

ANALISI DEL RISCHIO NA-TECH NELL'AREA A RISCHIO VESUVIO

Ernesto Salzano, Anna Basco, Concetta Anacleria

**Istituto di Ricerche sulla Combustione, Consiglio Nazionale delle Ricerche,
Via Diocleziano 328, 80124 Napoli, IT. E-mail: salzano@irc.cnr.it**

SOMMARIO

La presenza in contesti urbanizzati di processi produttivi in cui si utilizzano sostanze pericolose pone il problema di conciliare le esigenze della produzione industriale con quelle dell'ambiente circostante e col bisogno di sicurezza dei lavoratori e delle popolazioni, anche in considerazione dei possibili eventi naturali quali terremoti, inondazioni o, nel caso di Napoli o della Sicilia, di eruzioni vulcaniche. Tuttavia, l'attenzione rivolta dai gestori, dal legislatore e dagli enti competenti all'interazione tra eventi naturali e industrie a rischio di incidente rilevante è scarsa e mancano metodologie, linee guida e procedure semplificate per l'analisi dei rischi e per la pianificazione dell'emergenza dovuta a scenari incidentali industriali innescati da fenomeni naturali (rischi Na-Tech). In tale ottica, l'Istituto di Ricerche sulla Combustione, Centro di Competenza del Dipartimento della Protezione Civile, ha avviato uno studio finalizzato alla definizione e all'applicazione di una metodologia per la valutazione del rischio Na-Tech nell'area vulcanica della Provincia di Napoli. La metodologia si propone di identificare le possibili variabili che caratterizzano l'evento eruttivo, di analizzare i pericoli dell'interazione tra i fenomeni naturali pre e post-eruzione e apparecchiature industriali, anche in relazione alla probabilità e alla violenza dell'eruzione vulcanica, e di mettere a punto criteri per l'emergenza vesuviana con specifico riferimento alle attività industriali.

1. INTRODUZIONE

Eventi naturali quali terremoti o eruzioni vulcaniche possono intaccare l'integrità delle strutture industriali e causare la perdita di controllo del processo produttivo. In tal caso, la presenza di grandi quantità di materiali pericolosi può innescare scenari incidentali quali incendi, esplosioni o dispersioni di sostanze tossiche o pericolose per l'ambiente, che possono coinvolgere i lavoratori e la popolazione residente nelle vicinanze delle installazioni industriali. I rischi appena descritti sono definiti in letteratura "Na-Tech" [1]. Tali rischi sono recentemente emersi all'attenzione della comunità scientifica e tecnologica internazionale dopo gli eventi catastrofici degli uragani negli Stati Uniti, dello tsunami in Asia o dei terremoti in Turchia e in Giappone. Ciò nonostante, una recente analisi ha mostrato che nessun paese in Europa possiede un programma integrato per i rischi Na-Tech e per la gestione dell'emergenza ad essa connessa [1]. A tal riguardo, Lindell & Perry [2] e Cruz [3], basandosi su analisi storica di incidenti innescati da eventi naturali catastrofici, hanno recentemente distinto alcune caratteristiche generali del rischio Na-Tech. Secondo tali autori, quando un evento naturale distruttivo di larga scala colpisce un sistema urbano che include un'area o un impianto industriale, gli elementi esposti (uomini, beni, ambiente) si trovano a fronteggiare simultaneamente diversi fattori. Più in particolare, gli eventi naturali possono innescare incidenti tecnologici i cui effetti possono aggiungersi e peggiorare le condizioni delle persone e dell'ambiente che già si trovano ad affrontare gli effetti della calamità naturale. La combinazione di rischi naturali e tecnologici può, inoltre, indurre un sovraccarico di richieste di servizi di emergenza che solitamente sono abituati a fronteggiare un solo evento per volta. Gli stessi autori fanno infine notare come le operazioni di soccorso e salvezza possano essere ostacolate, come accadde durante il recente terremoto in Turchia, a causa della mancanza di risorse (acqua, energia) o della riduzione di accessibilità dovuta alle macerie, al traffico e alle persone che fuggono.

Con particolare riferimento al Na-Tech vulcanico, i dati riportati in letteratura sono pochissimi, data la relativa scarsità di eventi naturali, anche su base mondiale. Solo Baxter et al. [4] hanno analizzato i rischi Na-Tech vulcanici indicando, tra i possibili effetti dell'eruzione, la riduzione o l'interruzione del trattamento delle acque causata dalle ceneri prodotte da eruzioni vulcaniche e gli incidenti dovuti al trasporto di materiali pericolosi su strade rese sdruciolevoli, ancora per la presenza della cenere.

Come è noto, però, il caso dell'area vulcanica della Provincia di Napoli risulta di particolare complessità per effetto della contemporanea presenza di aree fortemente urbanizzate e di un'area petrolifera portuale adibite al trasporto e allo stoccaggio di gas e benzine. Il Dipartimento della Protezione Civile italiana, nell'ambito delle attività dell'Istituto di Ricerche sulla Combustione del CNR, Centro di Competenza sui Rischi Na-Tech, ha quindi promosso uno studio per l'analisi dei rischi di origine vulcanica con specifico riferimento alla pianificazione dell'emergenza industriale. La metodologia sviluppata nell'ambito di questo progetto è descritta nel seguito.

2. ANALISI DEI RISCHI NA-TECH DI ORIGINE VULCANICA

Le analisi Na-Tech devono necessariamente partire da un approccio fortemente multidisciplinare, che richiede una semplificazione, seppur ragionata, dello studio dei singoli fenomeni sia naturali che industriali e delle loro interazioni. Il punto di partenza dello studio dei rischi Na-Tech vulcanico è l'albero degli eventi (Event Tree) elaborato in termini generali da Newhall e Hoblitt [5] e Marzocchi et al. [6] a partire dai precursori dell'eruzione (Fig. 1).

