

CRITERI E METODOLOGIE IMPIEGATE PER LO STUDIO	2
FREQUENZE INCIDENTALI DA RISCHI DIRETTI	2
FREQUENZE INCIDENTALI DA EFFETTI DOMINO	3
Individuazione delle concatenazioni.....	3
SORGENTE ARIR	3
SORGENTE AIAP.....	3
SORGENTE TRASPORTI.....	3
SORGENTE INCIDENTI SUL LAVORO.....	3
SORGENTE IDROGEOLOGICO	3
SORGENTE CERAUNICO	3
SORGENTE SISMICO	3
SORGENTE INCENDI BOSCHIVI	3
SORGENTE INCIDENTI STRADALI	3
PROCEDURA DI CALCOLO DEL RISCHIO INTEGRATO.....	3
Algoritmo di calcolo del rischio integrato.....	3
Definizione del fattore di gravita' (g).....	3
Definizione del fattore di conversione (c).....	3
METODO PER IL CALCOLO DEGLI EFFETTI DOMINO DA INCENDIO	3
METODO PER IL CALCOLO DEGLI EFFETTI DOMINO GENERATI DA ONDA DI PRESSIONE CONSEQUENTE AD ESPLOSIONE.....	3
METODO PER IL CALCOLO DEGLI EFFETTI DOMINO GENERATI DELLA PRODUZIONE DI FRAMMENTI CONSEQUENTE AD ESPLOSIONE	3
METODICA DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE.....	3
Tipologie di interventi di mitigazione	3
Identificazione delle tipologie di interventi mitigativi.....	3
Assegnazione degli interventi mitigativi	3

CRITERI E METODOLOGIE IMPIEGATE PER LO STUDIO

Nel presente capitolo si individuano e descrivono:

- le frequenze incidentali da rischi diretti
- le frequenze con cui si manifestano gli effetti domino
- la metodologia impiegata per l'integrazione dei rischi
- la metodologia per l'analisi di dettaglio degli effetti domino da incendio
- la metodologia per l'analisi di dettaglio degli effetti domino da onda di pressione conseguente ad esplosione
- la metodologia per l'analisi di dettaglio degli effetti domino da proiezione di frammenti conseguente ad esplosione

FREQUENZE INCIDENTALI DA RISCHI DIRETTI

AIAP

Con tale sigla ci si riferisce a tutte le aziende non ricadenti nel campo di applicazione della normativa Seveso, benché il database AIAP comprenda anche quelle aziende ricadenti nel campo di applicazione della normativa Seveso .

Sulla base di alcune considerazioni svolte sia dal gruppo di lavoro sia dai rappresentanti della Regione e del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) sulla metodica utilizzata nel progetto PRIM Regionale si è deciso di:

- oggettivare il differente profilo di rischio delle varie attività
- suddividere del rischio connesso con le attività tra:
 - Interno: afferente pertanto gli occupati nella attività
 - Esterno: afferente le altre realtà poste nei dintorni geografici del soggetto
- introdurre di un fattore di "pesatura" delle dimensioni delle aziende

Il metodo sviluppato, specificamente per il progetto PIA Nord Milano, permette il raggiungimento degli obiettivi proposti.

La metodologia si basa sull'impiego del database AIAP, lo stesso utilizzato nel progetto PRIM. Tale database identifica sul territorio della provincia Nord di Milano circa 90.000 aziende ricadenti in 1674 diverse tipologie ATECO (cfr. allegato 2).

E' stato pertanto necessario definire un metodo che potesse essere applicato su larga scala ma che al tempo stesso fosse sufficientemente agile ed implementabile in tempi ragionevoli.

Di seguito sono riportati i passaggi per l'applicazione del metodo individuato.

Frequenza di infortunio (concorre alla determinazione del rischio interno)

Per definire tale frequenza si è provveduto ad acquisire i dati riportati nella banca dati INAIL mediati sul triennio 2003-2005 al fine di garantire una migliore affidabilità statistica.

I dati raccolti, codificati secondo l'ATECO 2002, sono stati riportati su due scenari:

- Dati su scala nazionale
- Dati su scala provinciale milanese

La scelta di quale scenario utilizzare prevede i seguenti aspetti:

- Scala nazionale

Migliore campione statistico, esaustività per tutte le categorie ATECO, rappresentatività minore delle caratteristiche precipue delle aziende milanesi

- Scale provinciale

Campione statistico minore, non esaustività per tutte le categorie ATECO (ad esempio pesca), ottima rappresentatività delle caratteristiche precipue delle aziende milanesi

Per la differenza tra i due approcci può essere utile fare riferimento alla tabella sintetica riportata in allegato 3.

Considerazione varie fanno preferire i dati su scala provinciale riportati in allegato 4.

Nota la probabilità di infortunio per ogni categoria ATECO si è calcolata la relativa frequenza individuale (λ) essendo l'intervallo temporale di riferimento pari a un anno.

Successivamente si è acquisito il numero di dipendenti di ogni azienda AIAP presente e tramite una semplice operazione matematica si è giunti alla definizione di una frequenza attesa espressa in infortuni/anno per ogni azienda AIAP.

Pertanto il metodo permette di definire per ogni azienda gli infortuni attesi considerando sia la tipologia di attività che l'effettiva dimensione della stessa. Si ritiene pertanto di avere traguardo gli obiettivi.

Frequenza di intervento dei Vigili del Fuoco (concorre alla determinazione del rischio esterno)

Per definire tale frequenza si è provveduto ad acquisire le informazioni riportanti il numero di interventi di emergenza effettuati su tutto il territorio nazionale dalla banca dati nazionale dei Vigili del Fuoco suddivisi per tipologia di aziende.

Nello studio svolto si sono analizzati gli interventi che hanno coinvolto combustibili solidi, liquidi e gassosi, altri infiammabili, sostanze chimiche e sostanze radioattive.

Per costruire un campione statistico significativo si sono mediat i dati relativi al periodo 2000-2006.

La classificazione delle attività produttive impiegata dai VVF è diversa dalla codifica ATECO; per le classi per cui è stato possibile si è individuata una corrispondenza con le attività ATECO, mentre le restanti sono state raggruppate in un'unica macro-categoria.

Poiché i dati forniti dal database riportano solo il numero di interventi eseguiti, per poter ottenere un dato in termini di frequenza attesa per singola attività, avente come unità di misura interventi/anno è necessario conoscere il numero di aziende di ogni tipologia presenti sul territorio italiano. Tale dato è stato acquisito da Annuario statistico Italiano edizione 2007 (che riporta i dati del censimento del 2001).

Questi passaggi hanno permesso di definire la frequenza ricercata nel modo seguente :
numero di interventi VVF/(anno x azienda di classe ATECO definita).

Il prospetto riassuntivo delle frequenze di intervento dei Vigili del Fuoco in funzione del tipologia ATECO è riportato in allegato 5. Naturalmente a quelle categorie ATECO riconducibili alla macro-categoria prima menzionata è stata assegnata la stessa frequenza.

Aziende RIR

Frequenza di infortunio (concorre alla determinazione del rischio interno)

La frequenza di infortuni attesi per l'azienda in esame è data dal prodotto della frequenza individuale di infortunio (λ), funzione della categoria Ateco di appartenenza, per il numero di lavoratori occupati nella stessa azienda.

La frequenza individuale di infortunio (λ) in funzione della categoria Ateco è stata calcolata a partire dalle banche dati INAIL.

Frequenza di intervento dei Vigili del Fuoco (concorre alla determinazione del rischio esterno)

Indipendentemente dalla categoria Ateco di appartenenza dell'azienda RIR in esame è stata assegnata alle aree di impatto di tale azienda una frequenza pari a 3.64E-02 interventi VVF/anno. Questa corrisponde alla massima frequenza di intervento dei Vigili del Fuoco ed è propria della categoria DF - Fabbricazione di coke, raffinerie di petrolio.

Rischio trasporto ADR

Le frequenze da inserire nell'algoritmo sono due, rispettivamente per la classe ADR2 e 3.

Il calcolo di tali frequenze per il trasporto ferroviario è stato eseguito nel seguente modo:

$$f_{cl2} = l_{\text{tratto}}(\text{km}) * 10^{-8} \frac{\text{occasioni}}{\text{anno} * \text{km} * \text{carro}} * \text{n. carri ADR2} * 0,03 \quad \text{per ADR2}$$

$$f_{cl3} = l_{\text{tratto}}(\text{km}) * 10^{-8} \frac{\text{occasioni}}{\text{anno} * \text{km} * \text{carro}} * \text{n. carri ADR3} * 0,075 * 2,5 * 10^{-2} \quad \text{per ADR3}$$

0,03 è la probabilità di rilascio da foro di 4" di diametro nel caso di ferro cisterne in pressione;

0,075 è la probabilità di rilascio da foro di 4" di diametro nel caso di ferro cisterne atmosferiche; $2,5 * 10^{-2}$ è la probabilità di innesco di una nube infiammabile.

Per il trasporto stradale si sono invece utilizzate le seguenti frequenze desunte direttamente dal Transit :

$$f_{cl2}=l_{\text{tratto}}(\text{km}) * 7.18 * 10^{-6} \frac{\text{occasioni}}{\text{anno} * \text{km}} \quad \text{per ADR2}$$

$$f_{cl3}=l_{\text{tratto}}(\text{km}) * 2.52 * 10^{-5} \frac{\text{occasioni}}{\text{anno} * \text{km}} \quad \text{per ADR3}$$

in questo si è considerato un rilascio da foro di 2" di diametro trattandosi della casistica più frequente.

l_{tratto} rappresenta la lunghezza del tratto di linea ferroviaria o di strada che interseca la maglia in esame.

Rischio idrogeologico

Dal Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei fiumi Ticino ed Adda e dallo studio idraulico relativo al nodo di Milano dei fiumi Olona, Seveso e Lambro si sono desunte le zone allagabili per evento di piena con tempo di ritorno TR rispettivamente 10 (zona A), 100 o 200 (zona B) e 500 anni (zona C) all'interno dell'area oggetto di studio.

A ciascuna maglia dell'area oggetto di studio, ricadente nelle zone sopra menzionate, il PIA associa un tempo di ritorno T_r dell' evento di piena, l'inverso di tale valore rappresenta la frequenza di accadimento. Moltiplicando tale frequenza per la densità abitativa della maglia in esame si è ottenuto il valore cercato della frequenza incidentale.

Rischio incendi boschivi

A partire dalle serie storiche degli incendi boschivi (database CFS) si sono calcolate le frequenze di accadimento . All'interno di ogni comune si sono poi individuate le aree boschive (A) e le aree antropizzate (B) i cui confini esterni distano 50 metri dai margini di A.

Infine si sono determinate le frequenze incidentali nel modo seguente:

$$f(A)=f. \text{ accadimento} * 20 \text{ addetti/km}^2 * \text{ area della maglia ricadente in A}$$

$$f(B)=f. \text{ accadimento} * \text{ densità abitativa equivalente in B} * \text{ area della maglia ricadente in B}$$

Rischio sismico

Si è fatto riferimento ai dati di pericolosità sismica pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it> e approvati dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, in particolare si è considerato lo scenario in termini di accelerazioni sismiche di picco corrispondente al tempo di ritorno T_r uguale a 475 anni, in altre parole quello a cui corrisponde una probabilità di eccedenza del valore in 50 anni del 10%.

Moltiplicando la frequenza (uguale all'inverso del tempo di ritorno) per l'area della maglia d'interesse e per la densità abitativa equivalente della stessa si è ottenuto il valore ricercato.

Rischio meteo-climatico

Nell'ambito della procedura di integrazione dei rischi, la componente meteo-climatica è stata presa in considerazione unicamente in termini di pericolo da fulminazioni. Dati relativi ad altre categorie di eventi meteorologici estremi, potenzialmente interessanti per gli obiettivi dello studio (precipitazioni di particolare intensità, tempeste di vento, grandine, etc.), non sono infatti disponibili sul territorio regionale con il livello di accuratezza geografica necessaria per la presente analisi.

