambientali

CAMBIAMENTI CLIMATICI DEL XVII SECOLO: MERCURIO COME INDICATORE DI ATTIVITÀ VULCANICA.

Relatore:

Prof. Andrea Marzoli

Laureando:

Matteo

Lugoboni

Matricola n.

2008727

ANNO ACCADEMICO 2023/2024

INDICE:

- RIASSUNTO.....	pag. 4
- ABSTRACT.....	pag. 6
1) INTRODUZIONE.....	pag. 8
2) DENDROCLIMATOLOGIA.....	pag. 11
3) MATERIALI E METODI.....	pag. 13
4) INQUADRAMENTO TEMPORALE.....	pag. 15
5)VULCANISMO.....	pag. 18
-5.1 Indici del vulcanismo.....	pag. 20
-5.2 Vulcanismo e clima.....	pag. 23
-5.3 Vulcanismo e mercurio.....	pag. 25
6) ERUZIONI DEL XVII SECOLO.....	pag. 27
7) RISULTATI E DISCUSSIONI.....	pag. 32
8)CONCLUSIONI.....	pag. 35
- BIBLIOGRAFIA.....	pag. 37
- SITOGRAFIA.....	pag. 39
- RINGRAZIAMENTI.....	pag. 40

RIASSUNTO:

Per comprendere meglio l'argomento dei cambiamenti climatici odierni nasce l'esigenza di studiare e comprendere meglio anche le alterazioni climatiche che sono avvenute in passato. Tramite la paleoclimatologia si è riuscito a ricostruire la temperatura media del globo a ritroso nel tempo, evidenziando oscillazioni di temperatura degli ultimi 2000 anni. Da queste ricostruzioni si evince che il minimo termico per questo lasso di tempo si può collocare in quell'epoca che è stata nominata Little Ice Age.

La LIA indica un periodo di raffreddamento globale iniziato dopo l'anomalia climatica medievale, ovvero all'incirca dal 1200 e finita verso la fine del 1800.

Proprio all'interno di questo periodo storico si colloca il XVII secolo che risulta essere il secolo più freddo dell'ultimo millennio.

In questo studio verrà analizzata la presenza di mercurio all'interno di campioni di legno di *Larix decidua* proveniente dall'arco alpino, risalenti al XVII secolo datati tramite cross dating secondo i principi della dendroclimatologia.

Il mercurio, infatti, viene adottato in questo lavoro come indicatore di eruzioni vulcaniche, che secondo diverse ipotesi sono la principale causa dei cambiamenti climatici di quell'epoca. Oltre al mercurio gli eventi eruttivi rilasciano diversi elementi chimici, tra cui lo zolfo, che una volta immesso in atmosfera reagisce con il vapore acqueo presente formando composti clima alteranti, i quali attraverso il processo di retrodiffusione dei raggi solari causando un raffreddamento netto della superficie terrestre.

Tuttavia, i grafici di concentrazione del mercurio ottenuti dall'analisi dei campioni rinvenuti hanno mostrato bassi livelli per tutto il secolo, mostrando un picco discreto per quanto riguarda la prima parte del secolo ma in ritardo di 4/5 anni rispetto all'effettiva data dell'eruzione. Mentre per la seconda parte solo uno dei due campioni ha rinvenuto dei picchi che però non sono correlati a nessuna delle eruzioni conosciute con un indice di esplosività vulcanica pari o superiore a 5.

ABSTRACT:

In order to understand the climate change that is affecting us, we need to study and comprehend the nature of the climatic changes that have occurred in the past.

During the last 2000 years there have been many fluctuations in the average temperature of the globe, the thermal minimum for this period of time was recorded during the epoch named Little Ice Age.

The LIA is a period of global cooling that began after the medieval climatic anomaly, around the year 1200 and ended around the last part of the XIXth century.

The seventeenth century is placed precisely in that historical period and was also the coldest century of the last millennium.

In this study we analyzed the presence of mercury in samples of *Larix decidua* wood from the Alps of the seventeenth century through the “cross dating” method according to the principles of dendroclimatology.

Mercury is adopted in this work as an indicator of volcanic eruptions, which according to several hypotheses are the main cause of climate change at that time.

However, the mercury concentration data obtained from the analysis showed low levels of Hg throughout the century, showing only one spike in the first part of the century even if the peak is delayed by 4/5 years relative to the known eruption year.

The second part of the two long samples show two peaks, but these are not closely related to any of the known eruption with a VEI equal or greater than 5.

1) INTRODUZIONE:

Il clima della terra può essere definito come le condizioni caratteristiche della sua atmosfera, che misurate ripetutamente per periodi di almeno 10/30 anni forniscono localmente il tempo atmosferico medio.

Il sistema climatico, tuttavia, non è composto solamente dall'atmosfera, ma vi contribuiscono a formarlo anche la litosfera, l'idrosfera, la criosfera e la biosfera. Ogni fattore che va a modificare una di queste componenti produce un cambiamento nel sistema: questi fattori sono chiamati fattori forzanti. (Orombelli G. 2005).

Un esempio di fattore forzante sono i gas serra generati dalle attività antropiche, come dimostrato infatti dal più recente rapporto dell'IPCC del 2022 (sito 1) l'uomo è inequivocabilmente la causa dei recenti cambiamenti climatici a partire dalla fine del XIX secolo fino ai giorni odierni.

Tuttavia, andando ad analizzare il clima del passato ci si accorge come, seppur essendo meno repentini rispetto ai cambiamenti che stiamo vivendo nella nostra epoca, ci siano stati diversi cicli di cambiamenti climatici.

Nasce dunque l'esigenza di capire le cause e quindi studiare i fattori forzanti che hanno determinato cambiamenti climatici passati come possono essere l'alterazione dell'irraggiamento solare ed il vulcanismo.

Grazie alla paleoclimatologia è stato possibile studiare il clima del passato per andare a ricostruire le cause e capire a fondo le alterazioni che il sistema climatico ha riscontrato in passato.

Nello studio di Orombelli (2005) si evince come negli ultimi 420 mila anni si sono succeduti quattro cicli, durante i quali la temperatura è variata rispetto al valore olocenico, da - 8°C nelle fasi più fredde a + 2°C in quelle più calde.

In particolare, analizzando le curve di temperatura media relativa agli ultimi 2000 anni, ottenute a partire dall'analisi degli anelli delle piante e di successioni marine e lacustri, mostra variazioni di ampiezza contenuta entro 1°C (escludendo gli ultimi tre decenni che appaiono più caldi dell'intero periodo), evidenziando il massimo termico nell'anomalia

climatica medioevale ed il minimo termico durante nella Little Ice Age. (Orombelli G. 2005).

L'obiettivo di questo studio è la ricostruzione delle cause che hanno determinato le variazioni climatiche del XVII secolo legate alla Little Ice Age.

L'ipotesi che si vuole esplorare consiste nell'attribuire questo raffreddamento globale agli effetti del vulcanismo di quell'epoca, che avrebbe immesso zolfo in atmosfera, il quale avrebbe causato il raffreddamento tramite i meccanismi descritti successivamente.

Con lo zolfo i vulcani emettono anche mercurio ed è grazie a questo elemento chimico che si possono rinvenire dei segnali di eruzioni vulcaniche andando ad analizzare arricchimenti di quest'ultimo in anelli di alberi di quel periodo.

2) DENDROCLIMATOLOGIA:

La dendroclimatologia non è altro che una particolare branca della paleoclimatologia che si avvale dell'analisi dei campioni di anelli di alberi sequenziati e datati, per studiare il clima passato, localmente o globalmente.

I principi di questo metodo scientifico sono i seguenti, gli alberi ogni anno attraverso un tessuto meristemico chiamato cambio hanno un accrescimento di tipo secondario ovvero in larghezza.

Il cambio produce due tipi di tessuto lo xilema ed il floema, denotando negli alberi delle regioni temperate (che hanno stagionalità) un anello di accrescimento annuale, mentre ciò non avviene nelle zone equatoriali perché gli alberi che si sviluppano in quelle zone tendono ad avere un accrescimento continuo.