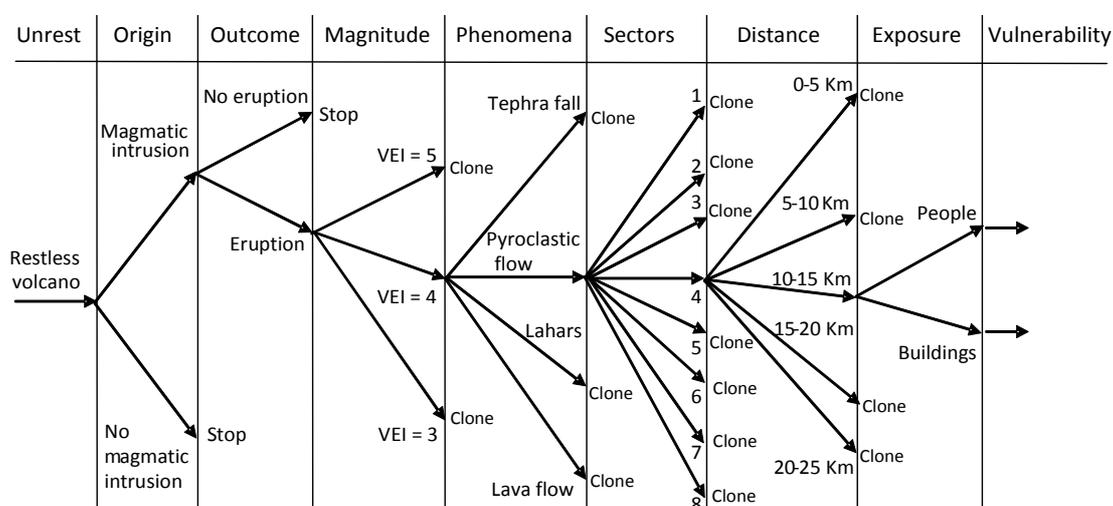


Figura 1. Schema di Event Tree vulcanico [5,6]. VEI = Volcanic Explosion Index.

I nodi "unrest, origin" e "outcome" mostrati in Fig. 1 sono evidentemente legati ai fenomeni precursori all'evento vulcanico vero e proprio. A tal riguardo è bene notare che gran parte degli studi vulcanologici e geofisici sono indirizzati a tali fenomeni, che consentono di prevedere l'accadimento eruttivo con notevole anticipo, e che risultano quindi essenziali per la definizione di misure preventive e emergenziali, anche in considerazione del fatto che nessun sistema di mitigazione sarà possibile nelle zone più pericolose circostanti il cratere vulcanico. Tali studi non sono ovviamente oggetto delle nostre analisi sui rischi Na-Tech, mentre risulta importante analizzare i risultati, presentati in letteratura, sulla violenza dell'eruzione, ossia la magnitudo dell'eruzione e sulla relativa probabilità di accadimento (nodo "magnitude").

Come evidente in Fig. 1, la violenza dell'eruzione è definita attraverso un indice definito "indice di esplosività vulcanica" (VEI, Volcanic Explosion Index). Il valore di tale indice varia da 0 ad 8 su scala logaritmica [7] e fa riferimento al volume di materiale emesso e all'altezza della colonna eruttiva. Eruzioni con $VEI < 3$ sono generalmente caratterizzate da colate laviche e da una scarsa esplosività; eventi con VEI 4 e 5 sono spesso distruttivi a livello locale, mentre eruzioni con VEI uguale o superiore a 6 possono arrivare a compromettere le condizioni climatiche mondiali. Per quanto riguarda la probabilità di accadimento, Simkin e Siebert [8] hanno analizzato la frequenza delle eruzioni in tutto il mondo evidenziando che essa decresce drasticamente all'aumentare del VEI: in 1000 anni ci sono state alcune migliaia di eruzioni con VEI 3 (come l'ultima eruzione vesuviana del 1944), diverse centinaia di eruzioni con VEI 4 (come l'eruzione vesuviana del 1631), circa un centinaio di eruzioni con VEI 5, circa dieci eruzioni con VEI 6 (come quella vesuviana del 79 d.C.) e soltanto due eruzioni con VEI 7. Più in generale, Scandone et al. [9] riportano che il VEI segue una legge di potenza tipo Gutenberg-Richter (G-R) per i terremoti rispetto alla magnitudo M:

$$\log N(M) = a - bM \quad (1)$$

dove N è il numero di eventi con un piccolo intervallo di grandezza centrato in M ; tale assunzione è valida purché si considerino a e b parametri dipendenti dal tempo. Per lo specifico caso del Vesuvio. Gli stessi autori hanno proposto un andamento lineare della probabilità di accadimento in funzione del VEI su scala logaritmica, come evidenziato in Fig. 2.

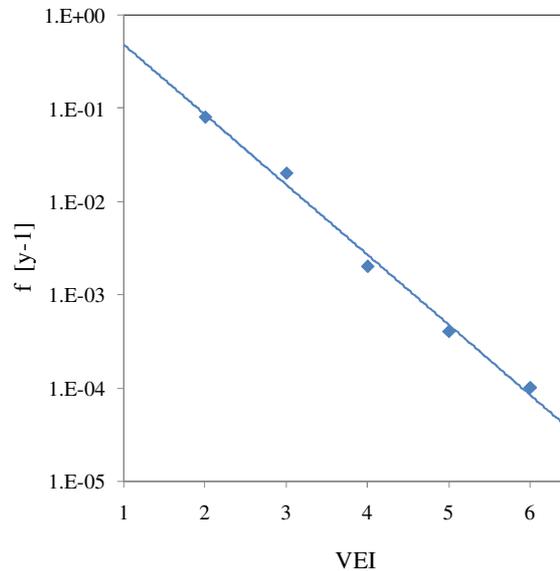


Figura 2. Frequenza annuale di accadimento di VEI per il Vesuvio [9].

