

## I SURGE PIROCLASTICI

Con surge si indicano tutti i flussi di materiale piroclastico che si formano nel corso di alcune eruzioni esplosive nei quali la fase gassosa è più abbondante di quella solida.

Il gas si muove vorticosamente tra i piroclasti che sono mediamente di piccole dimensioni (ceneri e lapilli). Mentre scorrono sul terreno, i surge si espandono perché la **turbolenza** del gas dilata la nube e, nello stesso tempo, mantiene in sospensione le particelle solide.

Le miscele eruttive di questo tipo prendono nomi diversi (base surge, ground surge e ash-cloud surge) a seconda del meccanismo di formazione.

Solo il base surge è considerato un evento eruttivo vero e proprio, mentre gli altri due sono associati a eruzioni nel corso delle quali si formano flussi piroclastici nei quali le particelle solide sono più abbondanti della fase gassosa.

### Base surge

Un base surge consiste in una miscela turbolenta di gas e piroclasti che si origina alla base della colonna sostenuta di un'eruzione freato-magmatica.

Le prime osservazioni di nubi cariche di cenere che si muovevano radialmente dalla base della colonna eruttiva vennero fatte durante alcune eruzioni freato-magmatiche e, in particolare, quelle di Capelinhos nelle Azzorre e di Taal nelle Filippine.

Probabilmente i base surge, un tempo considerati solo conseguenza di processi di interazione acqua-magma, possono generarsi anche quando il getto di piroclasti e gas esce dal cratere con una pressione talmente alta da esplodere in senso radiale.

I surge osservati alle Azzorre e nelle Filippine assomigliavano in maniera impressionante all'anello di gas e polvere che si forma alla base del fungo di un'esplosione atomica e che precede di pochi attimi la risalita della colonna. Il fenomeno venne chiamato, con un termine di fluidodinamica, "base surge". Una possibile traduzione in italiano è "fronte d'onda basale", ma in genere si usa il termine inglese.

Gli esperimenti nucleari, eseguiti a mare nell'isola di Bikini, hanno mostrato che il base surge si forma alla cresta dell'onda d'acqua che contorna la cavità creata dall'esplosione. I gas che si espandono strappano gocce d'acqua dal lato interno e dalla cima dell'onda, trasformandoli in getti che alimentano il base surge.

Il fenomeno vulcanico può essere collegato a esplosioni che avvengono a bassa profondità. I gas si espandono dapprima verso l'alto, allargano il condotto e poi si irradiano al di fuori di esso con la velocità dei venti di un uragano, trascinando cenere, pezzi di magma e di condotto.

La capacità distruttiva di un base surge arriva fino a distanze di qualche chilometro dal centro di emissione. Nel caso dell'eruzione del Taal del 1965, l'area danneggiata dall'esplosione era compresa in una distanza massima dal cratere di circa 6 chilometri, con i danni maggiori tra 500 metri e 1 chilometro dal cratere.

Alcuni vulcani di piccole dimensioni, ad esempio i maar, sono formati dall' accumulo di sottili strati di depositi da base surge che testimoniano il succedersi di esplosioni ogni volta che il magma in risalita entra in contatto con acqua superficiale o di falda.

## Ground surge

I ground surge sono correnti piroclastiche a bassa concentrazione di particelle solide, generalmente più calde e con un minor contenuto in acqua o vapore rispetto ai base surges. E' probabile che in certi casi la formazione di un ground surge preceda quella di un flusso concentrato, dal momento che molti depositi da ground surge si trovano alla base di depositi da flusso piroclastico di grosso spessore.

In base all' analisi dei depositi, si ritiene che i possibili meccanismi di formazione di un ground surge possano essere:

- a) espulsione di materiale dalla zona più avanzata di un flusso piroclastico in movimento
- b) parziale collasso di una colonna eruttiva sostenuta. In questo caso, i prodotti si trovano sotto depositi da caduta
- c) esplosione direzionale con emissione di una corrente piroclastica poco concentrata direttamente dal cratere

a) La possibilità che correnti turbolente e diluite si formino nella parte anteriore dei flussi piroclastici, dipende dalla capacità di un flusso piroclastico caldo di ingerire aria esterna fredda.

L' aria inglobata si riscalda e crea turbolenza nella testa del flusso. Nella zona interessata da turbolenza, le particelle più fini sono trasportate verso l' alto dai vortici di gas, mentre una parte di gas esce davanti al flusso, trascinando getti di piroclasti. I piroclasti scagliati davanti al flusso mancano della matrice asportata dai vortici e, pertanto, scorrono per un breve tratto ad alta velocità e poi si sedimentano.

La parte più cospicua del flusso scalvalca il deposito dei getti e quando tutto il materiale è sedimentato, alla base del deposito del flusso piroclastico si trovano strati o lenti di piroclasti privi di matrice, che rappresentano il ground surge.

b) Un ground surge può formarsi per collasso parziale di una colonna eruttiva sostenuta, se si ipotizza che i piroclasti più grossi siano trasportati nella parte di getto dove vi è maggiore energia, cioè nelle zone più interne della colonna ascendente che non risentono dell' attrito con le pareti del condotto e che hanno velocità più alta.