Questo anello di crescita è caratterizzato da un legno primaticcio che ha solitamente cellule di diametro maggiore ed un legno tardivo che produce appunto cellule di dimensioni minori fino alla sezione di chiusura che denota la fine dell'accrescimento di quell'anno.

Questa diversità tra le cellule del legno primaticcio e tardivo si riflette nel macroscopico denotando gli anelli visibili a occhio nudo.

Tuttavia gli anelli di accrescimento non sono sempre regolari ed uguali tra loro; infatti, gli alberi essendo esseri viventi autotrofi e statici subiscono le condizioni climatiche del luogo dove si sono affrancati dal primo sviluppo fino alla propria morte. Dunque, ogni anello di accrescimento rispecchia le condizioni climatiche della stagione vegetativa dell'anno in cui si è formato.

Si possono dunque creare delle cronologie che vanno a ritroso nel tempo a partire da alberi in cui è possibile associare un anello di crescita ad un anno noto e successivamente denotando gli anni climaticamente significativi tramite irregolarità evidenti, come per esempio dimensione anomale degli anelli.

Esistono anche altri modi di ricostruire il clima passato come ad esempio le carote di ghiaccio.

Le analisi dendrochimiche hanno diversi vantaggi, quali la facilità di reperimento del materiale in diverse zone del mondo, ma il vantaggio più grande è la risoluzione annuale e dunque una maggiore precisione rispetto al metodo precedentemente nominato.

Alberi della stessa specie o di specie affini concresciuti nello stesso periodo avranno dei modelli simili e sovrapponibili con i quali si può appunto creare una cronologia storica. Questo metodo è chiamato cross dating (fig.1). (KENAN ÜNLÜ et al 2009)

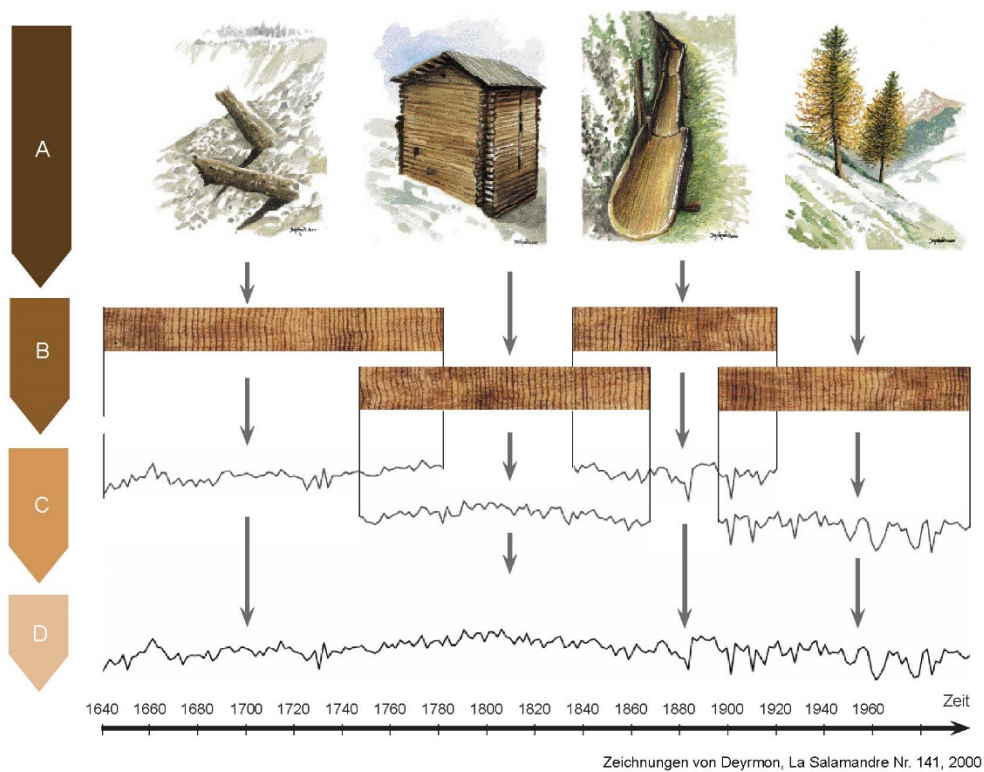


Figura 1: la figura 1 mostra la sovrapposizione di modelli di crescita per la creazione di una cronologia tramite la tecnica del cross dating (Sito 5).

L'analisi dendrochimica di sequenze datate di anelli degli alberi permette di ricostruire la storia climatica ed ambientale, questo tipo di analisi è infatti particolarmente utile per l'identificazione e la successiva ricostruzione di periodi di attività vulcanica efficaci dal punto di vista di modificazione del clima. (KENAN ÜNLÜ et al 2009).

3) MATERIALI E METODI:

Per quanto concerne la preparazione dei campioni analizzati all'università di Wuhan, essi sono stati inizialmente polverizzati con un mortaio da laboratorio in agata.

Successivamente sono stati pesati e prelevati 50-250 mg di campione, ed introdotti in un analizzatore di mercurio, il PYRO-915 (figura 2). Il quale in un primo momento tramite il processo di pirolisi riscalda il campione a 700 gradi circa in condizioni di anaerobiosi che causa la rottura dei legami e la volatilizzazione del mercurio (R.M. TWYMAN, 2005).



Figura 2: nell'immagine è raffigurato l'analizzatore di mercurio PYRO-915 (Sito 4)

Il mercurio elementare volatilizzato è stato infine quantificato mediante spettrometria di assorbimento atomico calibrando lo strumento ogni 10 misure.

Il funzionamento dello spettrometro ad assorbimento atomico (AAS) consiste nell'irradiazione e conseguente eccitazione del campione, gli atomi assorbendo la radiazione propagata passano ad un livello di energia superiore. Dunque, un sensore misura le lunghezze d'onda rilasciate dal campione irradiato e le paragona a quelle originali.

Siccome l'energia richiesta da un elettrone per lasciare un atomo è conosciuta ed è specifica, ovvero ogni atomo ha la sua e dunque emette un preciso spettro, si riesce ad individuare attraverso i risultati dello spettrometro l'elemento cercato. (R. GARCÍA AND A. P. BÁEZ 2012)

4) INQUADRAMENTO TEMPORALE:

Il XVII secolo si colloca storicamente all'interno dell'ultimo millennio nell'epoca che viene definita come Little Ice Age.

Il termine Little Ice Age (LIA) o “Piccola era glaciale” indica un periodo di raffreddamento globale successivo all'anomalia climatica medioevale finita attorno XIII secolo. Ad oggi la LIA sembra essere il periodo più freddo degli ultimi 8000 anni, inoltre secondo Jones et al (2001) il secolo più freddo dell'ultimo millennio fu proprio il XVII con una temperatura media di 0,4°C più bassa rispetto al periodo 1961-1990.

Esistono tutt'ora dei dibattiti sulla durata esatta della LIA per via della diversa disponibilità di dati tra il periodo iniziale e quello finale, essendo quest'ultimo molto più vicino ai giorni odierni. Secondo Wanner (2022) la LIA è cominciata attorno al 1200/1400 nell'emisfero boreale mentre nell'emisfero australe l'inizio è tardato di circa un paio di secoli, probabilmente per la maggiore inerzia dovuta alle vaste aree oceaniche e terminò attorno al 1860 nell'emisfero nord seguito dopo qualche decennio dall'emisfero sud per la stessa ragione.