Dalla Fig. 2 si evince che vi è una probabilità di accadimento per un VEI 4 pari a circa $2.0 \cdot 10^{-3}$ eventi/anno ed una probabilità di circa $2.0 \cdot 10^{-2}$ eventi/anno per un VEI 3. Recentemente, sempre per il Vesuvio, Marzocchi et al. [6] hanno dimostrato che un $VEI \geq 5$ ha probabilità compresa tra l'1% e il 20% e ritengono improbabile un valore di $VEI \leq 2$ a partire da considerazioni di tipo geofisico. E' possibile stimare la probabilità di accadimento per lo specifico VEI in funzione del periodo di riposo (Repose Time, RT). Per un $RT = 60$ anni, come nello specifico caso del Vesuvio, si ha una probabilità di VEI 3 pari a circa il 70%, VEI 4 pari al 20% e $VEI \geq 5$ pari a 1%. Per RT compreso tra 60 e 200 anni si hanno in ogni modo differenze trascurabili per i valori di probabilità. Secondo Barberi et al. [10] e Cioni et al. [11], infine, il Massimo Evento Atteso (MEA o MEE, Maximum Expected Event) per il Vesuvio è rappresentato da un VEI 4. Tale valore è stato anche utilizzato ai fini del Piano Vesuvio[12].

In conclusione, l'Event Tree riportato in Fig.1, può essere semplificato degli aspetti geofisici, sia in relazione ai fenomeni precursori che all'intensità del VEI. D'altra parte, accanto ai fenomeni particolarmente catastrofici mostrati in Fig. 1, sono possibili altri fenomeni di minore intensità, sebbene rilevanti ai fini dell'analisi Na-Tech, quali le fulminazioni, onde anomale (solo per le zone costiere, ovviamente), proiezioni balistiche e terremoti di origine vulcanica. La Fig. 3 riassume quindi il nuovo Event Tree progettato per lo specifico caso del rischio Na-Tech. Si fa anche notare che ai fini del presente studio saranno esposti inoltre solo gli scenari relativi al più probabile VEI 3.

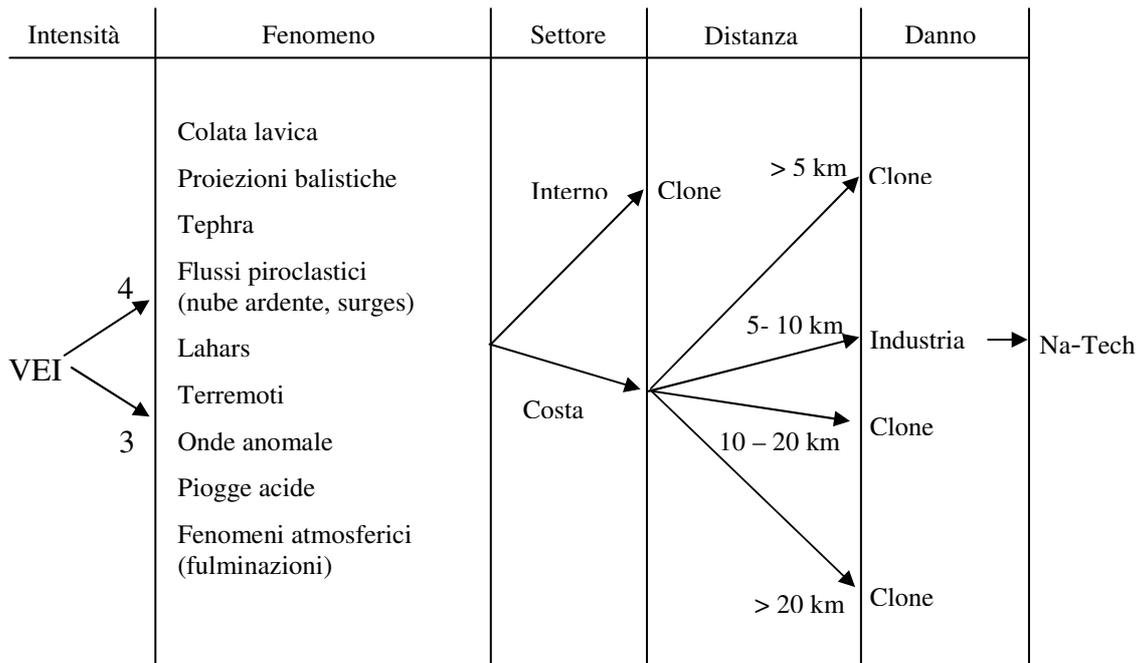


Figura 3: Event Tree per il rischio Na-Tech vulcanico proposto in questo lavoro.

La descrizione del nuovo Event Tree e le specifiche scelte per l'analisi Na-Tech del Vesuvio sono riportate nel seguito, a partire dalla definizione dei fenomeni catastrofici post-eruzione.