In particolare si è fatto riferimento alla banca dati SIRF di CESI S.r.l. riportante il numero di fulmini a terra/(anno x 4 km²); tali informazioni sono disponibili per tutto il territorio italiano.

Incidentalità stradale

Le frequenze incidentali espresse in morti/(anno*km) sono state definite a partire dalle informazioni contenute nella banca dati della Polizia Stradale. Alla frequenza degli infortuni mortali è stata sommata la frequenza dei ferimenti moltiplicata per 0,13.

FREQUENZE INCIDENTALI DA EFFETTI DOMINO

Le fonti di rischio sotto-studio nel presente documento sono le seguenti:

1. Rischio industriale da aziende RIR
2. Rischi industriale da aziende AIAP principalmente afferente l'incendio e/o l'esplosione
3. Rischio industriale da trasporto di sostanze pericolose
4. Rischio da incidenti sul lavoro
5. Rischio idrogeologico
6. Rischio meteo-climatico (ceranuco)
7. Rischio sismico
8. Rischio da incendi boschivi
9. Rischio da incidentalità stradale

La redazione del Piano Integrato d'Area è articolato su due livelli. Nel seguito per alcuni effetti domino si individueranno metodi diversi per i due livelli .

Individuazione delle concatenazioni

Di seguito si riporta tabella descrittiva le potenziali concatenazioni incidentali, ognuna sarà successivamente studiata in uno specifico paragrafo.

Ricettore ⇒									
Sorgente ⇓	ARIR	AIAP	Trasporto	Incidenti lavoro	Idrogeologico	Ceraunico	Sismico	Incendi boschivi	Incidenti stradali
ARIR	X	X	X	X				X	X
AIAP	X	X	X	X				X	X
Trasporto	X	X	X					X	X
Incidenti lavoro	X	X							
Idro-geologico	X	X	X						X
Ceraunico	X	X	X					X	X
Sismico	X	X	X						X
Incendi boschivi	X	X	X					X	X
Incidenti stradali			X						X

Si sono pertanto individuate 39 diverse possibili concatenazioni domino.

SORGENTE ARIR

Ricettore ARIR

Per questa tipologia di concatenazioni TEC-TEC si sono approntati due differenti metodi in funzione del livello di analisi

Analisi di primo livello

Si procederà a rappresentare una area potenzialmente coinvolta pari a:

- 500 m. per sostanze esplosive, in accordo con Regio Decreto n. 635 del 6 Maggio 1940 “Approvazione del regolamento per l’esecuzione delle leggi di pubblica sicurezza”
- 250 m. per sostanze gassose infiammabili (tipicamente GPL) in accordo con D.M. 15 maggio 1996
- 150 m. per sostanze liquide infiammabili (tipicamente idrocarburi) in accordo con D.M. 20 ottobre 1998

Se all’interno dell’area sono presenti altre aziende si devono incrementare le frequenze relative di queste ultime del 10% (cfr. AIAP-AIAP).

Se l’azienda sorgente rientra in più categorie si seleziona l’area maggiore fra esse.

Se il ricettore viene interessato da n aziende sorgenti, l’incremento sarà pari a $n \cdot 0.1 \cdot f_{\text{sorg}}$

Analisi di secondo livello

Si vedano i seguenti metodi di dettaglio

- Calcolo degli effetti domino da incendio
- Calcolo degli effetti domino da esplosione
- Calcolo degli effetti domino da produzione di frammenti

riportati in separata sede

Ricettore AIAP

Come ricettore ARIR.

Ricettore Trasporto di sostanze pericolose

Il trasporto di sostanze pericolose può avvenire mediante:

- **Autobotti/Autoarticolati**
In questo caso si ipotizza che il mezzo transiti all'interno dell'area coinvolta dalle conseguenze incidentali
- **Ferrocisterne/Carri ferroviari**
In questo caso si ipotizza che il mezzo transiti all'interno dell'area coinvolta dalle conseguenze incidentali
- **Tubazione**
Questo caso non verrà approfondito perché generalmente le tubazioni sono interrato e quindi naturalmente schermate dalle conseguenze incidentali
- **Canali navigabili**
Questo caso non verrà approfondito perché non sono presenti nell'area sotto studio

Limitando il nostro studio al trasporto su gomma e ferro bisogna valutare i seguenti aspetti:

- Il tempo di vista (il tempo in cui il vettore risulta potenzialmente all'interno dell'area delle conseguenze incidentali) risulta estremamente ridotto. Per un trasporto di soli 200 km, ipotizzando uno scenario estremamente gravoso (100m. all'esterno del perimetro aziendale con le conseguenze della prima zona) la frazione del viaggio in cui il vettore risulta all'interno della possibile "zona domino" risulterebbe non superiore ad 0.0005
- Il tempo di esposizione alle conseguenze da incendio risulterebbe, pur ipotizzando velocità estremamente basse (30 km/h), pari a non più di 10-20 secondi. Per esposizioni così brevi i valori minimi di irraggiamento termico necessari sarebbe estremamente elevati e non raggiungibili per una distanza di circa 100 m.

- Per quanto riguarda l'esposizione ad onde di pressione bisogna considerare che difficilmente tra l'epicentro dell'evento incidentale e il vettore non siano presenti ostacoli fissi quali recinzioni aziendali, edifici dell'azienda e di altri, etc.

Alla luce di quanto detto e vista la natura dei rischi connessi non si valuteranno nella prima fase ma solo nella seconda.

Ricettore Lavoratore

In questo caso si suppone che un evento incidentale all'interno dell'azienda possa dar luogo ad un infortunio sul lavoro. Tale concatenazione appare estremamente probabile nel caso di manifestazione dell'evento iniziatore. Tali eventi sono già considerati nelle statistiche INAIL prese a riferimento per stimare le frequenze di infortunio sul lavoro.

Ricettore Bosco

In questo caso un eventuale incendio presso la ditta ARIR potrebbe innescare un incendio dell'area boschiva limitrofa.

Analisi di primo livello

Si procederà a rappresentare un' area potenzialmente coinvolta pari a:

- 500 m. per sostanze esplosive, in accordo con Regio Decreto n. 635 del 6 Maggio 1940 "Approvazione del regolamento per l'esecuzione delle leggi di pubblica sicurezza"
- 250 m. per sostanze gassose infiammabili (tipicamente GPL) in accordo con D.M. 15 maggio 1996
- 150 m. per sostanze liquide infiammabili (tipicamente idrocarburi) in accordo con D.M. 20 ottobre 1998

Se l'area boschiva ricade all'interno di tali aree si incrementerà la frequenza assunta dal rischio incendio boschivo del 10% della frequenza di incendio assegnata all'azienda ARIR; naturalmente si prenderà in considerazione l'area di impatto più gravosa dell'azienda .

Analisi di secondo livello

Nella analisi di secondo livello si procederà alla individuazione della tipologia di incendio desunta dal Rapporto di Sicurezza valutando la quantità di calore trasferito e l'eventuale produzione di particelle incandescenti che possano dar luogo ad un incendio dell'area boschiva. In tale fase si approfondiranno inoltre le caratteristiche precipue dell'area boschiva. Al termine, in caso di verifica positiva, si assegnerà al rischio di incendio boschivo la frequenza derivante da tale calcolo.

Ricettore Strade

In questo caso si può ipotizzare che in caso di incidente presso una azienda RIR, le conseguenze incidentali dirette (nube tossica, irraggiamento termico, onda di pressione, produzione di frammenti) o indirette (fumo, semplice distrazione dell'autista) possano generare un incidente stradale. Sebbene la concatenazione sia plausibile, da quanto individuato dallo studio del rischio di incidenti stradali, si può evincere che l'incremento del rischio sia trascurabile.

SORGENTE AIAP

Ricettore ARIR

In questo caso un incidente che si svolge presso una azienda AIAP può generare un ulteriore incidente in una azienda ARIR. Tale concatenazione è sicuramente possibile e la frequenza di accadimento associata può essere significativa.

Per questa tipologia di concatenazioni TEC-TEC si sono approntati due differenti metodi in funzione del livello di analisi.

Analisi di primo livello

In prima istanza, durante l'analisi di primo livello, si può pensare di non inserire tale concatenazione poiché determinerebbe un incremento della frequenza incidentale delle aziende RIR dell'ordine del 0.1% – 10%. Il caso inverso, effetto domino di azienda RIR su azienda AIAP, è stato invece considerato perché provoca un incremento della frequenza incidentale delle aziende AIAP compreso fra il 10% e il 1000%.

Analisi di secondo livello

Si procederà, in base alla attività e alle sostanze ragionevolmente detenute dall'azienda, a verificare la frequenza di accadimento associata e le conseguenze incidentali derivanti, valutando con gli stessi criteri di cui ai metodi domino ARIR-ARIR le concatenazioni incidentali.

Ricettore AIAP

In questo caso un incidente che si svolge presso una azienda AIAP può generare un ulteriore incidente in un'altra azienda AIAP. Tale concatenazione è sicuramente possibile e la frequenza di accadimento associata può essere significativa.

Per questa tipologia di concatenazioni TEC-TEC si sono approntati due differenti metodi in funzione del livello di analisi.

Analisi di primo livello

Stante il numero delle aziende AIAP (circa 90000) non è possibile svolgere uno studio specifico di ogni possibile concatenazione. Si propone, pertanto, di procedere con un metodo mutuato dalla analisi delle permutazioni. Si definisce w_a come la frequenza che un evento generato in A dia luogo ad un incidente in A, pertanto tale termine non tiene conto della possibile presenza di una causa esterna ad A in grado di generare un incidente in A; analogamente si definisce w_b . Ipotizzando che la probabilità che se avviene A si manifesti anche B (effetto domino) sia pari a P_{ab} , la frequenza di accadimento di A in qualsiasi modo (diretto + domino) w_{a+dom} sarà pari a $w_{a+dom}=w_a+P_{ab}*w_b$ e quella che avvenga B in qualsiasi modo sarà pari a $w_{b+dom}=w_b+P_{ab}*w_a$. Si ricorda che i valori numerici dei w sono già stati definiti mediante la banca dati degli interventi del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco e sono pertanto da ritenersi noti. Complessivamente, dunque, la frequenza con cui si manifesteranno A o B sarà $w_a + w_b + P_{ab}*(w_a + w_b)$ che può essere riformulato come $(w_a + w_b)*(1+ P_{ab})$. Ricordando come viene valutato il rischio diretto da azienda AIAP, l'incremento di frequenza sulla cella sarebbe uguale a $P_{ab}*(w_a + w_b)$. L'utilizzo di tale valore sarebbe vero solo se la collocazione spaziale fosse tale da garantire sempre la possibilità di insorgenza di effetto domino. Considerando una estensione delle conseguenze di circa 50 metri e detto L il lato della nostra cella, ogni cella potrebbe contenere fino ad un massimo di $(L/50)^2$ aziende AIAP senza sovrapposizione delle aree di danno, ipotizzando, in maniera più realistica, che il massimo grado reale di affollamento senza effetti domino sia $(L/50)^2/4$ si può immaginare che, nel caso di $L=500$ m., se le aziende AIAP presenti siano più di 25 almeno un effetto domino si può ritenere credibile. L'ultimo passaggio consisterebbe nel definire P_{ab} , tale definizione è oggettivamente complessa stante la grande varietà di aziende AIAP potenzialmente presenti e viene definito, in modo conservativo, pari a 0.1.