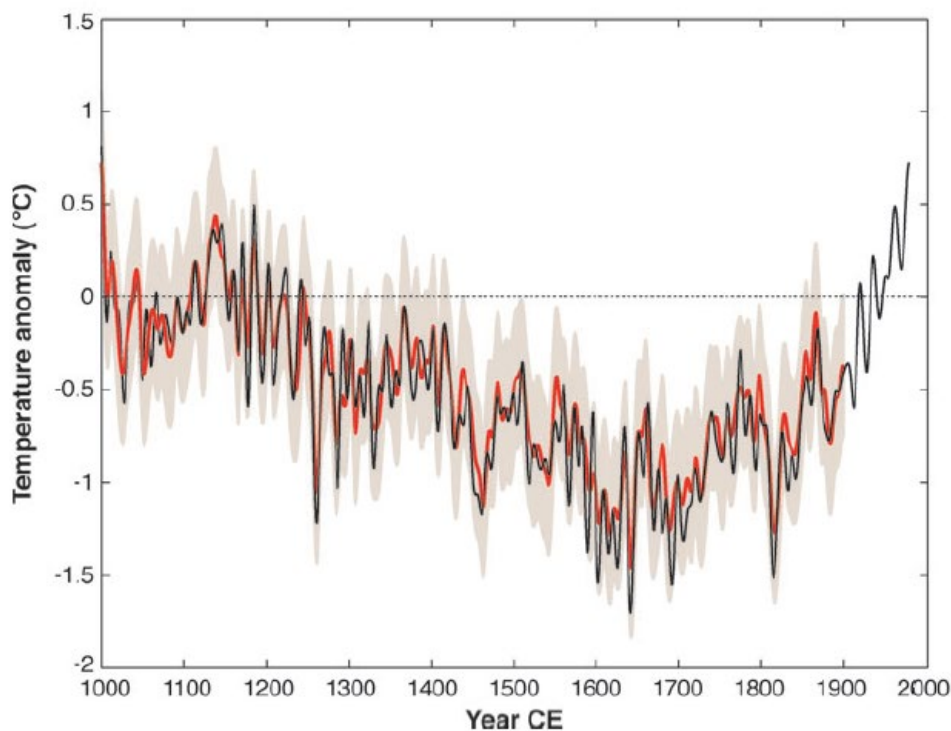


Figura 3: Anomalie di temperatura dell'emisfero nord negli ultimi mille anni (Mann M. 2007)

Durante tutta la durata della LIA le temperatura estive sono rimaste pressoché invariate; infatti, il cambiamento climatico più grande si è verificato durante gli inverni. (WANNER et al 2022).

Esistono varie ipotesi su quali siano le origini che hanno causato le modificazioni climatiche di quel periodo nonostante i reali motivi siano ancora sconosciuti al mondo scientifico.

Tra i vari fattori forzanti che hanno caratterizzato il raffreddamento globale della Little Ice Age troviamo il vulcanismo esplosivo che ha caratterizzato l'epoca, con conseguente diminuzione di irraggiamento solare (Mann, M. Bradley, R. & Hughes, M. 1998).

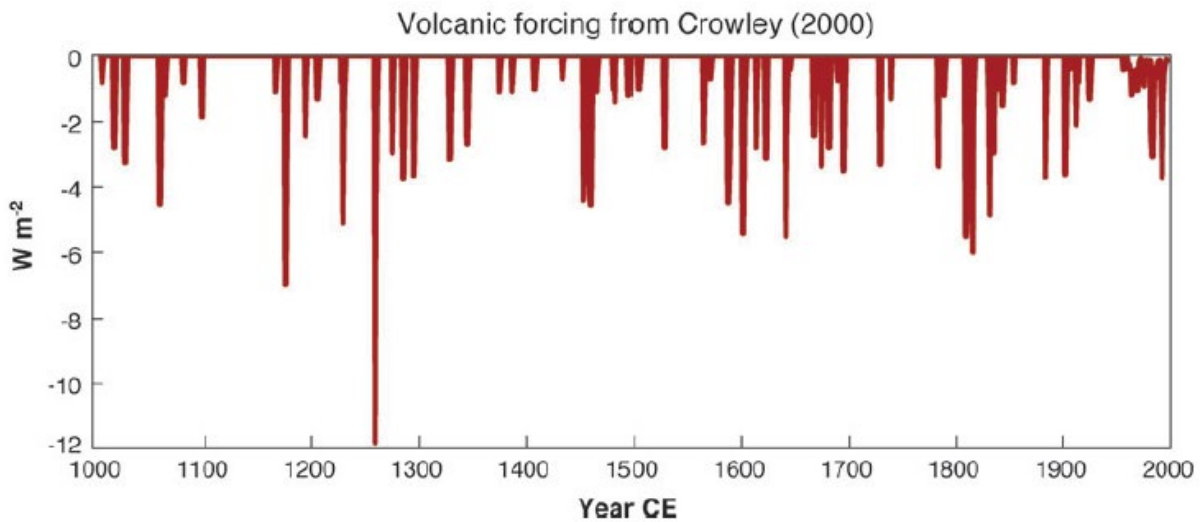


Figura 4: Diminuzione dell'irraggiamento medio espresso in W/m^2 legato a vulcanismo esplosivo (Mann M. 2007)

5) VULCANISMO:

Il vulcanismo è un fenomeno che consiste nella risalita di materiale igneo e gas dalla crosta terrestre. Questo fenomeno avviene spesso lungo i margini delle placche tettoniche, in corrispondenza dei cosiddetti punti caldi, dove vi è una subduzione e conseguente fusione locale della crosta terrestre. (INGV vulcani, Sito 2).

Esistono diversi tipi di eruzione, questo perché esistono diversi tipi di magma che vengono classificati in base al loro contenuto in silice ovvero l'acidità.

Un magma più acido è un magma più ricco in silice e dunque molto viscoso, al contrario viene definito magma basico un magma con un minor contenuto di silice.

I magmi acidi essendo più viscosi accumulano un maggior contenuto di gas al loro interno, creando una maggiore pressione e dando luogo ad eruzioni esplosive. D'altra parte, i magmi caratterizzati da un basso contenuto in silice sono meno viscosi e dunque accumulano meno gas, conseguentemente daranno origine a eruzioni meno esplosive.

Esistono 7 tipi di eruzione che verranno brevemente descritti:

- **Eruzione di tipo hawaiano:**

Quella di tipo hawaiano è un'eruzione non esplosiva con un VEI molto basso, caratterizzata dalla produzione di lava molto fluida per via del basso contenuto di silice; infatti, la lava eruttata può scorrere per chilometri senza subire un consistente raffreddamento.

Questa tipologia di eruzione dà origine ad edifici vulcanici dai fianchi poco ripidi.

- **Eruzione di tipo islandese:**

L'eruzione di tipo islandese è sostanzialmente simile all'eruzione di tipo hawaiano per viscosità del magma e conseguentemente della lava eruttata con la differenza che non crea edifici vulcanici di forma conica ma vulcani fessurali o lineari. I Vulcani fessurali non sono altro che un insieme di lunghe fratture parallele dalla quale fuoriesce la lava, situati soprattutto lungo le dorsali oceaniche come quella atlantica.

- **Eruzione di tipo pliniana:**

Quella di tipo pliniana è un'eruzione esplosiva di medio-alta entità, caratterizzata da un'alta viscosità del magma e dunque da magmi ricchi di silice. Sono solitamente quelle che hanno un VEI medio alto. Quando l'evento è particolarmente esplosivo può addirittura causare il parziale crollo dell'edificio vulcanico, in tal caso viene definita ultra-pliniana.

- **Eruzione di tipo stromboliano:**

L'eruzione di tipo stromboliano è un'eruzione non molto esplosiva con un VEI medio-basso, caratterizzata da magma acido e da un evento eruttivo duraturo con emissione a intervalli semi regolari di fontanelle di lava.

- **Eruzione di tipo vesuviano:**

L'eruzione di tipo vesuviano non è altro che una variante meno potente dell'eruzione pliniana, motivo per il quale viene definita sub-pliniana. Un evento eruttivo di questo genere è di tipo esplosivo caratterizzato da una discreta viscosità del magma.

- **Eruzione di tipo vulcaniano:**

Le eruzioni di questo tipo sono caratterizzate da un magma con una discreta viscosità che dà vita ad eruzioni esplosive di media potenza. Gli eventi eruttivi più potenti di questa categoria possono rompere il cratere e creare l'apertura di bocche laterali.

- **Eruzione di tipo grandi caldere (o supervulcani):**

L'ultima tipologia di stile eruttivo è quella delle grandi caldere anche chiamati super vulcani.

Queste eruzioni sono caratterizzate da una forte esplosività, hanno un VEI circa pari ad 8 e sono quelle che creano le colonne eruttive più alte, immettendo un volume di gas ed aerosol in atmosfera più alto rispetto a tutti gli altri stili eruttivi. (mapsism, Sito 3)

5.1) Indici del vulcanismo:

Al fine di descrivere i fenomeni vulcanici è necessario l'utilizzo di indici per classificare diversi parametri legati all'evento eruttivo.