La parte esterna della colonna, costituita da materiali fini, riesce a miscelarsi solo parzialmente con l' aria e collassa gradualmente, formando flussi di piccolo volume, turbolenti e poco concentrati. □

Questi surge possono precedere un flusso piroclastico se collassa anche la parte più interna della colonna, oppure possono sedimentarsi mentre l' eruzione procede con una colonna sostenuta.

c) L' idea che un ground surge potesse originarsi da un' esplosione direzionale nasce dopo l' eruzione del 1902 a la Pelée, anche se attualmente si ritiene che il flusso di quella eruzione derivasse dal crollo della colonna eruttiva e fosse denso.

Nelle esplosioni direzionali, la colonna eruttiva invece di innalzarsi verso l' alto come nelle eruzioni pliniane ha una direzione inclinata e disperde velocemente i prodotti piroclastici che trasporta lungo i fianchi del vulcano con meccanismo da flusso.

L' eruzione avvenuta su un fianco franato del vulcano St. Helens nel 1980 è un classico esempio di esplosione direzionale. Il deposito lasciato dalla fase esplosiva di questa eruzione presenta caratteristiche da surge ma, nonostante i numerosi documenti e testimoni oculari, le interpretazioni non sono concordi e alcuni ritengono che si sia trattato di un flusso piroclastico denso e molto veloce.

### **Ash-cloud surge**

Gli ash-cloud surge sono nubi di cenere e gas, turbolente e diluite, che scorrono sopra un flusso piroclastico denso. La loro formazione è collegata all' abbondanza di particelle fini presenti nel sottostante flusso piroclastico.

Un ash-cloud surge comincia a formarsi dopo che il flusso piroclastico ha percorso una certa distanza, aumenta il suo spessore nella zona intermedia dal punto di emissione e, nelle zone più lontane, può continuare a scorrere anche dopo che il flusso denso sottostante si è depositato.

E' stato osservato in recenti eruzioni, come un ashcloud surge possa staccarsi dal flusso piroclastico e muoversi indipendente da esso. La parte di flusso denso resta confinata nelle depressioni, mentre la nube turbolenta può scavalcare i bordi delle vallate e seguire un percorso totalmente differente. In questi casi, si parla di disaccoppiamento dei flussi piroclastici.

## **animazione**

### **Disaccoppiamento dei flussi piroclastici**

Il 3 giugno 1991 il collasso del duomo sommitale del vulcano Unzen (Giappone) forma un flusso piroclastico che raggiunge e travolge un gruppo di 40 persone, tra le quali i vulcanologi Katia e Maurice Kraft e Harry Glicken.

Il fatto che persone particolarmente esperte ritenessero di trovarsi in una posizione sufficientemente elevata per evitare i danni di eventuali flussi, ha indirizzato le osservazioni dei vulcanologi sulla possibilità che i flussi piroclastici potessero separarsi in correnti con differenti percorsi.

Il flusso che raggiunse quel giorno il gruppo di persone, e che si ripeté con analoghe caratteristiche nel settembre dello stesso anno, era infatti diviso in due parti: una parte densa basale seguì una curva nella valle e si allontanò dalla gente senza danneggiarla; l' altra parte, meno densa, continuò in direzione del piccolo rilievo su cui si trovavano le persone e lo scavalcò.

Il fenomeno di disaccoppiamento delle correnti piroclastiche è legato a numerosi fattori, ma i meccanismi ritenuti fondamentali nella formazione di zone a differente concentrazione di solidi all' interno dello stesso flusso sono quattro:

- caduta gravitativa delle particelle verso il basso che incrementa la concentrazione alla base del flusso e riduce quella nella parte superiore;
- formazione di uno strato basale capace di erodere il substrato su cui scorre, incorporare materiale e, di conseguenza, incrementare la concentrazione di solidi alla base;
- formazione di una zona turbolenta nella parte superiore del flusso per incorporamento di aria esterna;
- espulsione di materiale fine da una corrente densa per azione dei gas (elutrazione).

Una corrente piroclastica può essere completamente turbolenta fino a quando le particelle non cominciano a cadere verso il basso e a concentrarsi in uno strato basale. Al di sopra di un certo livello di concentrazione, i moti vorticosi dei gas sono impediti e la parte basale di un flusso turbolento può assumere le caratteristiche di un flusso non turbolento.

Nello stesso tempo, la progressiva sottrazione di particelle incrementa la diluizione della parte superiore e favorisce il mantenimento della turbolenza in quella zona. La differenza di densità, velocità e regime di flusso tra la parte non turbolenta e quella turbolenta crea due correnti separate che possono seguire differenti percorsi.

Il processo di disaccoppiamento tra i due strati è accentuato dall' incontro di ostacoli topografici che possono deviare o fermare la parte più densa. La parte superiore a minore concentrazione (ash-cloud surge) perde rapidamente energia dopo il disaccoppiamento, ma conserva un' elevata temperatura.