2.1. Fenomeni eruttivi

La Pianificazione Nazionale d'Emergenza (Piano Vesuvio) si basa sull'eruzione massima attesa per il Vesuvio nel breve-medio termine, e fa riferimento in particolare all'eruzione vesuviana del 1631, caratterizzata da VEI 4. In sintesi, si prevede una zonazione dell'area vulcanica secondo la tipologia e l'entità del rischio. Nella zona definita "rossa" (circa 200 km², distanza massima attesa dal cratere circa 10 km) vaste aree saranno essere soggette a distruzione pressoché totale a causa dello scorrimento di colate piroclastiche, colate di fango ed alla ricaduta imponente di blocchi, bombe e lapilli. Nella zona definita "gialla" (circa 1100 km², distanza massima attesa dal cratere circa 30 km) si avrà un'importante ricaduta di lapilli e cenere, con carichi superiori ai 200 kg/m² nonché da lahars (inondazioni di fango, si veda nel seguito per le definizioni). Infine, la zona blu (circa 100 km²), inclusa nella zona gialla, oltre alla ricaduta di lapilli e cenere con carichi superiori ai 200 kg/m², sarà anche soggetta a devastazioni connesse allo scorrimento di colate e torrenti fangosi, a inondazioni ed alluvioni anche estese. In ognuna di tali zone sono possibili diversi fenomeni vulcanici post-eruzione, riportati in Fig. 2, a partire dalla *colata lavica*, ossia un flusso continuo di magma, prevalentemente liquido, caratterizzato da una temperatura di poco superiore a quella di fusione (tra 600°C e 1200°C), che dalla zona di fuoriuscita (cratere, frattura) scorre verso valle seguendo percorsi controllati dalla morfologia. Tali flussi di magma interesseranno ovviamente solo la zona rossa, dove peraltro sono possibili fenomeni particolarmente catastrofici anche per la rapidità di accadimento di altri fenomeni quali le nubi ardenti (*flussi piroclastici* propriamente detti). Tali nubi si formano per il collasso gravitazionale della colonna eruttiva, che genera una nube densa costituita da gas ad alta temperatura (600°C – 900°C), blocchi solidi e frammenti di liquido. Accanto ai primi due fenomeni, in zona rossa sono anche previste ondate piroclastiche (*surges*), ossia nubi di forma anulare che si espandono ad alta velocità alla base di colonne eruttive. Tali fenomeni sono particolarmente violenti ed esplosivi e si generano per interazione del magma con acqua meteorica di varia natura, presente nel sottosuolo della regione vulcanica o in superficie. Infine, l'eruzione esplosiva è anche accompagnata anche da *proiezioni balistiche*, ossia dal lancio in aria di frammenti di rocce strappate dalle pareti solide del condotto, che formano per ricaduta coltri incoerenti di ceneri, sabbie, pomice e lapilli.

E' bene considerare, a questo punto, che i danni relativi all'ambiente, alla popolazione e alle proprietà dovuti ai fenomeni vulcanici finora descritti sono così catastrofici che gli effetti delle interazioni Na-Tech possano essere ragionevolmente trascurati, anche in considerazione della distanza di industrie dalla bocca del cratere. A tal riguardo, lo studio della localizzazione delle industrie a rischio rilevante della Provincia di Napoli ha permesso di evidenziare che nessuna di essa è situata a una distanza inferiore a 10 km dalla bocca del vulcano. Le proiezioni balistiche (che raggiungono una distanza massima di circa 5 km dalla sorgente) possono essere quindi escluse dall'analisi Na-Tech.

Un importante fenomeno che può superare i confini della zona rossa e provocare scenari Na-Tech è la formazione di depositi da caduta di ceneri e lapilli. Tale fenomeno rappresenta raramente un pericolo per le popolazioni, nonostante possano coprire aree molto estese, a meno che si lasci libero il loro accumulo sulle strutture. In alcuni casi l'accumulo di ceneri, pomici ed altro materiale incoerente può essere però talmente rapido da ostacolare l'intervento di uomini o mezzi meccanici, creando anche seri problemi di viabilità e di comunicazioni. Come si vedrà più dettagliatamente in seguito, questo fenomeno rappresenta uno dei principali rischi cui sono soggette le industrie situate nell'area vesuviana, data la loro distanza dalla bocca del vulcano e in relazione alle loro caratteristiche costruttive. Accanto alle ceneri, un fenomeno particolarmente distruttivo è il cosiddetto "lahar", ossia un fiume di fango contenente detriti e macigni che nasce dalle pendici del vulcano come flusso piroclastico e che scende a valle raffreddandosi, liberando gas e raccogliendo acqua dai corsi naturali e dalle piogge abbondanti conseguenti alle eruzioni. Il rischio derivante dai lahars può rimanere alto anche per alcuni mesi dopo l'eruzione e interessare vaste aree della zona gialla, come definito dalla zona blu del Piano Vesuvio.

Altri fenomeni possono interessare vaste aree intorno alla bocca del cratere: piogge acide, per le quali non sono da prevedersi danni immediati alle strutture industriali a rischio rilevante, attività sismiche, onde anomale e fulminazioni. I fenomeni sismici sono importanti segnali utili ai fini predittivi e preventivi dei fenomeni eruttivi [13]. Per quanto riguarda i rischi Na-Tech, è possibile valutare gli eventuali effetti conoscendo l'intensità dei fenomeni sismici in termini di Peak Ground Acceleration (PGA) [14]. Le onde anomale sono onde generate da fenomeni sismici o vulcanici che interessano i fondali marini. I possibili danni alle installazioni industriali portuali o costiere sono in questo caso da mettersi in relazione con l'impatto dell'onda sulle apparecchiature o con i sistemi navali di stoccaggio e manipolazione (terminal petroliferi, navi petrolifere e gasiere, bettoline, bracci di carico GPL). L'analisi dei danni di lahars e delle onde anomale non è affrontata in questo documento. Per quanto riguarda le forti fulminazioni si rimanda ai sistemi preventivi e mitigativi già in uso nelle installazioni industriali. Infine, è possibile che il vulcano generi un'onda d'urto di notevole intensità, che si propaga nello spazio. Gli effetti sulle installazioni industriali di onde d'urto possono essere valutati servendosi della metodologia descritta da Salzano et al. ([14] e [15]) riguardante gli effetti domino prodotti dalle esplosioni.