Nel corso degli ultimi decenni sono stati diversi i tentativi di creare degli indici che potessero descrivere le eruzioni del passato, in particolare in questo capitolo ne verranno discussi due, il DVI ovvero il Dust Veil Index ed il VEI ovvero il Volcanic Explosivity Index.

- Dust Veil Index

Il Dust Veil Index fu formulato da Lamb nel tentativo di quantificare l'impatto dei cambiamenti nella composizione atmosferica dovuti alle eruzioni vulcaniche esplosive.

In particolare, il DVI proprio di un'eruzione quantifica l'impatto climatico dell'emissione di polveri e aerosol in atmosfera a partire dall'evento eruttivo fino agli anni successivi.

La formulazione del DVI fu basata su una revisione di studi empirici e teorici del possibile impatto delle "polveri vulcaniche" sul clima. Per la creazione del suddetto indice furono usati dati climatici quali la variazione di radiazione al suolo e la temperatura oltre che quando reperibili dati registrati inerenti all'eruzione.

Si possono usare 5 diversi metodi per stimare il DVI, se sono disponibili i dati per usare più di un singolo metodo, nel valore finale, questi, sono mediati tra loro per dare un unico valore. Infine i risultati sono intercalibrati sulla base dell'eruzione del Krakatoa alla quale è stato assegnato un valore DVI di 1000. (Kelly, P. M., & Sear, C. B. 1982)

Chiaramente il DVI è soggetto ad un considerevole errore, e questo errore aumenta man mano che si va indietro nel tempo ed i dati disponibili scarseggiano.

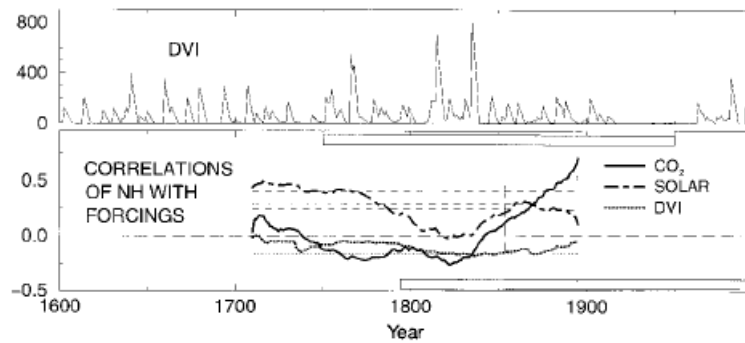


Figura 5: La figura mostra il DVI degli ultimi 400 anni nella parte superiore, mentre nella parte inferiore mostra la correlazione con altri fattori forzanti. (Mann, M., Bradley, R. & Hughes, M. 1998)

- Volcanic Explosivity Index:

Il Volcanic Explosivity Index o “Indice di esplosività vulcanica” fu formulato da Newhall e Self ed è un sistema molto pratico per misurare l’intensità degli eventi eruttivi. Questo indice è stato usato così come è stato proposto da diversi studi, tuttavia presenta qualche imperfezione poiché combina i concetti di magnitudo e intensità, oltre che risultare poco precisa per gli eventi eruttivi meno potenti.

Il criterio di stima per la formulazione del VEI è il volume complessivo dei depositi piroclastici; tuttavia, quando questo dato non è reperibile è possibile utilizzare altri criteri. Si è notato che le eruzioni con un VEI superiore a 3 hanno una relazione di frequenza inversa, ovvero gli eventi eruttivi con un VEI più alto hanno un tempo di ritorno maggiore. (Newhall, C., Self, S. e Robock, A. 2018)

L’indice di esplosività vulcanica proposto da Newhall e Self ha una scala che ha va da 0 a 8 come si può notare nella figura 6 dove 0 corrisponde ad un’eruzione non esplosiva e 8 ad una eruzione fortemente esplosiva.

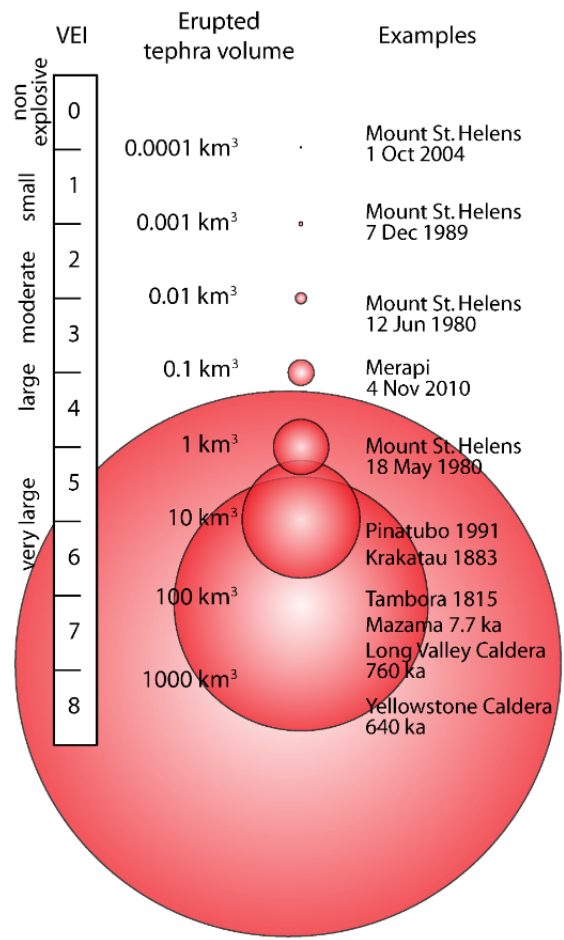


Figura 6: Scala VEI (Newhall, C., Self, S. e Robock, A. 2018)

5.2) Vulcanismo e clima:

Le eruzioni vulcaniche sono molto rilevanti da un punto di vista di alterazione del clima. Storicamente il 41-64% dei cambiamenti climatici precedenti alla rivoluzione industriale sono stati causati dal vulcanismo assieme alla modificazione dell'irraggiamento solare. (Crowley 2000).

Le eruzioni vulcaniche emettono in atmosfera diversi gas, i più rappresentati tra questi sono H_2O , N_2 e CO_2 . Gli stock atmosferici di questi elementi sono talmente grandi che le quantità eruttate non vanno a influenzare o provocare grossi cambiamenti nelle concentrazioni presenti, dunque non incidono sull'effetto serra.

Un elemento che può fare la differenza invece è lo zolfo in particolare come l'anidride solforosa (SO_2) e più raramente anche sotto forma di acido solfidrico (H_2S).

Le eruzioni in grado di modificare nettamente il clima sono quelle esplosive, genericamente quelle con VEI maggiore di 5, ovvero quando la colonna eruttiva arriva fino alla stratosfera.

Una volta immesse nella stratosfera, le particelle di aerosol formate dai gas di zolfo vengono rapidamente diffuse in tutto il globo tramite la circolazione dei venti.

Circa dopo una settimana dall'immissione in atmosfera queste specie chimiche reagiscono con il vapore acqueo H_2O e OH a formare acido solforico (H_2SO_4).

Gli aerosol di H_2SO_4 sono i responsabili dell'effetto radiativo dominante delle eruzioni vulcaniche.

L'effetto più importante causato dallo scontro tra i fotoni che arrivano da fuori dell'atmosfera e l'aerosol di acido solforico è la retrodiffusione della luce, che viene quindi riflessa nello spazio.

Questo fenomeno chiamato "backscattering" provoca l'aumento dell'albedo planetario netto, riducendo la quantità di energia espressa in Watt su metro quadro che arriva al suolo.

L'effetto forzante radiativo è stato misurato come $-0,2 \text{ W/m}^2$ per il globo e $-0,3 \text{ W/m}^2$ per l'emisfero nord.