Riassumendo quindi la formula potrebbe essere pari a $(w_a + w_b) \cdot 1.1$. Alla luce di questa formula il rischio viene incrementato in maniera significativa solo se w_a e w_b sono dello stesso ordine di grandezza infatti ipotizzando $w_a = w_b$ la formula diviene $2.2 \cdot w_a$ mentre se $w_a = 0.1w_b$ allora la formula diverrebbe $1.21w_b$ e se $w_a = 0.01w_b$ allora la formula diverrebbe $1.111w_b$. Concludendo si propone di raddoppiare la frequenza di rischio delle aziende AIAP avente la frequenza più gravosa (come ordine di grandezza) nel caso di celle (da 500 metri per 500 metri) aventi più di 25 aziende AIAP al loro interno. Con analogo criterio si quadruplicherà la frequenza più gravosa in presenza di 50 aziende AIAP nella cella e si moltiplicherà per 8 nel caso di più di 100 aziende AIAP nella stessa cella.

Analisi di secondo livello

Nel corso di questa analisi si potrà valutare l'effettivo rischio di effetto domino presente e valutarlo in modo diretto senza utilizzare metodi statistici.

Ricettore Trasporto di sostanze pericolose

Valgono le stesse considerazioni svolte per le aziende ARIR.

Ricettore Lavoratore

Valgono le stesse considerazioni svolte per le aziende ARIR.

Ricettore Bosco

In questo caso un eventuale incendio presso la ditta AIAP potrebbe innescare un incendio dell'area boschiva.

Analisi di primo livello

Nel caso l'area boschiva sia direttamente confinante con l'azienda AIAP (distanza massima 25 metri) nella analisi di primo livello si incrementerà la frequenza assunta dalla sorgente di rischio incendio boschivo del 10% della frequenza di incendio assegnata all'azienda AIAP.

Se il bosco viene interessato da n aziende sorgenti, l'incremento sarà pari a $n \cdot 0.1 \cdot f_{AIAP}$

Analisi di secondo livello

Nella analisi di secondo livello si procederà alla individuazione della tipologia di incendio desunta dal Rapporto di Sicurezza valutando la quantità di calore trasferito e l'eventuale produzione di particelle incandescenti che possano dar luogo ad un incendio dell'area boschiva. Al termine, in caso di verifica positiva, si assegnerà al rischio di incendio boschivo la frequenza derivante da tale calcolo.

Ricettore Strade

In questo caso si può ipotizzare che in caso di incidente presso una azienda AIAP, le conseguenze incidentali dirette (nube tossica, irraggiamento termico, onda di pressione, produzione di frammenti) o indirette (fumo, semplice distrazione dell'autista) possano generare un incidente stradale. Sebbene la concatenazione sia plausibile, anche se non si conoscono le conseguenze incidentali associate a tale tipologia di azienda, da quanto individuato dallo studio del rischio di incidenti stradali, si può evincere che l'incremento del rischio sia trascurabile.

SORGENTE TRASPORTI

Ricettore ARIR

In questo caso non si possono ritenere secondari gli incrementi di frequenza dovuti agli effetti domino (come fatto per ARIR su Trasporti) perché vengono meno le considerazioni svolte per escluderne l'importanza. Ipotizzando una probabilità di concatenazione domino pari allo 0,1 si propone di incrementare la frequenza di accadimento associata agli incidenti di una azienda ARIR, nel caso la stessa sia collocata all'interno della prima soglia delle conseguenze da trasporti, del 10% della frequenza associata al rischio del trasporto.

Ricettore AIAP

In questo caso non si possono ritenere secondari gli incrementi di frequenza dovuti agli effetti domino (come fatto per AIAP su Trasporti) perché vengono meno le considerazioni svolte per escluderne l'importanza. Ipotizzando una probabilità di concatenazione domino pari allo 0,1 si propone di incrementare la frequenza di accadimento associata agli incidenti di una azienda AIAP, nel caso la stessa sia collocata all'interno della prima soglia delle conseguenze da trasporti, del 10% della frequenza associata al rischio del trasporto.

Ricettore Trasporto di sostanze pericolose

Tale evento è già considerato nella frequenza di accadimento relativa al trasporto di sostanze pericolose

Ricettore Bosco

Il trasporto di sostanze pericolose può avvenire mediante:

- Autobotti/Autoarticolati
In questo caso si ipotizza che il mezzo transiti all'interno dell'area boschiva e che a seguito di un rilascio non controllato dia fuoco allo stesso
- Ferrocisterne/Carri ferroviari
In questo caso si ipotizza che il mezzo transiti all'interno dell'area boschiva e che a seguito di un rilascio non controllato dia fuoco allo stesso
- Tubazione
Questo caso non verrà approfondito perché generalmente le tubazioni sono interrate e quindi le aree boschive sono naturalmente schermate dalle conseguenze incidentali
- Canali navigabili
Questo caso non verrà approfondito perché non sono presenti nell'area sotto studio

Ipotizzando una probabilità di concatenazione domino pari allo 0,1 si propone di incrementare la frequenza di incendio dell'area boschiva, nel caso la stessa sia attraversata da linea ferroviaria o tratto stradale lungo cui transitano merci pericolose, del 10% della frequenza associata al rischio del trasporto.

Ricettore Strade

Tale concatenazione è già inserita nella frequenza di accadimento degli incidenti.

SORGENTE INCIDENTI SUL LAVORO

In queste concatenazione si suppone che il verificarsi di un incidente sul lavoro possa dar luogo ad un evento incidentale rilevante.

Ricettore ARIR

L'origine derivante da incidente sul lavoro o da semplice distrazione è già considerato nella frequenza di accadimento relativa alle aziende ARIR

Ricettore AIAP

Come ricettore ARIR.

SORGENTE IDROGEOLOGICO

Ricettore ARIR

Nel caso l'azienda sia collocata all'interno della zone R4 o R3 si aggiungerà alla frequenza di accadimento propria della azienda il 10% della frequenza associata all'evento idrogeologico desunto dal tempo di ritorno associato alla fascia di collocazione dell'azienda

Ricettore AIAP

Come ricettore ARIR.

Ricettore Trasporto di sostanze pericolose

Tale evento è già considerato nella frequenza di accadimento relativa al trasporto di sostanze pericolose

Ricettore Strade

Tale concatenazione è già inserita nella frequenza di accadimento degli incidenti.

SORGENTE CERAUNICO

Ricettore ARIR

La normativa prevede esplicitamente l'obbligo di proteggere gli edifici e gli apparati dalla fulminazione diretta.

Ricettore AIAP

La normativa prevede esplicitamente l'obbligo di proteggere gli edifici e gli apparati dalla fulminazione diretta.

Ricettore Trasporto di sostanze pericolose

Tale evento è già considerato nella frequenza di accadimento relativa al trasporto di sostanze pericolose

Ricettore Strade

Tale concatenazione è già inserita nella frequenza di accadimento degli incidenti.

SORGENTE SISMICO

Ricettore ARIR

Per le aziende collocate nelle seguenti zone:

- zone caratterizzate da $a_{g,475} \geq 0,25g$ (pericolosità alta)
- zone caratterizzate da $0,25g > a_{g,475} \geq 0,15g$ (pericolosità media)

si procederà ad incrementare la frequenza di accadimento degli incidenti dell'azienda ARIR della frequenza attesa del sisma relativo.

Ricettore AIAP

Per le aziende collocate nelle seguenti zone:

- zone caratterizzate da $a_{g,475} \geq 0,25g$ (pericolosità alta)
- zone caratterizzate da $0,25g > a_{g,475} \geq 0,15g$ (pericolosità media)

si procederà ad incrementare la frequenza di accadimento degli incidenti dell'azienda AIAP della frequenza attesa del sisma relativo.

Ricettore Trasporto di sostanze pericolose

Tale evento è già considerato nella frequenza di accadimento relativa al trasporto di sostanze pericolose

Ricettore Strade

Tale concatenazione è già inserita nella frequenza di accadimento degli incidenti.

SORGENTE INCENDI BOSCHIVI

Ricettore ARIR

In questo caso un eventuale incendio dell'area boschiva potrebbe interessare la ditta ARIR limitrofa.

Analisi di primo livello

Se l'area boschiva dista meno di 25 m dall'azienda si incrementerà la frequenza di incendio assegnata all'azienda ARIR con il 10% della frequenza assunta dalla sorgente di rischio incendio boschivo.

Analisi di secondo livello

Si analizzerà dettagliatamente la localizzazione delle strutture sensibili della azienda e la loro coinvolgibilità nell'incendio boschivo.

Ricettore AIAP

Come aziende RIR

Ricettore Trasporto di sostanze pericolose

Tale evento è già considerato nella frequenza di accadimento relativa al trasporto di sostanze pericolose

Ricettore Bosco

Tale concatenazione è già inserita nella frequenza di accadimento degli incidenti.

Ricettore Strade

Tale concatenazione è già inserita nella frequenza di accadimento degli incidenti.

SORGENTE INCIDENTI STRADALI

Ricettore Trasporto di sostanze pericolose

Tale evento è già considerato nella frequenza di accadimento relativa al trasporto di sostanze pericolose

Ricettore Strade

Tale concatenazione è già inserita nella frequenza di accadimento degli incidenti.

PROCEDURA DI CALCOLO DEL RISCHIO INTEGRATO

Durante la definizione delle frequenze incidentali da rischi diretti e delle frequenze con cui si manifestano gli effetti domino si è proceduto ad una revisione integrale di quanto svolto per il progetto PRIM. Tale revisione ha comportato l'introduzione di nuove tipologie di rischio e l'utilizzo di banche dati e metodiche differenti da quanto svolto nel progetto PRIM. Come conseguenze di questo il metodo AHP non poteva essere ulteriormente utilizzato.

Si è quindi posta la scelta tra:

- Ampliare e rivedere i coefficienti di dominanza/pesi
- Introdurre una metodologia nuova

Dopo alcuni tentativi, si sono evidenziati i seguenti aspetti che hanno portato alla scelta di introdurre una nuova metodologia:

- Il sistema AHP comporta la revisione di tutti i pesi ogniqualvolta si introduca una nuova tipologia di rischio o si modifichi la modalità di calcolo di una esistente
- Il sistema AHP è difficilmente replicabile poiché risulta difficile ricostituire il medesimo gruppo di esperti

La nuova metodologia introdotta nelle pagine seguenti ha inoltre i seguenti vantaggi ritenuti validi dal gruppo di lavoro:

- I singoli fattori di rischio vengono espressi in colpiti/anno. Tale risultato permette sempre il confronto tra i differenti rischi.
- Il rischio integrato viene espresso in colpiti/anno. Tale risultato permette la facile integrazione nel sistema di ulteriori fattori di rischio eventualmente non valutati in questo progetto perché precipui di altre territoriali.
- Il metodo è quantitativo e pertanto applicabile in entrambe le analisi previste dal progetto.

Algoritmo di calcolo del rischio integrato

Lo studio dei singoli fattori di rischio permette di identificare per ogni cella i colpiti/anno.

Nell'integrazione dei fattori di rischio si è posta l'attenzione sul differente impatto che ogni rischio può avere sulla popolazione esposta: ad esempio non tutti gli esposti ad un sisma di zona 1 periscono per opera dello stesso e non tutte le persone coinvolte da un incendio vengono fisicamente danneggiate.

Inoltre l'impatto massimo atteso sulla salute dei vari fattori di rischio può essere molto diverso: ad esempio l'esposizione ad una nube tossica in concentrazione pari a LC50 ha effetti diversi da un nube con concentrazione pari al LOC, la presenza all'interno di una area boschiva durante un incendio comporta una esposizione diversa dall'essere residente in una area limitrofa.

Infine i sistemi territoriali, antropici e infrastrutturali possono far fronte e contrastare gli eventi calamitosi in modo più o meno efficace a seconda delle loro precipue caratteristiche.

Si è pertanto ritenuto opportuno introdurre tre fattori:

- c (fattore di conversione) che rappresenta la conversione tra popolazione esposta e popolazione colpita/coivolta.
- g (fattore di gravità) che rappresenta la gravità delle conseguenze per una data soglia
- r (fattore di resilienza) che rappresenta la capacità del sistema colpito di far fronte all'evento calamitoso e di tamponarne gli effetti.