Per quanto riguarda la probabilità di accadimento di tali fenomeni, è di grande utilità la tabella redatta da Blong [16] come riportata da Perrella [17], generata indipendentemente dal VEI. E' da notarsi il limite di 5 km per le proiezioni balistiche e la scarsa probabilità di accadimento delle onde anomale.

Tabella 1. Probabilità di accadimento e tipologia dei fenomeni vulcanici post-eruzione (come definito in Perrella, [17]).

Fenomeno vulcanico	Probabilità di accadimento, %	Distanza massima (km)
Colate laviche	24	100
Proiezioni balistiche	60	5
Depositi da caduta	60	800
Flussi piroclastici	5	100
Lahars	6	300
Attività sismiche	50	50
Deformazioni del suolo	50	
Onde anomale	< 1	600
Fenomeni atmosferici (fulmini, onde d'urto)	60	800
Piogge acide e gas	40	2000

2.2. Settore radiale e distanza interessata dallo specifico fenomeno post-eruzione

Ai fini dello studio Na-Tech l'area può essere suddivisa in soli quattro quadranti da 90° con l'asse principale parallelo alla linea costiera, e considerando equiprobabili le direzioni dei venti. I due quadranti interni, e in particolare quello rivolto verso la zona della conca di Nola, sono particolarmente esposti ai pericoli di lahars, anche per le particolari caratteristiche territoriali (si veda la definizione di zona blu del piano di Protezione Civile). Per ogni fenomeno post-eruzione, occorre definire una distanza cratere-apparecchiatura che permette di escludere eventi Na-Tech. Per quanto riguarda le proiezioni balistiche, queste raramente raggiungono distanze superiori ai 5 Km per cui è possibile scartare l'ipotesi di eventi Na-Tech dovuti a tali proiezioni in zona gialla.

2.3. Fragilità di apparecchiature rispetto a fenomeni vulcanici

L'analisi Na-Tech necessita della definizione della fragilità strutturale delle apparecchiature industriali in riferimento ai fenomeni vulcanici ed alla conseguente perdita di contenuto di sostanze pericolose o di energia dai sistemi danneggiati. Sulla base di quanto discusso in precedenza, trascurando le onde anomale, i fenomeni capaci di interagire con le apparecchiature industriali e capaci di produrre scenari Na-Tech nel caso specifico del Vesuvio sono i depositi di cenere e i fenomeni sismici, anche in considerazione dell'avvenuta evacuazione delle aree a rischio vulcanico e dell'assenza di industrie a rischio nell'area della zona rossa. Si ricorda che altri fenomeni catastrofici quali i lahars saranno affrontati in successive analisi e che per quanto riguarda i terremoti di origine vulcanica si rimanda a Salzano et al. [14] sui rischi Na-Tech sismici.

Per i rischi derivanti dalla caduta di ceneri, occorre definire lo spessore necessario all'ottenimento di un danno strutturale alle apparecchiature. A tal riguardo, Lirer et al. [18] hanno studiato la distribuzione totale dei depositi piroclastici durante gli ultimi 10000 anni nella zona intorno al Vesuvio, affermando che strati di cenere maggiori di 50 cm possono ricadere su aree aventi una distanza dal cratere inferiore a 10 Km. Considerando una densità per la cenere umida pari a circa 1600 Kg/m³ Nunziante [19] ha stimato l'altezza del massimo strato di cenere che può essere tollerato dai tetti dei più comuni edifici civili prima di collassare, in relazione a un carico massimo totale di 7840 N/m². L'autore ha evidenziato in particolare che i solai raggiungono la deformazione plastica con strati di cenere di spessore pari a 48 cm e 86 cm rispettivamente per travi in cemento armato e per travi in acciaio. Nel caso specifico di apparecchiature industriali contenenti sostanze pericolose, è evidente che serbatoi di liquidi pressurizzati sotterrati o tumulati non rappresentano gravi rischi, anche se è sempre preferibile trasportare preventivamente i combustibili in luoghi sicuri (perdite economiche). In conclusione, le analisi di fragilità saranno indirizzate esclusivamente ai serbatoi di stoccaggio atmosferici di liquidi infiammabili, peraltro particolarmente diffusi nel territorio della Provincia di Napoli.

2.3.1. Particolari costruttivi dei serbatoi atmosferici verticali

Ai fini dell'analisi Na-Tech, bisogna innanzitutto definire i particolari costruttivi dei serbatoi atmosferici. In generale, essi possono essere progettati come serbatoi atmosferici operanti alla pressione di esercizio di 3500 N/m² o come serbatoi di bassa pressione operanti alla pressione di 100 kN/m² [20]. Un debole "*shell-to-roof design*" è in genere adottato per serbatoi a tetto fisso, sia conico che a duomo, al fine di dare libero sfogo al vapore nel caso di sovrappressioni all'interno del serbatoio stesso. Per ridurre l'evaporazione del combustibile all'interno dei serbatoi sono stati progettati dei tetti galleggianti (*floating roof*) a diretto contatto con la superficie del liquido contenuto. Il debole "*shell-to-roof*" è naturalmente pericoloso nel caso in cui vi sia un accumulo di cenere.

Tutti i serbatoi sono inseriti all'interno di bacini di contenimento aventi volume equivalente a quello del liquido contenuto. Ovviamente, nel caso di ricaduta di cenere, il bacino si riempirebbe della stessa e quindi il liquido uscente dal serbatoio danneggiato si potrebbe riversare al di fuori della zona di confinamento, con conseguenti incendi.