Tutto il processo di retrodiffusione (figura 7) si traduce con un netto raffreddamento della superficie terrestre. (Robock 2000)

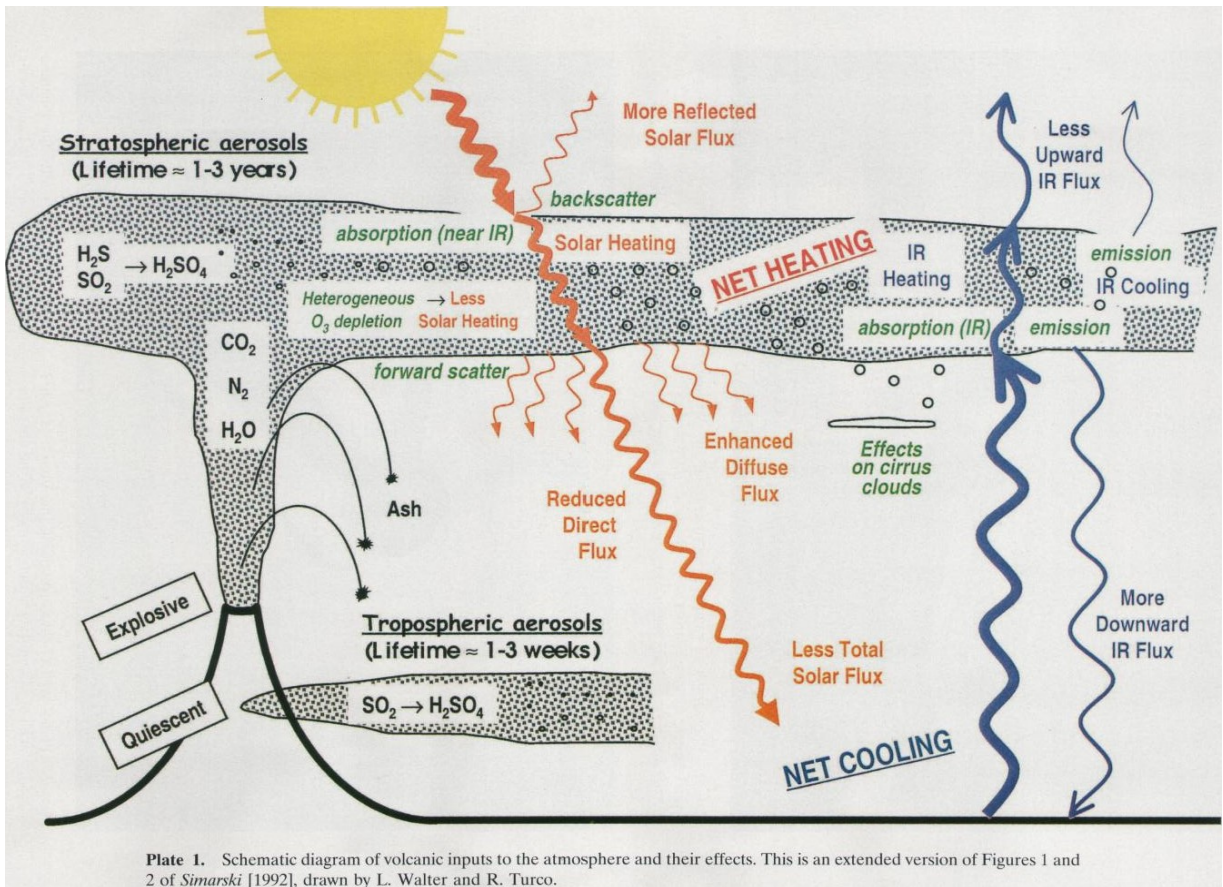


Plate 1. Schematic diagram of volcanic inputs to the atmosphere and their effects. This is an extended version of Figures 1 and 2 of Simarski [1992], drawn by L. Walter and R. Turco.

Figura 7: Schema dell'effetto forzante del vulcanismo e delle sue conseguenze sul clima (Robock, A. 2000)

5.3) Vulcanismo e mercurio:

Il mercurio è un metallo liquido a temperatura ambiente altamente volatile. Una caratteristica che contraddistingue la natura del mercurio è il tempo di residenza nell'atmosfera che si aggira attorno ad 1 anno. Per via della sua natura altamente tossica e bioaccumulante è di grande rilevanza per il tema ambientale e dunque di interesse per la comunità scientifica.

Nel ciclo biogeochimico del mercurio rivestono una vitale importanza le eruzioni vulcaniche; infatti, possiamo definire i vulcani come l'unica fonte diretta naturale di tale elemento.

Per via della sua natura volatile risulta molto difficile misurare esattamente quanto mercurio rilasci una eruzione vulcanica ma come per altri elementi chimici si può usare un rapporto tra la SO₂ ed il mercurio emessi, poiché l'SO₂ è altamente monitorata.

Sebbene non si sappia esattamente quanto sia il tasso di emissione annuale di mercurio dei vulcani, si stima questo numero si aggiri attorno ai 700 Mg/anno ovvero circa il 20-40% di tutto il mercurio emesso naturalmente escludendo dunque quello di origine antropogenica.

Le emissioni significative di un singolo evento sono quelle associate alle rare grandi eruzioni esplosive che si verificano una o due volte al secolo e sono in grado di rilasciare in atmosfera circa 10¹-10³ Tg di SO₂. Tali grandi eruzioni possono rilasciare una quantità maggiore di 10³-10⁴ Mg di Hg per evento, perturbando significativamente il serbatoio di mercurio atmosferico.

Diverse di queste eruzioni individuali di grandi dimensioni sono in grado di portare come sopra citato 10³-10⁴ Mg di Hg direttamente nella stratosfera dove perdurano per diverso tempo e che hanno tassi di deposizione che rivaleggiano con i massimi antropici.

Questi grandi eventi tuttavia rappresentano solamente il 15% delle emissioni a livello globale di Hg mediate nel tempo.

Inoltre, la quantità di mercurio emessa da un singolo evento eruttivo sembra essere influenzata dallo stile eruttivo. (Pyle & Mather 2003).

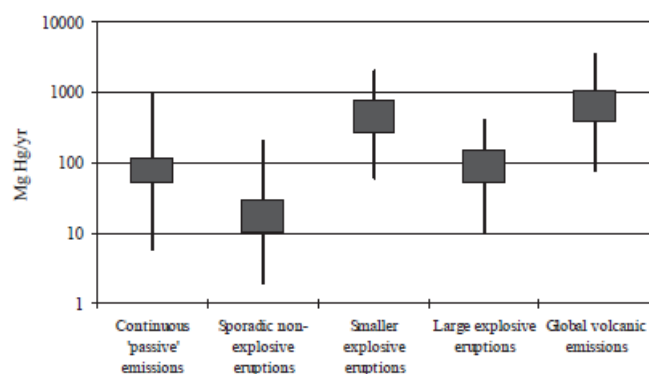


Figura 8: La figura mostra il volume delle emissioni di mercurio divise per le diversi stili eruttivi mediate nel tempo (Pyle & Mather 2003).

Oltre alle carote di ghiaccio, altri archivi di deposizione naturale mostrano livelli di Hg aumentati a seguito di grandi eruzioni. (Pyle & Mather 2003).

Appurato che ad ogni eruzione esplosiva si abbia un notevole impatto sulla concentrazione di mercurio nell'atmosfera e sui successivi tassi di deposito, si possono dunque ricercare dei segnali vulcanici delle grandi eruzioni del passato nel materiale biologico dell'epoca che interessa studiare.

6) ERUZIONI DEL XVII SECOLO:

In questo capitolo verranno analizzate alcune eruzioni con un VEI maggiore di 5 avvenute durante gli anni presi in esame dalle sequenze dei campioni rinvenuti.

- Huaynaputina, 1600 (VEI 6.6):

Il vulcano Huaynaputina è locato nella parte meridionale del Perù. L'eruzione di questo vulcano del 1600 fu la più grande eruzione che avvenne nel sud America negli ultimi 2000 anni.

Secondo testimonianze di letteratura storica e dati dendroclimatici, questo evento eruttivo ebbe inizio nel febbraio del 1600 e terminò a marzo dello stesso anno.

Questa eruzione fu seguita da un periodo di raffreddamento documentato negli archivi storici e da carestie.