Alla luce di quanto detto si propone il seguente algoritmo per il calcolo, per ogni maglia del reticolo, di un valore di rischio integrato dato dalla sommatoria:

$$R_{\text{INTEGRATO}} = \sum_i r_i \times g_i \times c_i \times f_i$$

essendo

r_i il fattore di resilienza associato al rischio i -esimo

g_i il fattore di gravità associato al rischio i -esimo

c_i il fattore di conversione associato al rischio i -esimo

f_i la frequenza di manifestazione del pericolo i -esimo definita nei paragrafi precedenti.

Definizione della vulnerabilità e del fattore di resilienza

L'entità dell'impatto che un fattore di rischio può generare su un certo contesto territoriale è strettamente correlata alla vulnerabilità di tale contesto, cioè alla predisposizione intrinseca degli elementi antropici di tale area a subire danni, ed al grado di resilienza degli stessi elementi antropici. La vulnerabilità di un territorio è determinata dalla presenza dei seguenti elementi sensibili:

- edifici ad uso ospedaliero;
- edifici ad uso scolastico;
- edifici ad uso turistico (alberghi, campeggi, etc.);
- stazioni;
- impianti sportivi con capienza superiore a 10.000 posti;
- aeroporti;
- centri commerciali;
- aree fieristiche.

Si è deciso quindi di conteggiare la vulnerabilità territoriale all'interno dell'algoritmo di calcolo del rischio integrato incrementando la densità abitativa di ogni cella della griglia di analisi in funzione del numero e della tipologia di elementi sensibili in essa presenti. Si sono trascurati gli impianti sportivi perché su media annuale l'incremento della densità abitativa che essi determinano non è significativo.

Per quanto riguarda invece la resilienza, cioè la caratteristica del sistema territoriale, antropico e infrastrutturale, di far fronte a eventi calamitosi e di tamponarne gli effetti, si sono acquisiti in toto i risultati del PRIM.

Il fattore r è stato assunto pari al Fattore di Impatto Indiretto, tale parametro è sempre compreso fra 0,9 e 1,2 : a un elevato grado di resilienza corrisponde un valore di r prossimo a 0,9 viceversa a un grado ridotto di resilienza equivale un r uguale a 1,2.

Definizione del fattore di gravità' (g)

Per la definizione dei vari g si è preso a riferimento la seguente scala di gravità:

- Decesso = 1
- Lesioni irreversibili = 0.25
- Lesioni reversibili = 0.01
- Conseguenze non significative = 0.0001

Rischio aziende RIR - Interventi Vigili del Fuoco

Per la prima zona, relativa alla elevata letalità secondo la normativa vigente, si è optato per un fattore pari a 1

Per la seconda zona, relativa delle lesioni irreversibili secondo la normativa vigente, si è optato per un valore intermedio tra letalità e lesioni irreversibili pari a 0.25

Per la terza zona, relativa all'area di attenzione, si è optato per un valore analogo alle lesioni reversibili pari a 0.01

Rischio aziende RIR - Infortuni

La banca dati INAIL riporta, su scala nazionale, la seguente ripartizione delle conseguenze degli infortuni:

- 16% morte
- 60% lesioni irreversibili
- 24% lesioni reversibili

Pertanto il fattore complessivo di gravità risulta: $1 \cdot 0.16 + 0.25 \cdot 0.6 + 0.01 \cdot 0.24 = 0,3124$

Rischio AIAP Infortuni

Come Aziende RIR - Infortuni

Rischio AIAP Interventi Vigili del Fuoco

L'esperienza mostra che raramente un incendio comporta il decesso diretto di una persona mentre risultano altamente probabile le lesioni reversibili dovute tipicamente alla inalazione dei prodotti di combustione si è pertanto stimato il fattore mediante:

$$1*0.01+0.25*0.1+0.01*0.89 = 0,0439$$

Rischio trasporto ADR

Si è presa in considerazione esclusivamente la 1^a soglia di impatto del Transit che è riferita alla letalità pertanto si è posto g uguale a 1.

Rischio idrogeologico

Riferendosi alle aree allagabili con tempo di ritorno TR rispettivamente 10 (zona A), 100 - 200 (zona B) e 500 anni (zona C) si è proceduto alla seguente assegnazione del fattore di gravità:

g	A ∩ B ∩ C	B ∩ A	C - B
Esondazione con TR=10	0,01	-	-
Esondazione con TR=100 o TR=200	0,13	0,01	-
Esondazione con TR=500	0,625	0,13	0,01

Con la sigla A ∩ B ∩ C si è rappresentata la zona risultante dall'intersezione delle aree A, B e C; B-A sta invece ad indicare la zona comune a B e C ma non ad A ed infine con C-B si è rappresentata la zona di C non comune a B e A.

Una esondazione avente tempo di ritorno di 500 anni sarà caratterizzata in A da un'altezza del livello d'acqua nettamente maggiore a quella che un'esondazione con tempo di ritorno di 10 anni avrebbe nello stesso punto, da qui la scelta di assegnare a g il valore 0,625.

Rischio incendi boschivi

Per i soggetti presenti all'interno dell'area boschiva (addetti allo spegnimento) si è presa in considerazione la seguente ripartizione delle conseguenze degli infortuni desunta dalle statistiche del Corpo dei Vigili del Fuoco:

- 22% morte
- 78% lesioni irreversibili/ reversibili

Pertanto il fattore complessivo di gravità risulta: $1 \cdot 0,22 + 0,13 \cdot 0,78 = 0,3189$

Per un soggetto presente invece nell'area limitrofa il rischio può essere stimato come lesioni reversibili, quindi g è assunto pari a 0,01.

Rischio sismico

E' possibile definire, in accordo con quanto indicato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 4 zone di pericolosità nel modo seguente:

- Zona 1 o a pericolosità alta; ricadono in questa zona i comuni o porzioni di essi per i quali $a_{g,475} \geq 0,25 a_g$.
- Zona 2 o a pericolosità media; ricadono in questa zona i comuni o porzioni di essi per i quali $0,25 a_g > a_{g,475} \geq 0,15 a_g$.
- Zona 3 o a pericolosità bassa; ricadono in questa zona i comuni o porzioni di essi per i quali $0,15 a_g > a_{g,475} \geq 0,05 a_g$.
- Zona 4 o a pericolosità molto bassa; ricadono in questa zona i comuni o porzioni di essi per i quali $a_{g,475} < 0,05 a_g$.

essendo $a_{g,475}$ l'accelerazione orizzontale massima al suolo relativa al 50esimo percentile, ad una vita di riferimento di 50 anni e ad una probabilità di superamento del 10%.

Nell'area in oggetto sono presenti unicamente le zone 3 e 4, tale classificazione è stata impiegata per l'attribuzione dei fattori di gravità (cfr. paragrafo precedente).

Si è quindi inizialmente supposto che:

- per le zone caratterizzate da $a_{g,475} \geq 0,25 a_g$ (pericolosità alta): $g=1$ (letalità)

- per le zone caratterizzate da $0,25g > a_{g,475} \geq 0,15a_g$ (pericolosità media): $g=0,25$ (lesioni irreversibili)
- per le zone caratterizzate da $0,15g > a_{g,475} \geq 0,05a_g$ (pericolosità bassa): $g=0,01$ (lesioni reversibili)
- per le zone caratterizzate da $a_{g,475} < 0,05a_g$ (pericolosità molto bassa): $g=0,0001$ (conseguenze non significative)

Tuttavia con tale classificazione la quantificazione del rischio nelle celle poste lungo il confine fra la terza e la quarta zona presentava un gradino di discontinuità eccessivo. Si è quindi deciso di ricorrere a una curva esprime la gravità in funzione dell'accelerazione. Tale curva è stata ricavata a partire dall'interpolazione dei valori riportati nella classificazione iniziale ed ha la seguente forma: $g = 154.55 a_{g,475}^{4.1909}$

Rischio meteo-climatico

Se si viene colpiti direttamente da un fulmine la probabilità di decesso è elevata pertanto $g=1$

Incidentalità stradale

Il fattore g risulta pari ad 1 perché la gravità dell'infortunio è già tenuta in conto nel calcolo della frequenza.

Nella tabella seguente si riporta il fattore g per ciascuna fonte di pericolo:

Tipologia di rischio	Sottocategoria	Fattore g
ARIR - ZONE	ARIR - 1° ZONA	1
	ARIR - 2° ZONA	0,25
	ARIR - 3° ZONA	0,01
ARIR - Infortuni		0,3124
AIAP - Infortuni		0,3124
AIAP - Interventi VVF		0,0439
Trasporto ADR	ADR2/3 - 1° soglia	1
Idrogeologico	TR=500 zona A ☐B ☐C	0,625
	TR=100-200 zona A ☐B ☐C	0,13
	TR=500 zona B ☐☐	0,13
	TR=10 zona A ☐B ☐C	0,01
	TR=100-200 zona B ☐☐	0,01
	TR=500 zona C ☐☐☐	0,01
Incendi boschivi	Aree boschive (A)	0,3189
	Aree antropizzate limitrofe alle aree boschive (B)	0,01
Sismico		$154.55 a_{g,475}^{4.1909}$
Meteo-climatico	Ceraunico	1
Incidentalità stradale		1

Definizione del fattore di conversione (c)

Rischio Aziende RIR - Zone

Per tutte le zone si è dapprima provveduto a ridurre l'area di impatto desunta dagli allegati V ipotizzando che la nube (sostanza o fumi di combustione) si disperda con un angolo di 45° pari a 1/8 dell'angolo giro.

Si è inoltre tenuto presente che in realtà la popolazione effettivamente esposta sarà una quota parte della popolazione residente in quanto o la popolazione non è presente in casa al momento dell'evento o le è possibile allontanarsi rapidamente dal luogo dell'evento. Pertanto si è ritenuto che sia effettivamente esposta il 25% della popolazione residente

Si è quindi ipotizzato un fattore c pari a $1/8 * 1/4 = 1/32 = 0,03125$

Il coinvolgimento del personale operante all'interno dell'azienda non verrà tenuto in conto in questa sede perché già considerato nelle statistiche INAIL prese a riferimento per stimare le frequenze di infortunio sul lavoro.

Pertanto c sarà rappresentato dalla seguente formula:

$$c = 0,03125 D_{abitativa} * A_{impatto}$$

ove

$D_{abitativa}$ = Densità abitativa dell'area espressa in abitanti/m²

$A_{impatto}$ = Area di impatto esterno .

Rischio Aziende RIR - Infortuni

Il fattore c risulta pari ad 1 poiché la frequenza è stata dedotta a partire dal numero di infortuni

Rischio AIAP Infortuni

Come Aziende RIR - Infortuni

Rischio AIAP Interventi Vigili del Fuoco

Valgono le stesse considerazioni svolte per le aziende RIR. Pertanto c sarà rappresentato dalla seguente formula:

$$c = 0,03125 D_{abitativa} * A_{impatto}$$

ove

$D_{abitativa}$ = Densità abitativa dell'area espressa in abitanti/m²

$A_{impatto}$ = Area di impatto esterno ipotizzata come un ellissoide avente asse di circa 50 m.