2.3.2. Analisi della fragilità di serbatoi atmosferici

La metodologia esposta nel seguito fa riferimento al massimo "carico di neve" ammissibile sui tetti dei serbatoi secondo quanto illustrato in BS 2654 [21] e API 650 [22], anche tenendo in considerazione che la

cenere e i lapilli sono freddi e che la cenere umida ha diversa densità dalla neve (circa 1600 Kg/m^3). Secondo BS 2654 e API 650, tutti i serbatoi, sia a tetto fisso che galleggiante, devono essere progettati per supportare un carico di neve minimo di 1200 N/m^2 , equivalenti ad un peso di neve pari 122 kg/m^2 . Ricalcolando tale valore alla densità della cenere, si ottiene uno spessore minimo pari a circa 7.6 cm di altezza.

Analogamente alle due linee guida riportate sopra, l'AWWA D100-96[23] (American Water Works Association) riporta i dati di progetto per serbatoi d'acqua, che possono essere presi ragionevolmente come riferimento anche per i serbatoi di liquidi infiammabili. Secondo tale linea guida, i tetti inclinati di un angolo minore di 30° possono sopportare un carico di neve di 1205 N/m^2 (pari quindi a quanto definito in precedenza) mentre tetti maggiormente inclinati possono sopportare un carico massimo di 720 N/m^2 e quindi uno strato di cenere inferiore a quello calcolato mediante le indicazioni dell'API 650[22]. Ovviamente, per l'accadimento di scenari incidentali rilevanti occorrono danni strutturali intensi, dovuti quindi a carichi maggiori di quelli riportati come valori minimi progettuali. Per i serbatoi atmosferici con pressione di esercizio inferiore a 3500 N/m^2 è possibile utilizzare tale valore come soglia per danni strutturali più consistenti. Il corrispondente strato di cenere è calcolato con spessore pari a 22 cm . Per i serbatoi atmosferici a bassa pressione (operanti a 100 kN/m^2) i corrispondenti valori di cenere dell'ordine dei metri, di fatto non ottenibili con VEI 3 o VEI 4. Infine, un valore limite di pressione ottenuto ai fini del danno strutturale di serbatoi di stoccaggio atmosferici investiti da onde di pressione con picco incidente (statico) pari a 7000 N/m^2 può essere utilizzato come riferimento [14]. Il corrispondente strato di cenere risulta pari a 45 cm .

2.4. Ricomposizione del rischio

Ai fini della definizione dell'Event Tree, è necessario definire la probabilità che in seguito all'eruzione si formi uno strato di cenere con uno spessore pari ai valori di soglia definiti in precedenza. A tal scopo sono stati utilizzati i dati generali di Newhall e Hoblitt (2002)[5] sulla distribuzione di probabilità di superamento dello spessore dello stato di cenere in funzione della distanza dal cratere vulcanico, per VEI 3 (Fig. 4; Tabella 2).

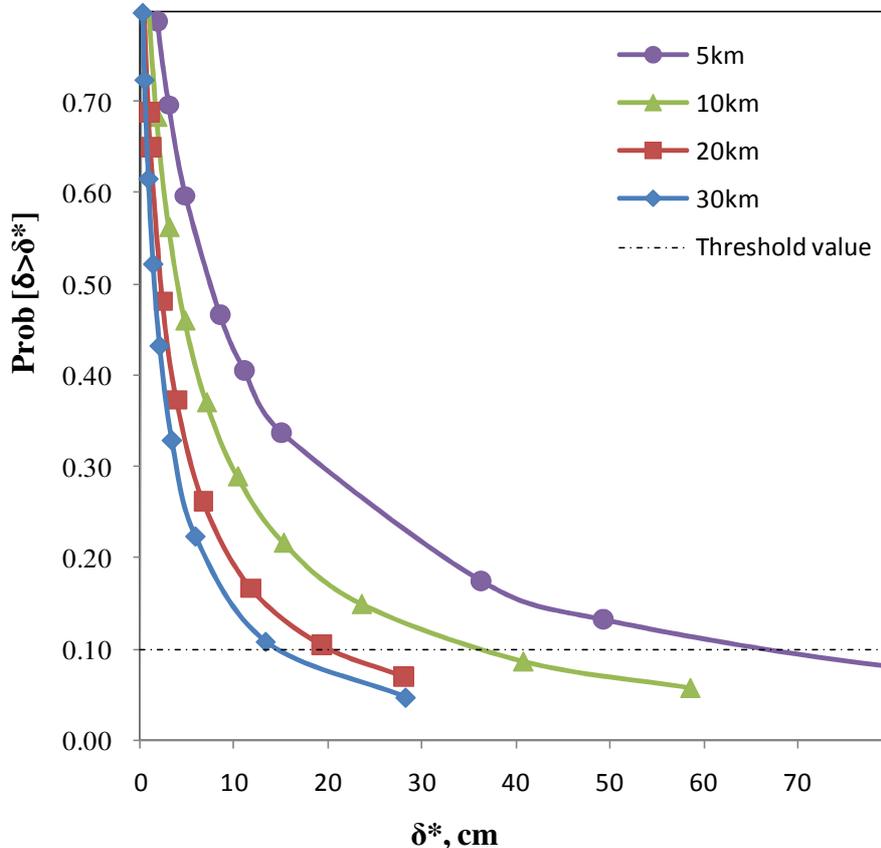


Figura 4: Probabilità di superamento dello spessore dello strato di cenere δ rispetto al valore riportato sull'ascissa (δ^*), in funzione della distanza dal cratere per eruzioni con VEI 3.

Tabella 2: Parametri della funzione di distribuzione log-normale e strato di cenere corrispondente al 10% di probabilità di superamento dello spessore δ in funzione della distanza dal cratere D. VEI 3.