Fu un evento clima alterante di notevoli dimensioni, si stima infatti che la colonna eruttiva fosse alta 27-35 km durante il picco nella fase pliniana avvenuta nel febbraio del 1600. Prodotte durante tutto l'evento eruttivo circa 70Mt di carico medio stratosferico di H₂SO₄ a livello globale. (Fei et al., 2016).

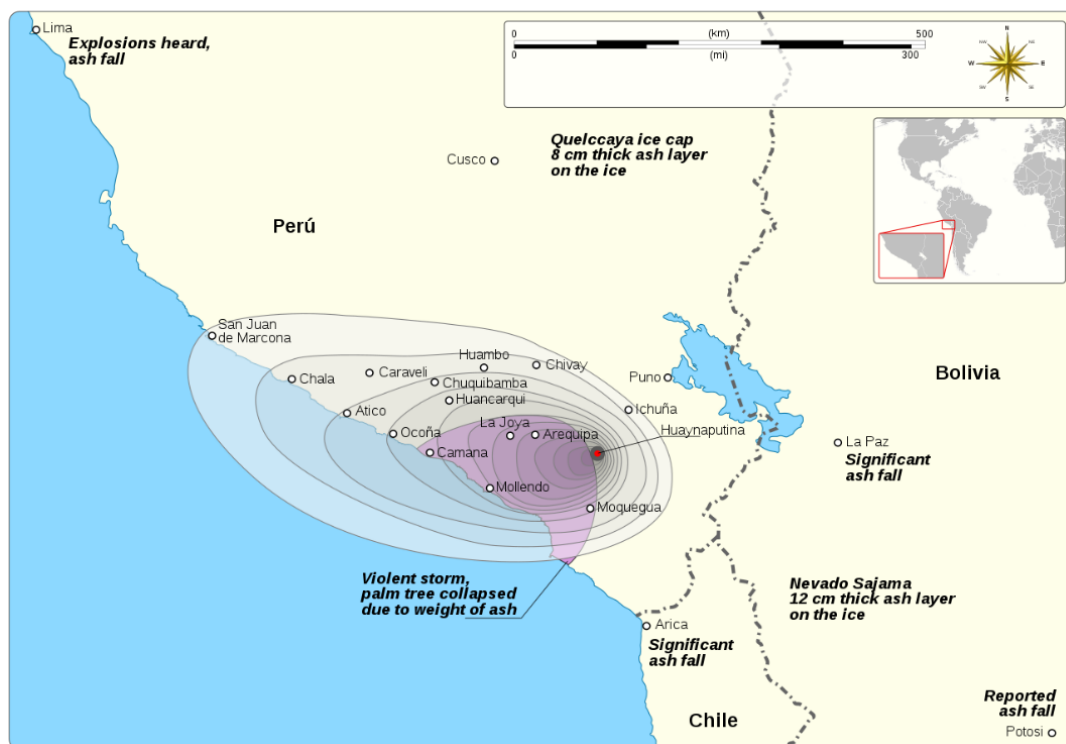


Figura 9: mappa della caduta di tephra (Huaynaputina wikipedia, Sito 6)

- Long Island, 1660 (VEI 6):

Long Island è un vulcano di forma esagonale situato a circa 150 km a est di Madang sulla costa nord in Papua Nuova Guinea.

Quest'ultimo è uno di una serie di isole vulcaniche che raggruppate formano una parte dell'arco vulcanico di Bismark.

Per quanto riguarda l'eruzione del 1600 non esiste una data precisa ma l'analisi del carbonio 14 fatta su dei frammenti di tephra risalenti a quell'evento eruttivo suggerisce una datazione tra il 1640 e 1680. (Pain et al., 1981)

- Toya, 1663 (VEI 5):

Il vulcano Toya che ha un diametro di circa 12 km è locato nella parte sud occidentale di Hokkaido, nel nord del Giappone ed è uno dei più grandi dell'isola.

Nel 1663 avvenne un'eruzione esplosiva di tipo pliniano, la più importante mai registrata sull'isola e quella con i livelli più alti di deposito di tephra. (Miyabuchi et al., 2014)

- Gamkonora, 1673 (VEI 5):

Il vulcano Gamkonora è situato sull'isola di Halmahera in Indonesia. Quest'ultimo è un vulcano attivo capace di intense manifestazioni, tra le quali la più significativa fu l'eruzione del 1673.

Questo evento eruttivo di tipo pliniano aveva un Indice di esplosività vulcanica pari a 5, la sua fase più intensa è datata 20 maggio 1673.

Fonti storiche indicano che l'eruzione causò l'oscuramento totale del sole nelle città prossime al vulcano situate oltre ai 70 km di distanza, il bilancio dei caduti in seguito all'evento non è noto ma si presume essere notevole. (Saing et al., 2020).

results and provide details on the summit morphology.

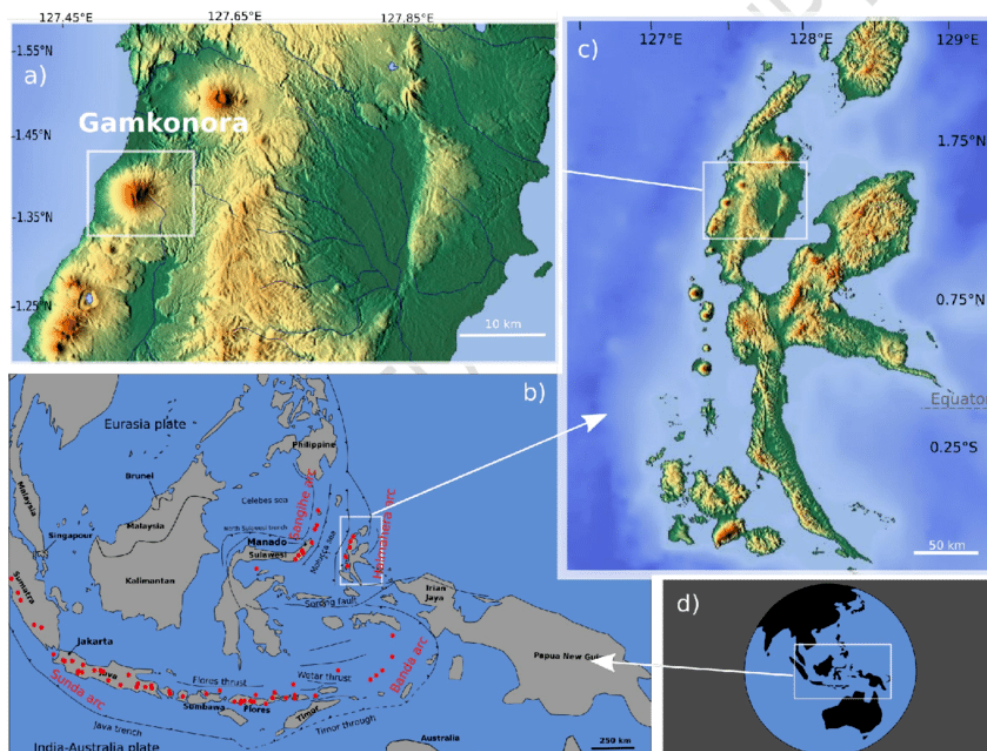


Figura 10: Localizzazione geografica e morfologia del vulcano Gamkonora (Saing et al., 2020).

- **Katla, 1721 (VEI 5):**

Il vulcano katla è locato nella zona vulcanica a sud dell'Islanda ed è parzialmente coperto da un ghiacciaio. Nel maggio del 1721 si registra per questo vulcano un'importante eruzione che durò per circa 100 giorni.

Ci sono diversi documenti storici a testimonianza della grande quantità di aerosol che questo evento eruttivo rilasciò in atmosfera.

Si parla infatti di “sole oscurato” e di “nebbia asciutta” in diverse testimonianze da Parigi a Milano e perfino in Germania nel giugno del 1721. (Demarée, G. R., & Nordli, Ø., 2007)

7) RISULTATI E DISCUSSIONI:

In questo capitolo verranno analizzati i risultati ottenuti dalle analisi fatte all'università di Wuhan da Jacopo Dal Corso su campioni di *Larix decidua* provenienti dall'arco alpino. Per la prima parte del XVII secolo sono stati analizzati due campioni con sequenze corte (1596-1606).