Rischio trasporto ADR

Valgono le stesse considerazioni svolte per le aziende RIR. L'unica differenza risiede nella determinazione delle aree di impatto che evidentemente non sono state desunte dall'allegato V. A ciascun tratto di linea ferroviaria/stradale, interessato dal passaggio di merci pericolose e ricadente all'interno della cella oggetto di studio, sono state assegnate l'area di impatto $A_{impatto_ADR2}$ derivante da un rilascio di sostanza di classe ADR 2 e l'area di impatto $A_{impatto_ADR3}$ derivante da un rilascio di sostanza di classe ADR 3. Per quanto riguarda il trasporto ferroviario l'area di impatto $A_{impatto_cl2}$ è stata così determinata:

$$A_{impatto_ADR2} = \pi \times r_{medio}^2$$

$$\text{essendo } r_{medio}^2 = \frac{Q_{OX}}{Q_{TOT_ADR2}} r_{OX} + \frac{Q_{CL}}{Q_{TOT_ADR2}} r_{CL} + \frac{Q_{AMM}}{Q_{TOT_ADR2}} r_{AMM} + \frac{Q_{GPL}}{Q_{TOT_ADR2}} r_{GPL}$$

con

- Q_i quantità annua trasportata nel tratto in esame rispettivamente di ossido di etilene, cloro, ammoniaca e GPL
- r_i distanza entro la quale si ha elevata letalità in caso di evento incidentale legato al rilascio rispettivamente di ossido di etilene, cloro, ammoniaca e GPL

Nel caso del trasporto su strada, invece, l'area di impatto $A_{impatto_ADR2}$ è stata posta uguale a $\pi \times r_{AMM}^2$, si è cioè assunta l'ammoniaca rappresentativa dell'intera classe ADR 2.

Analogamente, sia per il trasporto stradale che per il trasporto su ferrovia, la benzina è stata assunta rappresentativa dell'intera classe ADR 3, tuttavia le aree di impatto sono diverse perché i quantitativi trasportati da una ferro cisterna sono maggiori di quelli trasportati da un'autocisterna.

c è dunque rappresentato dalla seguente formula:

$$c = 0,03125 D_{abitativa} * A_{impatto_ADR2} * K$$

$$c = 0,03125 D_{abitativa} * A_{impatto_ADR3} * K$$

ove

$D_{abitativa}$ = Densità abitativa (espressa in abitanti/m²) all'interno del buffer di larghezza r_i/r_{medio} individuato attorno al tratto di ferrovia/strada in esame,

$A_{impatto_ADR2/ADR3}$ = Area di impatto esterno ,

$$K = \frac{\text{numero di abitanti della cella in esame ricadenti nel buffer del tratto } i - \text{esimo}}{\text{numero complessivo di abitanti ricadenti nel buffer del tratto } i - \text{esimo}}$$

Il fattore K ha la funzione di distribuire all'interno del buffer (involuppo di tutte le possibili aree di danno) il rischio connesso al transito di merci pericolose.

Rischio idrogeologico

Per questo fattore di rischio si è scelto un c pari a 0,001.

Rischio incendi boschivi

Per i soggetti presenti all'interno dell'area boschiva (addetti allo spegnimento) si è assunto il parametro c uguale a $1,49 \cdot 10^{-4}$ sulla base delle già citate statistiche del Corpo dei Vigili del Fuoco.

Per quanto riguarda invece i soggetti presenti nell'area limitrofa al bosco sede dell'incendio si è attribuito a c il valore risultante dal seguente prodotto:

$$1/4 * 1/100 = 0,0025$$

Ove

- $\frac{1}{4}$ rappresenta la porzione di nube (fumi di combustione) che investe la cella, tale valore tiene conto della direzione del vento che investe la cella (sopravento o sottovento)
- $\frac{1}{100}$ rappresenta la percentuale di popolazione equivalente che non si allontana dal fronte dell'incendio.

Rischio sismico

Data la difficoltà predittiva e la rapida della propagazione sul territorio dell'evento si è preso $c=1$.

Rischio meteo-climatico

I dati CESI riportano al 4 settembre 2008 (ore 22.00) 716958 fulmini dall'inizio dell'anno, pari a circa 89000 fulmini/mese, considerando la stagionalità dei fulmini si può stimare che in un anno in Italia si manifestano circa un milione di fulmini. L'Istituto Superiore di Sanità stima in 7-10 i morti per fulmini all'anno in Italia. Si desume che la mortalità media annua italiana è pari a circa $10/1000000 (=0,00001)$. Per calcolare il fattore c si è deciso di pesare tale mortalità per il rapporto fra densità di esposti in ogni cella e densità media italiana ($193,06 \text{ ab/km}^2$).

Per esposti si intendono gli individui che stazionano o transitano in spazi aperti. La densità di esposti per tipologia d'uso del suolo è stata assunta nel modo seguente:

Tipologia di uso del suolo (riclassificata da DUSAF)	Densità esposti (Ab/km²)
Aree coltivate	10
Colture orto-vivaistiche, orti urbani	200
Aree naturali o abbandonate (prati, aree ripariali, marcite, etc.)	5
Boschi	5
Aree estrattive	200
Zone ricreative all'aperto (parchi e giardini, impianti sportivi, campeggi)	1000
Aree densamente urbanizzate	10*
Aree scarsamente urbanizzate e cascine	300

* Tale valore è giustificato dal fatto che la popolazione residente all'interno degli edifici è protetta; coloro che invece sono all'esterno vengono difficilmente colpiti dai fulmini, i quali generalmente sono intercettati da antenne, parafulmini ed infrastrutture

Incidentalità stradale

Il fattore c risulta pari ad 1 poiché la frequenza è stata dedotta a partire dal numero di infortuni

Tabella riassuntiva dei fattori di conversione:

Tipologia di rischio	Sottocategoria	Fattore c
ARIR – Zone		$0,03125 D_{abitativa} * A_{impatto}$
ARIR - Infortuni		1
AIAP - Infortuni		1
AIAP – Interventi VVF		$0,03125 D_{abitativa} * A_{impatto}$
Trasporto ADR	ADR 2 - ferrovia	$0,03125 D_{abitativa} * A_{impatto_ADR2} * K$
	ADR 2 - strada	$0,03125 D_{abitativa} * A_{impatto_ADR2} * K$
	ADR 3 - ferrovia	$0,03125 D_{abitativa} * A_{impatto_ADR3} * K$
	ADR 3 - strada	$0,03125 D_{abitativa} * A_{impatto_ADR3} * K$
Idrogeologico		0,001
Incendi boschivi	Aree boschive (A)	$1,49 * 10^{-4}$
	Aree antropizzate limitrofe alle aree boschive (B)	0,0025
Sismico	Zone 1-4	1
Meteo-climatico	Ceraunico	$0,00001 * D_{esposti} / D_{abitativa}$
Incidentalità stradale		1

Tabella riepilogativa:

Tipologia di rischio	Sottocategoria	Fattore c*g
ARIR – ZONE	ARIR – 1° ZONA	$[3.13E-02 * D_{abitativa} * A_{impatto}] * 1E+00$
	ARIR – 2° ZONA	$[3.13E-02 * D_{abitativa} * A_{impatto}] * 2,5E-01$
	ARIR – 3° ZONA	$[3.13E-02 * D_{abitativa} * A_{impatto}] * 1E-02$
ARIR - Infortuni		3,12E-01
AIAP - Infortuni		3,12E-01
AIAP – Interventi VVF		$[3.13E-02 * D_{abitativa} * A_{impatto}] * 4,39E-02$
Trasporto ADR	ADR2/3	$[3.13E-02 * D_{abitativa} * A_{impatto_ADR2/3} * K] * 1E+00$
Idrogeologico	TR=500 zona A ☐B ☐C	6.25E-04
	TR=100-200 zona A ☐B ☐C	1.30E-04
	TR=500 zona B ☐☐	1.30E-04
	TR=10 zona A ☐B ☐C	1.00E-05
	TR=100 -200 zona B ☐☐	1.00E-05
	TR=500 zona C ☐☐☐	1.00E-05
Incendi boschivi	Aree boschive (A)	4.75E-05
	Aree antropizzate limitrofe alle aree boschive (B)	2.50E-05
Sismico		$154.55 a_{g,475}^{4.1909}$
Meteo-climatico	Ceraunico	1,000E-06
Incidentalità stradale		1,00E+00

ove

$D_{abitativa}$ = Densità abitativa dell'area espressa in abitanti/m²

$A_{impatto}$ = Area di impatto esterno espressa in m², nel caso delle aziende AIAP tale area è sempre assunta pari a 1960 m²

METODO PER IL CALCOLO DEGLI EFFETTI DOMINO DA INCENDIO

In caso di incendio esterno, i componenti di impianto possono surriscaldarsi a causa:

- della radiazione termica emessa dalla fiamma e/o
- del contatto diretto con la fiamma stessa (urto con dardo di fuoco -“jet fire impingement”-, immersione nelle fiamme di una pozza incendiata -“pool fire engulfment”)
- del contatto con prodotti di combustione

Con l'aumentare della temperatura i componenti di impianto tendono a peggiorare le proprie caratteristiche di resistenza meccanica, fino al collasso.

Vari studi sulla resistenza dei componenti strutturali di impianto alle radiazioni termiche (Schwartz 1964, Lees 1980, Hofman 1982, etc.) hanno prodotto i risultati riassunti nel seguito.

- Cemento non armato
La temperatura di collasso rilevata è inferiore a 575 °C
- Cemento armato
Surriscaldamenti superficiali fino a 900 °C sono sopportati per 30-60 minuti massimo
- Cemento armato precompresso
I manufatti collassano in circa 1 ora con temperature superficiali di circa 900 °C
- Muratura di mattoni
I manufatti sopravvivono per oltre 4 ore a temperature di 1100 °C; il cemento legante viene tuttavia distrutto a circa 500 °C
- Manufatti in Ghisa
Resistono in generale a temperature di 1000 °C per circa 1 ora
- Manufatti in Legno
La combustione inizia con una temperatura superficiale di circa 300 °C; lo strato carbonioso che così si forma protegge la struttura per non più di mezz'ora.

- **Manufatti in Acciaio**

Manufatti non protetti tendono a perdere la loro stabilità a temperature dell'ordine di 250-300 °C; gli stessi possono resistere a fuochi più intensi, nei casi la struttura dia raffreddata da correnti d'aria (vento) nella parte posteriore

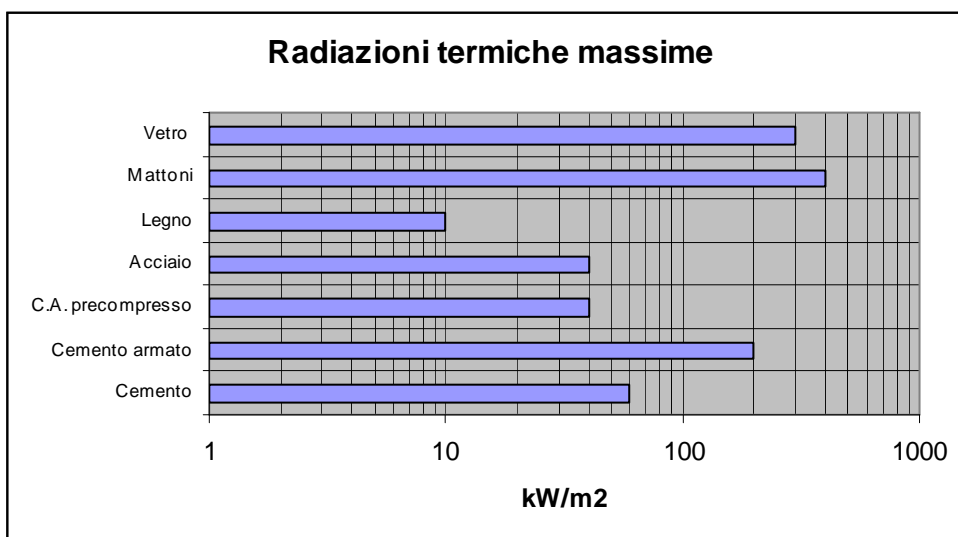
- **Manufatti in Vetro**

La qualità del manufatto tende a decadere a temperature superiori a 1000 °C

Sulla base dei dati precedenti, l'istituto Battelle di Francoforte ha stimato, attraverso un modello matematico di irraggiamento-conduzione-dispersione, quali sono i valori limite di flusso radiante incidente che possono essere sopportati da un determinato manufatto.