Distanza dal cratere D [km]	Spessore dello strato di cenere δ [cm]		
	μ	β	10% exceedance
5	2.01	1.70	65.93
10	1.40	1.70	35.82
15	1.20	1.70	29.33
20	0.84	1.70	20.46
30	0.50	1.70	8.83

Partendo da questi risultati possiamo assumere, in prima approssimazione, che il 10% di probabilità di superamento per lo spessore dello strato di cenere sia il riferimento per l'analisi strutturale, ai fini della progettazione e per la messa in opera di misure di emergenza preventive e mitigative. I dati di spessore corrispondenti sono indicati in Tabella 2. La funzione semplificata che fornisce lo spessore di cenere in funzione della distanza per VEI 3 è in conclusione pari a:

$$\delta_{VEI3} = \frac{380}{D} \quad D[\text{km}]; \delta[\text{cm}] \quad (2)$$

L'analisi deve essere ripetuta anche per il caso di eruzione caratterizzata da VEI 4. E' bene notare però che in questo caso l'intera zona gialla sarà interessata da strati di cenere con spessore maggiore di 45 cm.

Quando i tetti dei serbatoi, siano essi fissi o flottanti, sono caricati da stati di cenere vulcanica di elevato spessore, le perdite economiche non rappresentano l'unico inconveniente che può presentarsi. Infatti, come citato in precedenza, le fulminazioni e più in generale l'elettricità statica o qualsiasi forma di ignizione, possono dar luogo a scenari incidentali. Infatti, i vapori infiammabili fuoriusciti dal sistema dopo il danneggiamento della struttura possono essere igniti, dando luogo a tank fires o pool fires, mentre possono considerarsi trascurabili i fenomeni della Vapour Cloud Explosion per la relativa bassa probabilità di occorrenza di "late ignition" [24]. Ovviamente, a seguito di un tank fire è probabile che vi siano degli effetti domino che determinano l'incendio dei serbatoi adiacenti e produrre danni estesi anche alle aree esterne al confine dell'installazione industriale. Tale evenienza può influenzare negativamente i piani di emergenza e prevenzione, data la necessità di disporre mezzi per fronteggiare il pericolo industriale.

Considerando quindi che la probabilità di avere un'ignizione del vapore infiammabile è del 3%, come dato da Cox et al. [25], e utilizzando i dati di probabilità di occorrenza del VEI 3 e i dati riportati nella Tabella 1 e Fig. 2, è possibile calcolare la probabilità annua di avere uno scenario incidentale (tank fire) per ogni distanza dalla bocca del cratere, ipotizzando i valori di soglia per il danno economico (7.6 cm), e i due valori di soglia per il danno esteso al serbatoio (22 cm e 45 cm). I risultati sono riportati in Fig.5.

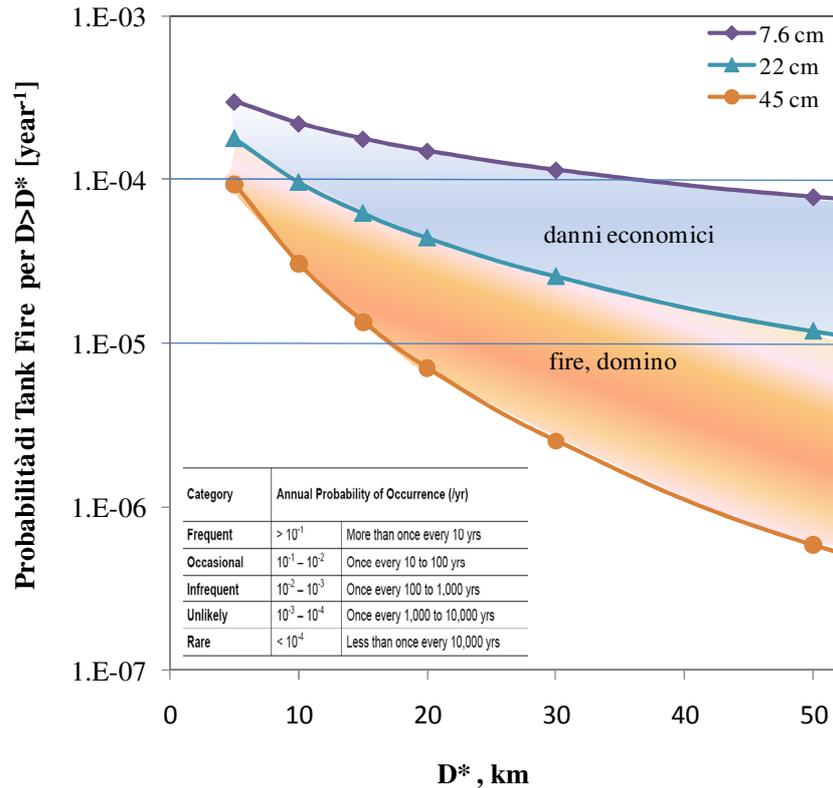


Figura 5. Probabilità annua di avere danni economici o tank fire a distanza D dal cratere maggiore di D*.

Se una probabilità di accadimento inferiore a 10⁻⁵ eventi/ anno è tale da considerare trascurabile la possibilità che l'evento si verifichi (si veda la tabella inserita in Fig. 5 [26]), allora si evince che sono possibili eventi Na-Tech (tank e pool fire, effetti domino) solo a distanze inferiori a circa 20 km dal cratere, avendo considerato uno strato di cenere di 45 cm e inferiori a 50 km avendo considerato uno strato di cenere pari a 22 cm, valore limite per la fuoriuscita di sostanze infiammabili.