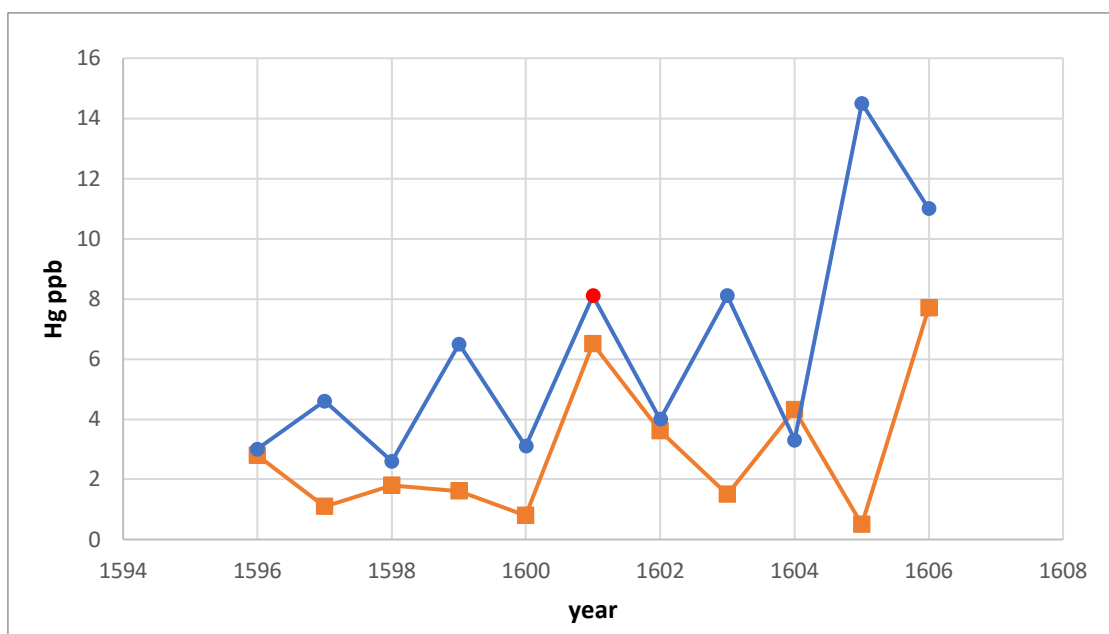


Figura 11: La figura mostra la concentrazione espressa in parti per miliardo (ppb) di Hg dei due campioni a sequenza corta, in blu il campione VVLD209b, mentre il campione VVLD304X in arancio per il periodo 1596-1606

Come si può notare dalla figura 11 entrambi i campioni riportano un leggero picco nella concentrazione di mercurio intorno all'anno 1601 ed un altro picco molto più significativo attorno all'anno 1605-1606.

Questo secondo picco risulta però leggermente in ritardo rispetto all'eruzione più grande di questo periodo, ovvero quella dell'Huaynaputina (VEI 6, anno 1600). D'altra parte questo evento vulcanico coincide perfettamente con il picco del 1600-1601 che si nota soprattutto per il campione rappresentato dai simboli arancioni.

I motivi del “ritardo” del secondo picco non sono noti; tuttavia, un’ipotesi che si può azzardare consiste nell’attribuire questo ritardo alla circolazione dei venti di quel periodo che possono aver spostato l’aerosol prodotto dall’evento eruttivo.

In contrasto con quanto appena detto è noto che il tempo di residenza del mercurio in atmosfera è di circa un anno. (Pyle & Mather 2003).

Questo dato confuterebbe dunque l’ipotesi precedente.

Per quanto riguarda la seconda parte del XVII secolo invece sono stati analizzati due campioni con lunghe sequenze di anelli comprendenti anche la prima parte del XVIII secolo (1650-1720).

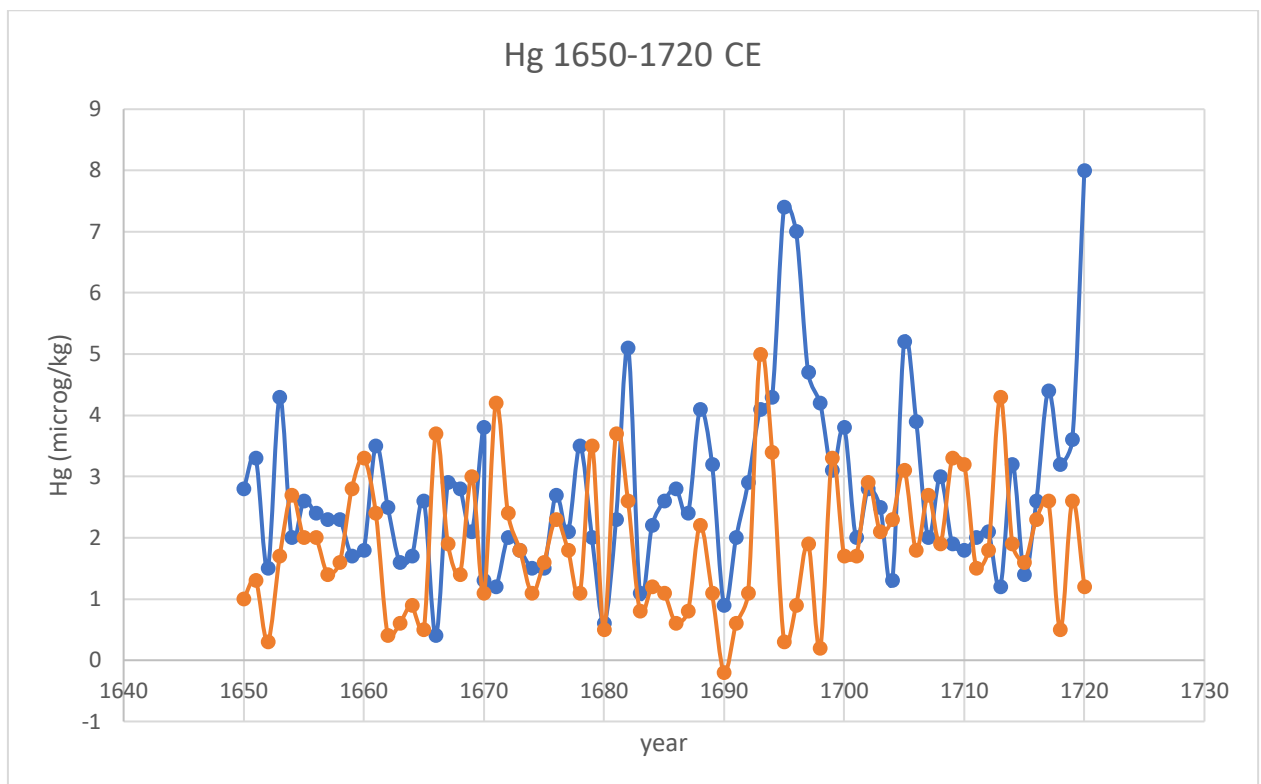


Figura 12: La figura mostra la concentrazione espressa in microgrammi su Kg (microg/Kg) di Hg dei due campioni a sequenza lunga, in blu il campione C 125, mentre il campione C 131 in arancio per il periodo 1650-1720

Come si può notare nella figura 12 per i 70 anni presi in esame da queste due sequenze, la media dei livelli di Hg rilevati è piuttosto bassa, al di fuori di un paio di eccezioni tutti i valori risultano infatti più bassi di 4-5 ppb.

Gli unici picchi che hanno rilevanza sono quelli visibili sul campione C 125, ovvero quello in blu, per gli anni 1695-1696 e per il 1720.

Questi due picchi, tuttavia, non sono correlati a nessuna delle eruzioni conosciute di quel periodo con un VEI maggiore di 5. Non si conoscono infatti i reali motivi dell'aumento del contenuto di mercurio negli anelli di crescita di quegli anni anche se non si può escludere un'eruzione vulcanica forte avvenuta però in aree remote e pertanto non nota nei record vulcanologici.

8) CONCLUSIONI:

Il XVII secolo risulta essere il secolo più freddo dell'ultimo millennio, quest'ultimo infatti è collocato circa a metà dell'epoca chiamata Little Ice Age, ovvero l'ultimo periodo di raffreddamento globale che il pianeta terra abbia subito.