Le conclusioni raggiunte sono riassunte nella tabella e nel diagramma seguenti.

	Max. temp. superficiale (°C)	Max. temp. del corpo (°C)	Max radiazione tollerabile (kW/m ²)
Cemento	575	575	60
Cemento armato	900	575	200
C.A. precompresso	900	250	40
Acciaio	500	250	40
Legno	300	-	10
Mattoni	1000	700	400
Vetro	1000	1000	30-300



Poiché l'incendio è una ipotesi incidentale non escludibile in impianti aventi sostanze infiammabili, i componenti di impianto sono spesso difesi contro gli effetti degli incendi mediante una strategia di interventi complessa ed articolata, che ha i suoi capisaldi in

1. **Studio del lay-out dell'impianto**, inteso come disposizione planimetrica delle apparecchiature per rispettare valori minimi di distanze di sicurezza e, quindi, limitare l'intensità del carico termico trasferito da un componente all'altro (che diminuisce con l'aumentare della distanza relativa)
2. **Realizzazione di impianti di raffreddamento fissi**, capaci di erogare sulle parti esposte all'incendio notevoli quantità di acqua e, quindi, di asportare l'energia incidente attraverso il calore specifico ed il calore di evaporazione dell'acqua stessa (ad esempio gli anelli di raffreddamento dei serbatoi, le lance idriche, i "cannoni" monitori)
3. **Realizzazione di impianti di raffreddamento mobili**, che possono recarsi sul luogo dell'incendio ed erogare getti di acqua sulle parti esposte

Inoltre non va dimenticato che il danno conseguente all'incendio non dipende dalla sola potenza della radiazione termica incidente, ma piuttosto dall'integrale nel tempo della potenza stessa (energia ricevuta).

In condizioni stazionarie, l'energia ricevuta può essere espressa come prodotto del valor medio della potenza per la durata del fenomeno.

$$D = P_{\text{termica}} \times t$$

Ne consegue che al diminuire del tempo "t" diminuisce l'energia ricevuta e, quindi, i relativi danni all'oggetto ricettore.

Nella strategia di protezione impiantistica, esiste quindi un altro caposaldo

4. **Realizzazione di sistemi di intercettazione e/o di svuotamento rapido** dell'apparecchiatura che ha dato origine all'incendio. Questi sistemi (valvole di blocco e sezionamento o sistemi di svuotamento a blowdown od in altro recipiente integro) sono tali da diminuire drasticamente la durata dell'incendio e, quindi, la dose termica ricevuta dalle apparecchiature circostanti.

Un altro aspetto da non dimenticare nel valutare le soglie di radiazione termica pericolosa è che, molto spesso, la parete metallica che riceve l'energia è a contatto, sull'altra parete, con un fluido, capace di asportare gran parte dell'energia stessa. (Questa, per inciso, è la ragione per cui le tubazioni interne in un forno non collassano pur essendo a contatto diretto con la fiamma dei bruciatori).

Lo stesso scenario si ripete, ad esempio, per i serbatoi, che, ove sottoposti a radiazione termica, trasferiscono il calore al fluido contenuto, che si riscalda (ed eventualmente cambia lo stato fisico) rallentando notevolmente il fenomeno di surriscaldamento delle pareti.

Tenuto conto di quanto sopra, i valori limite riportati nella tabella precedente (che sono stati calcolati nell'ipotesi di incendio di durata infinita, senza impianti di raffreddamento e con la parete opposta a quella esposta a contatto con aria) sono molto pessimistici.

Nella definizione della soglia di radiazione termica pericolosa agli effetti di propagazione "domino" dell'incidente iniziale, occorre fare menzione alla Tab. III/1 allegata al Decreto Ministeriale del 14/04/1994 (Criteri di analisi e valutazione dei rapporti di sicurezza relativi ai depositi di gas di petrolio liquefatto ai sensi dell'art. 12 del D.P.R. 17 maggio 1988, n. 175).

Tab. III/1 del Decreto Ministeriale del 14/04/1994

Criteria di analisi e valutazione dei rapporti di sicurezza relativi ai depositi di gas di petrolio liquefatto ai sensi dell'art. 12 del D.P.R. 17 maggio 1988, n. 175.

Valori di riferimento per la valutazione degli effetti

Scenario incidentale	Elevatà letalità	Inizio letalità	Lesioni irreversibili	Lesioni reversibili	Danni alle strutture Effetti domino
Incendio (radiazione termica stazionaria)	12,5 kW/m ²	7 kW/m ²	5 kW/m ²	3 kW/m ²	12,5 kW/m ²
BLEVE/Fireball (radiazione termica variabile)	Raggio firewall	350 kJ/m ²	200 kJ/m ²	125 kJ/m ²	100m da parco bombole 600m da stoccaggio in sfere 800m da stoccaggio in cilindri
Flash-fire (radiazione termica istantanea)	LFL	½ LFL	---	---	
UVCE (sovrappressione di picco)	0,6 bar (0,3 bar)*	0,14 bar	0,07 bar	0,03 bar	0,3 bar

NOTE:

*: Da assumere in presenza di edifici o altre strutture il cui collasso possa determinare letalità indiretta.

Nella tabella precedente viene citato come valore di riferimento per “danni alle strutture ed effetti domino” la radiazione termica stazionaria pari a 12.5 kW/m²

Lo stesso Decreto però specifica (App. 3 cap.4 “Valori di soglia”):

“Il valore di soglia indicato per i possibili danni alle strutture rappresenta un limite minimo, applicabile ad obiettivi particolarmente vulnerabili quali serbatoi atmosferici, pannellature in laminato plastico, ecc. e per esposizioni di lunga durata. Per obiettivi meno vulnerabili, particolarmente in presenza di protezioni coibenti, potrà essere necessario riferirsi a valori

piu' appropriati alla situazione specifica, tenendo conto anche della effettiva possibile durata dell'esposizione.”

Quanto sopra conferma la correttezza delle conclusioni raggiunte.

Il procedimento di valutazione dei possibili effetti domino, farà, quindi, in linea di massima, riferimento a due soglie di radiazioni termiche

LIVELLO DI RADIAZIONE TERMICA	POSSIBILI EFFETTI DOMINO
37.5 kW/m ²	per la generalità delle apparecchiature in acciaio
12.5 kW/m ²	per obiettivi particolarmente vulnerabili, esposti ad incendi di lunga durata e non raffreddati

Frequenza di accadimento dell'effetto domino

In accordo alle considerazioni precedenti, per la stima degli effetti domino da incendio verrà utilizzato un apposito programma di calcolo denominato DOM_INC¹, che si basa sulle seguenti considerazioni.

Un'apparecchiatura è a rischio di danno se è ubicata all'interno dello spazio fisico in cui possono manifestarsi

1. radiazioni termiche superiori a 12.5 kW/m²
AND LOGICO
2. per una durata superiore ad un valore minimo
AND LOGICO
3. se non è disponibile un idoneo sistema di raffreddamento superficiale

Il programma assegna alla prima ed alla terza clausola logica i valori UNO/ZERO (Vero/Falso) ed alla seconda clausola i valori riportati nella seguente tabella:

Valore	Durata
0	Minore di 15 minuti
0.25	Compresa tra 15 e 30 minuti
0.50	Compresa tra 30 e 60 minuti
1	Superiore a 60 minuti

La probabilità di propagazione domino in presenza dei soli sistemi fissi (il programma non tiene conto dei sistemi mobili o semifissi né delle azioni dei vigili del fuoco aziendali né del personale in sala controllo) può quindi assumere i valori riportati nella tabella riportata nella pagina seguente.

¹ DOM_INC è una metodologia di proprietà Eidos di cui è vietato l'utilizzo da parte di terzi

Probabilità di propagazione domino in presenza dei soli sistemi fissi (P _D)	Clausole
0	Radiazioni termiche inferiori a 12.5kW/m ² OR Sistema di raffreddamento superficiale idoneo ad asportare il calore OR Incendio di durata inferiore a 15 minuti
0.25	Radiazioni termiche superiori a 12.5kW/m ² AND Sistema di raffreddamento superficiale non idoneo ad asportare il calore AND Incendio di durata 15-30 minuti
0.5	Radiazioni termiche superiori a 12.5kW/m ² AND Sistema di raffreddamento superficiale non idoneo ad asportare il calore AND Incendio di durata 30-60 minuti
1	Radiazioni termiche superiori a 12.5kW/m ² AND Sistema di raffreddamento superficiale non idoneo ad asportare il calore AND Incendio di durata superiore a 60 minuti

Dall'esame di quanto sopra risulta ovvio che la propagazione incidentale domino tende alla certezza (p=1) per apparecchiature non protette da idoneo sistema di raffreddamento, sottoposte a incendi di lunga durata con radiazioni termiche superiori a 12.5 kW/m².

E' importante sottolineare che il programma sviluppa gli effetti domino a partire dall'irraggiamento di 12.5 kW/m² e pertanto l'approccio utilizzato è più conservativo di quello riportato nel D.M. 14.04.1994.

La scelta dei top-events potenzialmente in grado di dare origine a sequenze "domino" sarà fatta sulla base dei "Rapporti di Sicurezza" e "Schede di valutazione tecnica" presentate dal gestore ai sensi della Direttiva Seveso.

La probabilità di mancata protezione da effetto domino è stimabile da:

$$p_{MD} = p_{ME} * p_{MR} * p_{MS}$$

dove

p_{MD} = probabilità di mancata protezione da effetto domino

p_{ME} = probabilità di mancata estinzione dell'incendio iniziatore

p_{MR} = probabilità di mancato raffreddamento delle apparecchiature/strutture esposte con l'ausilio dei servizi di protezione in essere

p_{MS} = probabilità di mancato sezionamento e svuotamento delle apparecchiature esposte

I parametri p_{ME} e p_{MR} sono frutto della dotazione e della efficacia dei sistemi antincendio mobili e semifissi e sono di difficile stima.

Il parametro p_{MS} è invece strettamente connesso alla dotazione impiantistica.

Da quanto sopra appare evidente che solo una concomitanza di errori e disfunzioni operative può dar luogo ad una concatenazione incontrollata di eventi pericolosi.

La frequenza di accadimento dell'effetto domino sarà quindi pari a:

$$W_D = W_e * P_D * p_{MD}$$

dove

W_D = frequenza di accadimento dell'effetto domino

W_e = frequenza di accadimento dell'incendio desunto dall'albero degli eventi del Top

P_D = probabilità di propagazione domino in presenza dei soli sistemi fissi

p_{MD} = probabilità di mancata protezione da effetto domino

Il valore W_e è riportato negli alberi degli eventi mentre il valore P_D è calcolato dal programma DOM_INC.

METODO PER IL CALCOLO DEGLI EFFETTI DOMINO GENERATI DA ONDA DI PRESSIONE CONSEGUENTE AD ESPLOSIONE

Vulnerabilità delle strutture

Studi sugli effetti domino provocati da cedimenti di componenti di impianto a seguito di una esplosione iniziale sono stati condotti sia in ambito militare (vulnerabilità delle raffinerie ad un attacco convenzionale o nucleare) che in ambito civile (in particolare dopo il famoso incidente di Flixborough).

La maggior parte degli studi sono focalizzati a determinare il valore di soglia dell'impulso di pressione a seguito del quale è da attendersi il cedimento di un determinato componente di impianto.

Le apparecchiature, investite da un'onda di sovrappressione a seguito di una esplosione, sono soggette ad entità di danneggiamento diverse, secondo la tipologia delle stesse.

Un lavoro di ricerca raffinato è stato condotto dallo Stanford Research Institute (SRI - California -USA) con specifico riferimento ai danni attesi per componenti di raffineria a seguito di sovrappressioni da esplosioni.

La sovrappressione di collasso per una determinata classe di apparecchiature può variare in modo significativo in funzione delle sue specifiche caratteristiche costruttive, di conservazione e di installazione.