Inoltre, data la sua natura diluita, è soggetta a minori fenomeni di frizione interna rispetto al flusso piroclastico denso e può accelerare fino a quando diviene meno densa dell' aria circostante, cioè fino a quando gran parte della frazione solida non si è depositata.

### **animazione**

### **Meccanismi di trasporto nei surge**

In una corrente piroclastica diluita gran parte del carico solido viene trasportata in sospensione per mezzo della turbolenza creata dal moto vorticoso dei gas.

La turbolenza può derivare dal calore o essere indotta dalla velocità del flusso. La velocità è probabilmente la causa principale, in quanto il calore viene dissipato rapidamente, soprattutto nelle zone più esterne del flusso.

Il regime di turbolenza può essere mantenuto all' interno di un surge solo per un tempo relativamente breve e, durante lo scorrimento, i piroclasti cadono verso il basso, formando uno strato basale concentrato. Le correnti piroclastiche diluite, infatti, non restano espanse per lunghe distanze e nel tempo vi è un graduale aumento di densità e di particelle trasportate per trazione sul fondo.

Nei surge l' effetto della fluidizzazione è insignificante a causa della scarsa concentrazione di particelle. Anche l' ingestione di aria esterna, che rappresenta un' importante fonte di gas nei flussi piroclastici, nei surge ha l' effetto di provocare una rapida diminuzione di calore e di energia.

La stessa forma dei surge osservati, poco espansi alla testa, è l' evidenza di una limitata ingestione di aria. La mancanza di strutture di degassazione nei depositi da surge avvalorano l' ipotesi che il flusso non sia in grado di trattenere grandi quantità di gas al suo interno.

In un surge secco, i granuli passano gradualmente dal sistema di trasporto in sospensione a quello per trazione sul fondo, con un progressivo incremento nel trasporto per trazione.

In presenza di umidità, la cenere tende ad aggregarsi formando strutture sferiche (pisoliti) che aumentano le dimensioni effettive dei granuli trasportati. Il mantenimento in sospensione di questi aggregati richiede una forza di trascinamento verso l' alto maggiore rispetto a quella necessaria per le singole particelle di cenere e gli aggregati possono cadere verso il fondo.

La formazione di uno strato basale concentrato è comune nei base surge che contengono granuli di diverse dimensioni e dove, quindi, vi sono clasti più densi o più grandi che tendono a cadere verso il fondo.

Al contrario, i ground surge e gli ash-cloud surge, presentano già in partenza una certa selezione granulometrica e la formazione di uno strato basale più denso è meno evidente.

Al diminuire della velocità, alla quale è in parte legata la turbolenza, diminuisce anche la capacità di trasporto. Il passaggio tra la fase a scorrimento veloce e quella di dissipazione avviene gradualmente con la distanza. Fino a che la densità non diventa inferiore a quella dell' aria e fino a che l' aria assorbita può essere inglobata e riscaldata, il flusso mantiene una certa capacità di trasporto e velocità di propagazione.

### **Sedimentazione delle particelle solide**

La sedimentazione della frazione solida inizia quando il livello di energia scende al di sotto di quanto serve per mantenere i granuli in sospensione o per trascinarli sul fondo.

L' energia iniziale di un surge dipende dalla violenza dell' eruzione. Durante lo scorrimento, questa energia, che in gran parte deriva dalla temperatura, viene rapidamente dispersa e i surge scorrono per gravità. La loro propagazione è controllata dalla progressiva variazione di densità e dalla diminuzione dello spessore, dall' attrito e dalla riduzione della pendenza del substrato.

La diminuzione della densità avviene per sedimentazione delle particelle o per ingerimento di aria esterna. Una volta iniziata, la sedimentazione provoca una perdita di quantità di moto che favorisce l' abbandono di altro materiale.

Nei base surge, il tasso di sedimentazione aumenta dopo l' aggregazione delle particelle di cenere dovuta alla presenza di umidità, se la granulometria degli aggregati risulta superiore alla capacità di trasporto del flusso.

La diminuzione di densità per ingerimento di aria si verifica principalmente nelle zone esterne del flusso. Lo spessore si riduce con la distanza quando la dissipazione della fase gassosa, favorita anche da una sempre minore concentrazione di solidi, provoca la deflazione del flusso.

Gli effetti dell' attrito si risentono sia alla base che alla testa e alla superficie superiore del surge. Data la densità relativamente bassa, l' attrito con il substrato è ininfluenza finché il flusso resta espanso e in grado di mantenere in sospensione anche i clasti più grandi.

Quando nel surge ha inizio la deflazione, una certa quantità di particelle si concentra sul fondo e produce uno strato basale dove il trasporto avviene per trazione. Tra la base del flusso e il substrato l' attrito aumenta e favorisce un ulteriore rallentamento del surge e la sedimentazione del materiale concentrato alla base.

La capacità di trasporto diminuisce e il materiale più pesante si sedimenta anche quando il flusso decelera sopra una superficie di scorrimento pianeggiante.