Anche se non del tutto chiare al mondo scientifico, si ipotizza che le cause delle anomalie climatiche di quel periodo vadano ricercate nei fattori forzanti che hanno caratterizzato l'epoca.

Con questo lavoro in particolare si è andati ad analizzare il fattore forzante che si ipotizza essere di maggiore rilevanza ovvero il vulcanismo esplosivo.

È ormai chiaro come il vulcanismo e più in particolare gli eventi eruttivi più potenti abbiano una forte ripercussione sullo stock atmosferico di agenti capaci di alterare il clima come lo zolfo.

Questo elemento, tuttavia, non si trova sotto forma di zolfo elementare ma bensì come anidride solforosa che reagendo con il vapore acqueo presente in atmosfera forma come prodotto l'acido solforico.

L'acido solforico diffuso negli aerosol emessi in atmosfera dagli eventi eruttivi di grande esplosività è il principale composto responsabile della riflessione dei raggi solari.

Tale elemento disperso negli aerosol vulcanici aumenta l'albedo planetario diminuendo di conseguenza la temperatura attraverso il fenomeno chiamato backscattering, ovvero la retrodiffusione.

Si è dunque tentato di dare un'ulteriore prova dei motivi che hanno causato le alterazioni climatiche dell'epoca attraverso l'analisi della presenza di mercurio in anelli di larice che risalgono al XVII secolo.

La ricerca delle tracce di mercurio all'interno di anelli di accrescimento di larice dell'arco alpino per quanto riguarda il XVII secolo ha dato scarsi risultati, mostrando bassi valori di Hg per tutta la durata del secolo, ad eccezione di qualche possibile picco.

Dalla figura 11, nelle sequenze corte, si notano dei picchi che potrebbero corrispondere all'eruzione dell'Huaynaputina (1600), tuttavia questi ultimi sono registrati circa 4/5 anni dopo rispetto all'evento eruttivo.

Per quanto concerne la seconda metà del XVII secolo, dall'analisi del grafico in figura 12 si evince come solo uno dei due campioni a lunga sequenza riporti due picchi significativi; tuttavia, entrambi i picchi in questione non sono strettamente correlati ad alcuna eruzione conosciuta dell'epoca con un VEI maggiore o uguale a 5.

In conclusione, la scelta del mercurio come indicatore del vulcanismo esplosivo è risultata un fallimento. Questo risultato negativo può essere scaturito da diverse ragioni, prima tra queste potrebbe essere dalla volatilità del mercurio che causa incertezza sulla quantità dello stesso elemento che viene emesso durante l'evento eruttivo; infatti, vi è una grande incertezza sulla quantità effettiva di mercurio che uno specifico evento eruttivo possa rilasciare e solitamente ci si basa su il rapporto SO₂/Hg.

BIBLIOGRAFIA:

Crowley, T.J. (2000) Causes of Climate Change over the Past 1000 Years. *Science*, 289, 270-277.

Demarée, G. R., & Nordli, Ø. (2007). THE LISBON EARTHQUAKE OF 1755 VS. VOLCANO ERUPTIONS AND DRY FOGS—ARE ITS “METEORIC” DESCRIPTIONS RELATED TO THE KATLA ERUPTION OF MID OCTOBER 1755?.

Fei, Jie, Zhang, David D., Lee, Harry F., 1600 AD Huaynaputina Eruption (Peru), Abrupt Cooling, and Epidemics in China and Korea, *Advances in Meteorology*, 2016, 3217038, 12 pages, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/3217038>.

Garca, R., and A. P. 2012. ‘Atomic Absorption Spectrometry (AAS)’. *Atomic Absorption Spectroscopy*. InTech. doi:10.5772/25925.

Kelly, P. M., & Sear, C. B. (1982). The formulation of Lamb's dust veil index. *Atmospheric Effects and Potential Climatic Impact of the 1980 Eruptions of Mount St. Helens*, 2240, 293-298.

Mann, M., Bradley, R. & Hughes, M. (1998) Global-scale temperature patterns and climate forcing over the past six centuries. *Nature* 392, 779–787 (1998). <https://doi.org/10.1038/33859>.

Mann, Michael. (2007). Climate Over the Past Two Millennia. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 35. 111-36. 10.1146/annurev.earth.35.031306.140042.

Newhall, C., Self, S., & Robock, A. (2018). Anticipating future Volcanic Explosivity Index (VEI) 7 eruptions and their chilling impacts. *Geosphere*, 14(2), 572-603.

OROMBELLI G. (2005) – Cambiamenti climatici. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, . Suppl. 7, 15-24.

Pain, C. F., Blong, R. J., McKee, C. O., & Polach, H. A. (1981). Pyroclastic deposits and eruptive sequences of Long Island. Cooke-Ravian volume of volcanological papers. Geological Survey of Papua New Guinea, Port Moresby, Memoir, 10, 101-113.

P. D. Jones et al. ,The Evolution of Climate Over the Last Millennium.*Science*292,662-667(2001).DOI:10.1126/science.1059126.

Pyle, D., & Mather, T. (2003). The importance of volcanic emissions for the global atmospheric mercury cycle. *ATMOSPHERIC ENVIRONMENT*, 37(36), 5115–5124.

R.M. Twyman, MASS SPECTROMETRY | Pyrolysis, *Encyclopedia of Analytical Science (Second Edition)*, Elsevier, 2005.

Robock, A. (2000), Volcanic eruptions and climate, *Rev. Geophys.*, 38(2), 191–219, doi:10.1029/1998RG000054.

Saing, Ugan & Bani, Philipson & Haerani, Nia & Aiuppa, Alessandro & Primulyana, Sofyan & Alfianti, Hilma & Syahbana, Devy & Kristianto, Kristianto. (2020). First characterization of Gamkonora gas emission, North Maluku, East Indonesia. *Bulletin of Volcanology*. 82. 10.1007/s00445-020-01375-7.

Ünlü, K., Pearson, C., Hauck, D. K., & Kuniholm, P. I. (2009). Dating volcanic eruptions with tree-ring chemistry. *IEEE Potentials*, 28(5), 36-44.

Wanner, H., Pfister, C., & Neukom, R. (2022). The variable European little ice age. *Quaternary science reviews*, 287, 107531.

Yasuo Miyabuchi, Mitsuru Okuno, Masayuki Torii, Mitsuhiro Yoshimoto, Tetsuo Kobayashi,(2014),Tephrostratigraphy and eruptive history of post-caldera stage of Toya Volcano, Hokkaido, northern Japan, Journal of Volcanology and Geothermal Research.

SITOGRAFIA:

Sito 1: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>

Sito 2: <https://ingvvulcani.com/>

Sito 3: <https://www.mapsism.com/vulcani/Tipi-di-eruzioni-vulcaniche>

Sito 4: <https://www.directindustry.it/prod/lumex-instruments/product-158140-1646587.html>

Sito 5: <https://fe.ethz.ch/en/research/dendrochronology-and-phenology/tree-ring-lab/crossdating.html>

Sito 6: <https://en.wikipedia.org/wiki/Huaynaputina>

RINGRAZIAMENTI:

Vorrei dedicare questa tesi a tutte le persone che mi sono state vicine durante tutto il mio percorso universitario.

Ci tengo particolarmente a ringraziare Chiara siccome durante tutto l'ultimo anno mi è stata vicina tra mille dubbi e momenti di sconforto così come nei momenti di gioia.

Ringrazio anche i miei genitori che mi hanno sempre sostenuto e cresciuto nell'amore per la montagna e la sua natura che mi ha indirizzato nella scelta di questa facoltà.

Ringrazio anche tutta la mia famiglia che mi ha sempre motivato a dare il meglio di me.

Ringrazio anche tutti i miei compagni di corso che con gli anni sono diventati dei veri e propri amici e si sa chi trova un amico trova un tesoro.

Infine, come ultimi ma non meno importanti i miei coinquilini che hanno reso la mia vita universitaria decisamente più facile diventando la mia seconda famiglia.

Siamo dunque pronti per iniziare una nuova avventura.