CONCLUSIONI

Per i depositi di cenere, è stata sviluppata una metodologia per VEI3 che consente di valutare la pericolosità delle industrie a rischio rilevante nell'area vesuviana. L'analisi dei rischi industriali dovuti agli altri fenomeni distruttivi connessi all'eruzione vulcanica (come i lahars) sarà condotta in seguito, così come la valutazione dei rischi connessi alla ricaduta di cenere per VEI 4.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano il Dipartimento della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri per il supporto economico e tecnico.

RIFERIMENTI

- [1] Cruz, A.M., Steinberg, L.J., Vetere-Arellano, A.L., Nordvik, J.P., Pisano, F., State of the Art in Natech (Natural Hazard Triggering Technological Disasters) in Europe. DG Joint Research Centre, European Commission and United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Ispra, Italy (2004).
- [2] Lindell, M.K. and Perry, R.W., Identifying and managing conjoint threats: Earthquake induced hazardous materials releases in the US, Journal of Hazardous Materials, 50, pp. 31-46 (1996).
- [3] Cruz, A.M., Natech Disasters: A Review of Practices, Lessons Learned and Future Research Needs. 5th Annual IIASA-DPRI Forum, 14-18 September, Beijing (2005).

- [4] Baxter, P.J., Bernstein, R.S., Falk, H., French, J., Ing, R., Medical aspects of volcanic disasters: an outline of the hazards and emergency response measures, *Disasters*, 6, pp. 268–276 (1982).
- [5] Newhall, C.G., Hoblitt, R.P., Constructing event trees for volcanic crises, *Bulletin of Volcanology*, 64, pp. 3-20 (2002).
- [6] Marzocchi, W., Sandri, L., Gasparini, P., Newhall, C., Boschi, E., Quantifying probabilities of volcanic events: The example of volcanic hazard at Mount Vesuvius, *Journal of Geophysical Research*, 109, pp. B11201.1-18 (2004).
- [7] Newhall, C.G., Self S., The volcanic explosivity index (VEI): An estimate of the explosive magnitude for historical eruptions, *Journal of Geophysical Research*, 87, pp. 1231–1238 (1982).
- [8] Simkin, T., Siebert, L., *Volcanoes of the World A regional directory, gazetteer, and chronology of Volcanism during the last 10,000 years*: Tuscon. Geoscience Press. Inc. (1994).
- [9] Scandone, R., Arganese, G., Galdi, F., The evaluation of volcanic risk in the Vesuvian area, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 58, pp. 263–271 (1993).
- [10] Barberi, F., Principe, C., Rosi, M., Santacroce R., Scenario eruttivo del Vesuvio Evento massimo atteso nel caso di ripresa dell'attività eruttiva a medio-breve termine, *Rapporto del GNV alla Protezione Civile* (1995).
- [11] Cioni, R., Longo, A., Macedonio, G., Santacroce, R., Sbrana, A., Sulpizio, R., Andronico, D., Assessing pyroclastic fall hazard through field data and numerical simulations: Example from Vesuvius, *Journal of Geophysical Research*, 108, pp. ECV2.1-ECV2.11 (2003).
- [12] DPC, Pianificazione Nazionale d'emergenza dell'area vesuviana: Proposta di aggiornamento. Dipartimento della Protezione Civile, Prefettura di Napoli (2001).
- [13] Festa, G., Zollo, A., Manfredi, G., Polese, M., Cosenza, E., Simulation of the Earthquake Ground Motion and Effects on Engineering Structures During the Pre-eruptive Phase of an Active Volcano, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94, pp. 2213-2221 (2004).
- [14] Salzano, E. and Cozzani, V., Quantitative Risk Assessment of Industrial Processes: The Path Towards a Global Approach, in: *Focus on Hazardous Materials Research*. Nova Science Publisher. Editor: Leonora G. Mason, New York (2007).
- [15] Salzano, E., Cozzani V., The Analysis of Domino Accidents Triggered by Vapour Cloud Explosions, *Reliability Engineering and System Safety*, 90, 2005, pp. 271-284.
- [16] Blong, R.J., *Volcanic hazards: A sourcebook on the effects of eruptions*, Academic Press, Orlando, Florida (1984).
- [17] Perrella, G., *Personale di alta qualificazione nell'analisi, monitoraggio e gestione del rischio ambientale*. Centro di Competenza AMRA, Regione Campania (2005).
- [18] Lirer, L., Petrosino, P., Alberico, I., Postiglione, I., Long-term volcanic hazard forecasts based on Somma-Vesuvio past eruptive activity, *Bull. Volcanol.*, 63, pp. 45-60 (2001).
- [19] Nunziante, L., *Relazione sul carico di cenere vulcanica necessario per il crollo di coperture nel napoletano*, Osservatorio Vesuviano (1997).
- [20] API 620, *Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks*, 11th Edition, American Petroleum Institute (2008).
- [21] BS 2654, *Specification for manufacture of vertical steel welded storage tanks with butt-welded shells for the petroleum industry*, British Standard Institution, London (1984).
- [22] API 650, *Welded Steel Tanks for Oil Storage*, 8th Edition, American Petroleum Institute (1988).
- [23] AWWA D100-96, *Welded Steel Tanks for Water Storage*, American Water Works Association, Denver, Colorado (1996).
- [24] CCPS, Center for Chemical Process Safety, *Guidelines for evaluating the consequences of Vapour Cloud Explosion, flash fire and BLEVE*, American Institute of Chemical Engineering, New York (1996).
- [25] Cox, A.W., Lees, F.P., Ang, M.L., *Classification of hazardous locations*. Institution of Chemical Engineering, Rugby (1990).
- [26] HSE, Health and Safety Executive, UK., *COMAH Guidance for the Surface Engineering Sector* (2005).