Pertanto SRI ha determinato, per ogni classe di apparecchiature, i valori di sovrappressione corrispondenti allo 1% ed al 99% di probabilità di danno.

I valori relativi sono riportati nella pagina seguente.

A titolo di esempio di come gli stessi vadano letti, si consideri ad esempio un forno.

Secondo SRI:

- la sovrappressione di 0.14 kg/cm^2 ha 1% di probabilità di danneggiare gravemente il forno
- la sovrappressione di 0.34 kg/cm^2 ha 99% di probabilità di danneggiare gravemente il forno

In altre parole:

- la probabilità di danno è trascurabile se la sovrappressione è inferiore a 0.14 kg/cm^2
- esiste la quasi certezza di danno se la sovrappressione è superiore a 0.34 kg/cm^2

Classe	Danni Strutturali con probabilità pari all'1% Sovrapressione [bar]	Danni Strutturali con probabilità pari al 50% Sovrapressione [bar]	Danni Strutturali con probabilità pari al 99% Sovrapressione [bar]
Colonna cracking	0.24	0.48	0.82
Colonna estrazione	0.44	0.58	0.82
Colonna frazionamento	0.37	0.44	0.48
Filtro	0.14	0.41	0.82
Forno	0.14	0.24	0.34
Motore elettrico	0.34	0.58	1.36
Piperack	0.24	0.34	0.41
Pompa	0.82	0.95	1.09
Reattore chimico	0.14	0.37	0.61
Rigeneratore	0.20	0.34	0.48
Sala controllo in cemento armato	0.03	0.14	0.24
Scambiatore calore	0.48	0.58	0.65
Serbatoio in pressione verticale	0.82	0.90	0.95
Serbatoio tetto fisso	0.07	0.27	0.44
Serbatoio tetto galleggiante	0.20	0.51	1.36
Sfera in pressione	0.54	0.65	0.95
Sigaro in pressione	0.41	0.51	0.61
Torre di raffreddamento	0.03	0.14	0.24
Trasformatore elettrico	0.31	0.51	0.68
Turbina a vapore	0.51	0.68	1.36
Valvola regolazione	0.41	0.54	0.68
Ventilatore	0.34	0.51	0.68

Determinazione delle probabilità di danno

Per ottenere dei grafici su cui stimare il danneggiamento dell'apparecchiatura in funzione della sovrappressione esercitata su di essa, si sono utilizzate le funzioni di Probit; tali funzioni sono state ricavate dalla TNO (The Netherlands Organisation of Applied Scientific Research) e riportate sul manuale "Methods for the determination of possibile damage".

Lo studio effettuato dalla TNO riguarda il danneggiamento di edifici a seguito di esplosioni. Sono state considerate 3 classi di danno:

- Danni lievi (Minor damage)
- Danni strutturali (Major structural damage)
- Collasso (Collapse)

DANNI LIEVI

La funzione di probit relativa ai danni lievi è la seguente:

$$Pr = 5 - 0.26 * \ln (V)$$

dove $V = \text{variabile} = (4600/P_S)^{3.9} + (110/i_S)^{5.0}$

e dove: $P_S = \text{Side-on peak overpressure} \quad [\text{Pa}]$

$i_S = \text{Positive impulse of the side-on blast}$

$$i_S = \frac{1}{2} * P_S * t_P \quad [\text{Pa*s}]$$

con $t_P = 0.5 \text{ s} = \text{Duration of the positive phase}$

DANNI STRUTTURALI

La funzione di probit relativa ai danni strutturali è la seguente:

$$Pr = 5 - 0.26 * \ln (V)$$

$$\text{dove } V = \text{variabile} = (17500/P_S)^{8.4} + (290/i_S)^{9.3}$$

e dove: P_S = Side-on peak overpressure [Pa]

i_S = Positive impulse of the side-on blast

$$i_S = \frac{1}{2} * P_S * t_P \quad [\text{Pa*s}]$$

con $t_P = 0.5 \text{ s}$ = Duration of the positive phase

COLLASSO

La funzione di probit relativa al collasso è la seguente:

$$Pr = 5 - 0.22 * \ln (V)$$

$$\text{dove } V = \text{variabile} = (40000/P_S)^{7.4} + (460/i_S)^{11.3}$$

e dove: P_S = Side-on peak overpressure [Pa]

i_S = Positive impulse of the side-on blast

$$i_S = \frac{1}{2} * P_S * t_P \quad [\text{Pa*s}]$$

con $t_P = 0.5 \text{ s}$ = Duration of the positive phase

Quindi per ogni tipologia di danno la funzione di probit ha una equazione di tal genere:

$$Pr = 5 - \beta * \ln (V)$$

$$\text{dove } V = (P'S/PS)^{\alpha_1} + (i'S/iS)^{\alpha_2}$$

dove $\beta = 0.26$ per danni lievi e strutturali

$\beta = 0.22$ per collasso

e dove α_1 e α_2 hanno i seguenti valori:

Tipologia di danno	α_1	α_2
Lieve	3.9	5.0
Strutturale	8.4	9.3
Collasso	7.4	11.3

Quindi lo scopo è riuscire ad utilizzare queste funzioni per il danneggiamento delle apparecchiature.

Dalla tabella IV - 1 "Relationship between probabilities and probità" in Annex IV del manuale della TNO, si leggono i legami tra le probabilità di danneggiamento e il valore di Pr; in particolare, per si ricavano le seguenti corrispondenze:

- Probabilità = 1% >>> Pr = 2.67
- Probabilità = 25% >>> Pr = 4.33
- Probabilità = 50% >>> Pr = 5.00
- Probabilità = 75% >>> Pr = 5.67
- Probabilità = 99% >>> Pr = 8.09

Lasciando invariati β , α_1 e α_2 , si cercherà di trovare i valori di P's e i's per ciascuna tipologia di apparecchiatura.

Per far ciò si utilizzano i dati ricavati dallo Stanford Research Institute, ovvero:

- Si associa l'1% di danni strutturali (dati SRI) al 50% di danni lievi
- Si associa il 50% di danni strutturali (dati SRI) al 50% di danni strutturali
- Si associa il 99% di danni strutturali (dati SRI) al 50% di collasso

Quindi conoscendo le probabilità pari al 50% di danneggiamento per le 3 classi di danno, e sapendo che, per il 50% di danneggiamento $Pr = 5.00$, utilizzando le seguenti formule:

$$Pr = 5 - \beta * \ln (V)$$

$$V = (P'_s/P_s)^{\alpha_1} + (i'_s/i_s)^{\alpha_2}$$

Si ricavano, per ciascuna tipologia di apparecchiatura e per ciascuna classe di danno, i valori di P'_s e i'_s ; tali valori sono mostrati nella tabella posta nella pagina seguente.

APPARECCHIATURA	DANNI LIEVI		DANNI STRUTTURALI		COLLASSO	
	P's	I's	P's	I's	P's	I's
Sala controllo C.A.	2565	641	12939	3235	22260	5565
Torre di raffreddamento	2565	641	12939	3235	22260	5565
Serbatoi a tetto fisso	5985	1496	24953	6238	40809	10202
Forno	11969	2992	22183	5546	31535	7884
Reattore chimico	11969	2992	34195	8549	56576	14144
Filtro	11969	2992	37892	9473	76054	19013
Rigeneratore	17101	4275	31426	7857	44520	11130
Serbatoio a tetto galleggiante	17101	4275	47133	11783	126138	31534
Colonna cracking	20518	5130	44365	11091	76054	19013
Piperack	20518	5130	31426	7857	38027	9507
Trasformatore elettrico	26504	6626	47133	11783	63068	15767
Motore elettrico	29071	7268	53603	13401	126138	31534
Ventilatore	29071	7268	47133	11783	63068	15767
Colonna frazionamento	31636	7909	38818	9705	44520	11130
Sigaro in pressione	35057	8764	47133	11783	56576	14144
Valvola di regolazione	35057	8764	49909	12477	63068	15767

APPARECCHIATURA	DANNI LIEVI		DANNI STRUTTURALI		COLLASSO	
	P's	I's	P's	I's	P's	I's
Colonna estrazione	37622	9405	53603	13401	76054	19013
Turbina a vapore	43607	10902	62846	15711	126138	31534
Scambiatore di calore	43607	10902	53603	13401	56576	14144
Sfera in pressione	46173	11543	60074	15019	88109	22027
Serbatoio in pressione verticale	70125	17531	81331	20333	88109	22027
Pompa	70125	17531	87801	21950	101096	25274

Conoscendo quindi i valori di P'_s e i'_s per ciascuna tipologia di apparecchiatura e per ciascuna classe di danno, conoscendo inoltre β , α_1 , α_2 e Pr ricaviamo i valori di sovrappressione P_s , necessari per avere le seguenti probabilità di danno:

- 1%
- 25%
- 50%
- 75%
- 100%

DANNI LIEVI E STRUTTURALI

Per ottenere il valore di sovrappressione necessaria ad avere le probabilità di danno viste prima, si utilizza la seguente formula:

$$Pr = 5 - \beta * \ln (V) \quad \text{con} \quad \beta = 0.26$$

- Per probabilità di danno pari a 1%:

$$2.67 = 5 - 0.26 * \ln (V) \quad \ggg \quad \ln (V) = 8.96$$

$$V = (P'_s/P_s)^{\alpha_1} + (i'_s/i_s)^{\alpha_2} = e^{8.96}$$

- Per probabilità di danno pari al 25%:

$$4.33 = 5 - 0.26 * \ln (V) \quad \ggg \quad \ln (V) = 2.577$$

$$V = (P'_s/P_s)^{\alpha_1} + (i'_s/i_s)^{\alpha_2} = e^{2.577}$$

- Per probabilità di danno pari al 50%:

$$5 = 5 - 0.26 * \ln (V) \quad \ggg \quad \ln (V) = 0$$

$$V = (P'_s/P_s)^{\alpha_1} + (i'_s/i_s)^{\alpha_2} = e^0 = 1$$

- Per probabilità di danno pari al 75%:

$$5.67 = 5 - 0.26 * \ln (V) \quad \ggg \quad \ln (V) = - 2.577$$

$$V = (P'_s/P_s)^{\alpha_1} + (i'_s/i_s)^{\alpha_2} = e^{-2.577}$$

- Per probabilità di danno pari al 99%:

$$8.09 = 5 - 0.26 * \ln (V) \quad \ggg \quad \ln (V) = - 11.885$$

$$V = (P'_s/P_s)^{\alpha_1} + (i'_s/i_s)^{\alpha_2} = e^{-11.885}$$

Quindi, dopo aver trovato il valore di V, è possibile conoscere il valore di P_s (sovrappressione necessaria al danneggiamento dell'apparecchiatura), poiché è noto il valore di tutti gli altri parametri dell'equazione.

COLLASSO

Per ottenere il valore di sovrappressione necessaria ad avere le probabilità di danno viste prima, si ricorre alla seguente formula:

$$\text{Pr} = 5 - \beta * \ln (V) \quad \text{con } \beta = 0.22$$

- Per probabilità di danno pari a 1%:

$$2.67 = 5 - 0.22 * \ln (V) \quad \ggg \quad \ln (V) = 10.59$$

$$V = (P'_s/P_s)^{\alpha_1} + (i'_s/i_s)^{\alpha_2} = e^{10.59}$$

- Per probabilità di danno pari al 25%:

$$4.33 = 5 - 0.22 * \ln (V) \quad \ggg \quad \ln (V) = 3.045$$

$$V = (P'_s/P_s)^{\alpha_1} + (i'_s/i_s)^{\alpha_2} = e^{3.045}$$

- Per probabilità di danno pari al 50%:

$$5 = 5 - 0.22 * \ln (V) \quad \ggg \quad \ln (V) = 0$$

$$V = (P'_s/P_s)^{\alpha_1} + (i'_s/i_s)^{\alpha_2} = e^0 = 1$$

- Per probabilità di danno pari al 75%:

$$5.67 = 5 - 0.22 * \ln (V) \quad \ggg \quad \ln (V) = - 3.045$$

$$V = (P'_s/P_s)^{\alpha_1} + (i'_s/i_s)^{\alpha_2} = e^{-3.045}$$

- Per probabilità di danno pari al 99%:

$$8.09 = 5 - 0.22 * \ln (V) \quad \ggg \quad \ln (V) = - 14.045$$

$$V = (P'_s/P_s)^{\alpha_1} + (i'_s/i_s)^{\alpha_2} = e^{-14.045}$$

Quindi, dopo aver trovato il valore di V , è possibile determinare il valore di P_s (sovrappressione necessaria al danneggiamento dell'apparecchiatura), poiché è noto il valore di tutti gli altri parametri dell'equazione.

Riassumendo:

	DANNI LIEVI	DANNI STRUTTURALI	COLLASSO
TIPOLOGIA DI APPARECCHIATURA	Sovrapressione che comporta una probabilità di danni lievi pari all'1%	Sovrapressione che comporta una probabilità di danni strutturali pari all'1%	Sovrapressione che comporta una probabilità di collasso pari all'1%
	Sovrapressione che comporta una probabilità di danni lievi pari al 25%	Sovrapressione che comporta una probabilità di danni strutturali pari al 25%	Sovrapressione che comporta una probabilità di collasso pari al 25%
	Sovrapressione che comporta una probabilità di danni lievi pari al 50%	Sovrapressione che comporta una probabilità di danni strutturali pari al 50%	Sovrapressione che comporta una probabilità di collasso pari al 50%
	Sovrapressione che comporta una probabilità di danni lievi pari al 75%	Sovrapressione che comporta una probabilità di danni strutturali pari al 75%	Sovrapressione che comporta una probabilità di collasso pari al 75%
	Sovrapressione che comporta una probabilità di danni lievi pari al 99%	Sovrapressione che comporta una probabilità di danni strutturali pari al 99%	Sovrapressione che comporta una probabilità di collasso pari al 99%

A titolo esemplificativo, di seguito si riportano alcuni grafici dove vengono rappresentate, per tipologia di apparecchiatura, le probabilità di danneggiamento (danni lievi, strutturali e collasso), in funzione della sovrappressione esercitata sull'apparecchiatura.

In allegato 6 sono riportate le curve di danno dedotte con il presente metodo

METODO PER IL CALCOLO DEGLI EFFETTI DOMINO GENERATI DELLA PRODUZIONE DI FRAMMENTI CONSEGUENTE AD ESPLOSIONE

Per la determinazione degli effetti domino da esplosione per effetto della produzione di frammenti, occorre innanzi tutto distinguere la tipologia di frammenti considerati nel presente studio; in particolare:

- la creazione di frammenti per esplosioni interne detti frammenti primari (a tale categoria appartiene anche la produzione di frammenti da un edificio per esplosione interna)
- la creazione di frammenti per onde di pressione da parte di soggetti ricettori detti frammenti secondari

I frammenti primari possono essere generati essenzialmente da tre tipologie di eventi:

- produzione di molti frammenti per esplosione interna di una apparecchiatura/contenitore
- decollo dell'intera apparecchiatura/contenitore o di una parte notevole di essa
- espulsione di un frammento da una apparecchiatura/contenitore

I frammenti secondari, invece, sono generati dall'impatto di un frammento primario o di una onda di pressione su una struttura. Come appare ovvio il calcolo del numero, delle dimensioni e della velocità di espulsione dei frammenti secondari è compito arduo.

Il numero e la dimensione dei frammenti è intimamente legata alla tipologia di rottura:

- rottura fragile, grande produzione di frammenti piccoli
- rottura duttile, produzione di frammenti assente o molto ridotta aventi dimensioni anche notevoli

Generalmente negli impianti di processo le rotture sono di tipo duttile (metalli). I frammenti secondari sono invece, generalmente, prodotti da fratture fragili.

Velocità dei frammenti

Velocità iniziale dei frammenti primari

In via teorica le forze che agiscono su un frammento nel caso di un apparecchiatura/contenitore contenente gas sono due (tale approccio rimane valido anche per le esplosioni riguardanti ad esempio muri di separazione):

- la differenza di pressione tra l'interno e l'esterno
- la pressione dinamica

La prima agisce solo nei primi istanti dell'evento e si può trascurare.

Approcci alternativi cercano di stimare la frazione di energia disponibile convertita in energia cinetica (metodo utilizzato per il dimensionamento delle bombe a frammenti) o la conservazione del momento (applicato di solito ai frammenti primari di terzo tipo).

Per il calcolo della velocità iniziale molti sono i criteri, si segnalano i seguenti:

- Moore (basato sulla energia accumulata)
- Munday (basato sulla meccanica dei fluidi)
- Baker (basato sulla meccanica dei fluidi)
- Baum (basato sulla frazione della energia di esplosione che si converte in energia cinetica)

Studi comparativi hanno mostrato come il modello di Moore sia un caso limite mentre gli altri modelli siano sostanzialmente corretti e diano risultati convergenti.

Nel presente studio si utilizzerà la formula di Moore poiché, benché sovrastimi la velocità iniziale (v_i), è di gran lunga la più semplice; la velocità iniziale risulta infatti essere:

$$v_i = (2 \cdot E_f \cdot M_f / M_v)^{1/2}$$

ove

- E_f è l'energia immagazzinata per unità di massa
- M_f è la massa del fluido nell'apparecchiatura/contenitore
- M_v è la massa dell'apparecchiatura/contenitore

Per calcolare E_f si può usare la nota formula di Brode

$$E_f = (P_1 - P_0) \cdot V / ((C_p / C_v - 1) \cdot M_f)$$

ove

- P è la pressione assoluta in kPa
- i pedici 1 e 0 si riferiscono alle condizioni iniziale e atmosferiche
- V è il volume dell'apparecchiatura/contenitore

Velocità in volo dei frammenti primari

Il volo di un frammento sarebbe completamente definito dalle funzioni $x(t)$, $y(t)$ e $z(t)$. Tale trattazione è complessa ed essenzialmente inutile ai fini dell'analisi in oggetto; per il calcolo di tale velocità è sufficiente quindi la seguente formula (Clancey):

$$v(x) = v_i \cdot \exp(-k \cdot a \cdot x / w^{1/3})$$

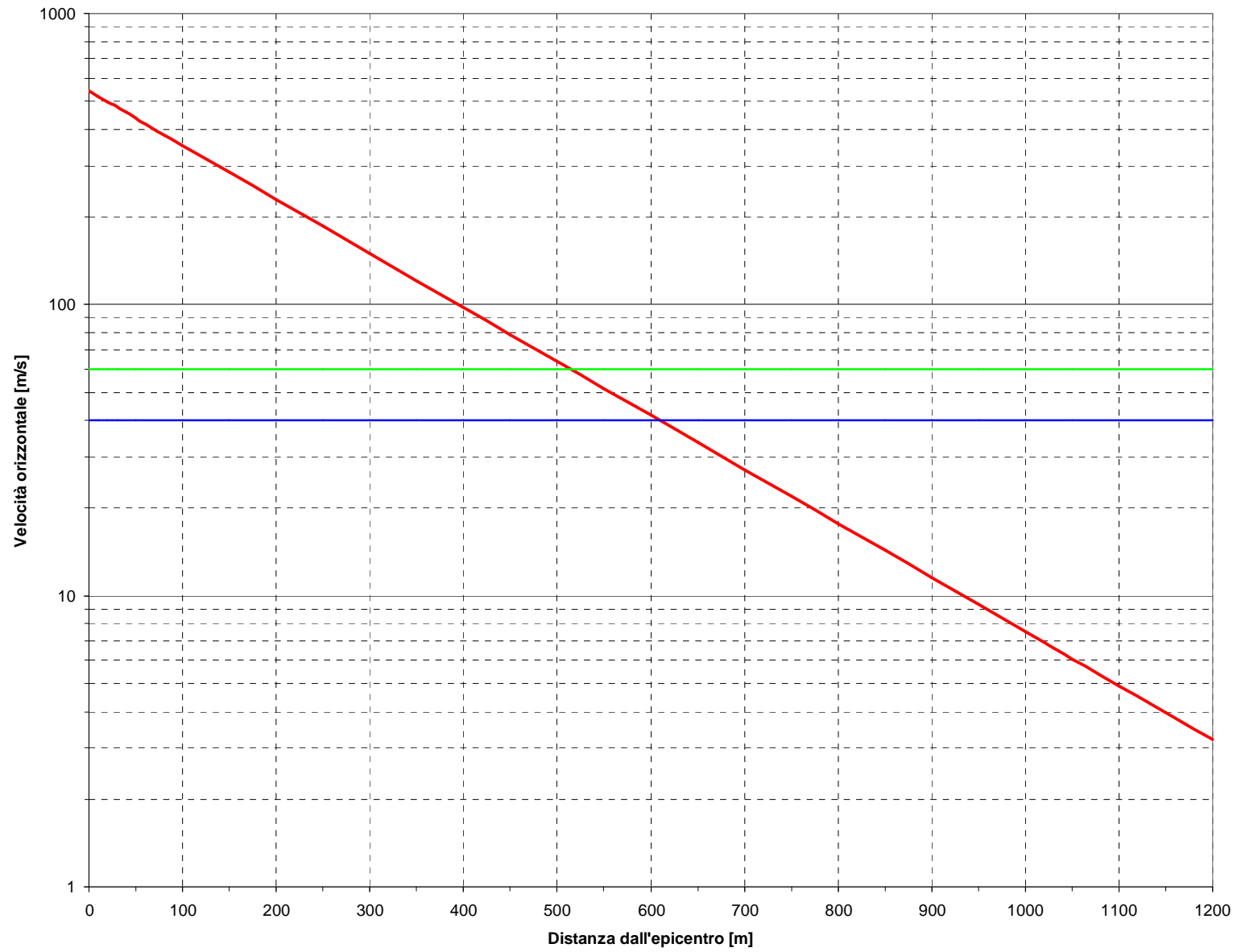
ove

- v_i è la velocità iniziale
- k è una costante che vale 0.002 per velocità supersoniche e 0.0014 per velocità subsoniche
- a è il coefficiente di attrito aerodinamico (empiricamente compreso tra 1.5 e 2)
- x è la distanza dall'origine in cui ci interessa calcolare la velocità
- w è la massa del frammento

Sintetizzando quanto sopra riportato, ricordandosi delle condizioni estremamente conservative al contorno, è possibile dedurre la seguente formula (Bello):

$$v(x) = (2*(P_i - P_0)*V / (C_p / C_v - 1))^{1/2} * \exp(-kax / w^{1/3})$$

Nelle pagine seguenti viene riportato, a titolo di esempio, il grafico $v(x)$ per un frammento di 0.2 kg generato da una esplosione di un vessel da 100 m³ con pressione di progetto 20 bar contenente vapori di idrocarburi.



Danni alle strutture

I danni alle cose da parte di frammenti è intimamente legata alla capacità di penetrazione del frammento.

La capacità di penetrazione di un frammento metallico, avente massa < 1 kg e velocità inferiore a 1000 m/s, è data dalle seguenti formule (Cox, Saville):

$$xp = 1.8 \cdot 10^{-5} \cdot m^{0.4} \cdot v^{1.5} \text{ per il cemento}$$

$$xp = 2.3 \cdot 10^{-5} \cdot m^{0.4} \cdot v^{1.5} \text{ per muri di mattoni}$$

$$xp = 6 \cdot 10^{-5} \cdot m^{0.33} \cdot v \text{ per acciaio}$$

ove

- xp è la profondità di penetrazione in metri
- m è la massa del frammento
- v è la velocità di impatto

In caso di frammenti aventi massa > 1 kg si utilizza invece (Cox-Saville):

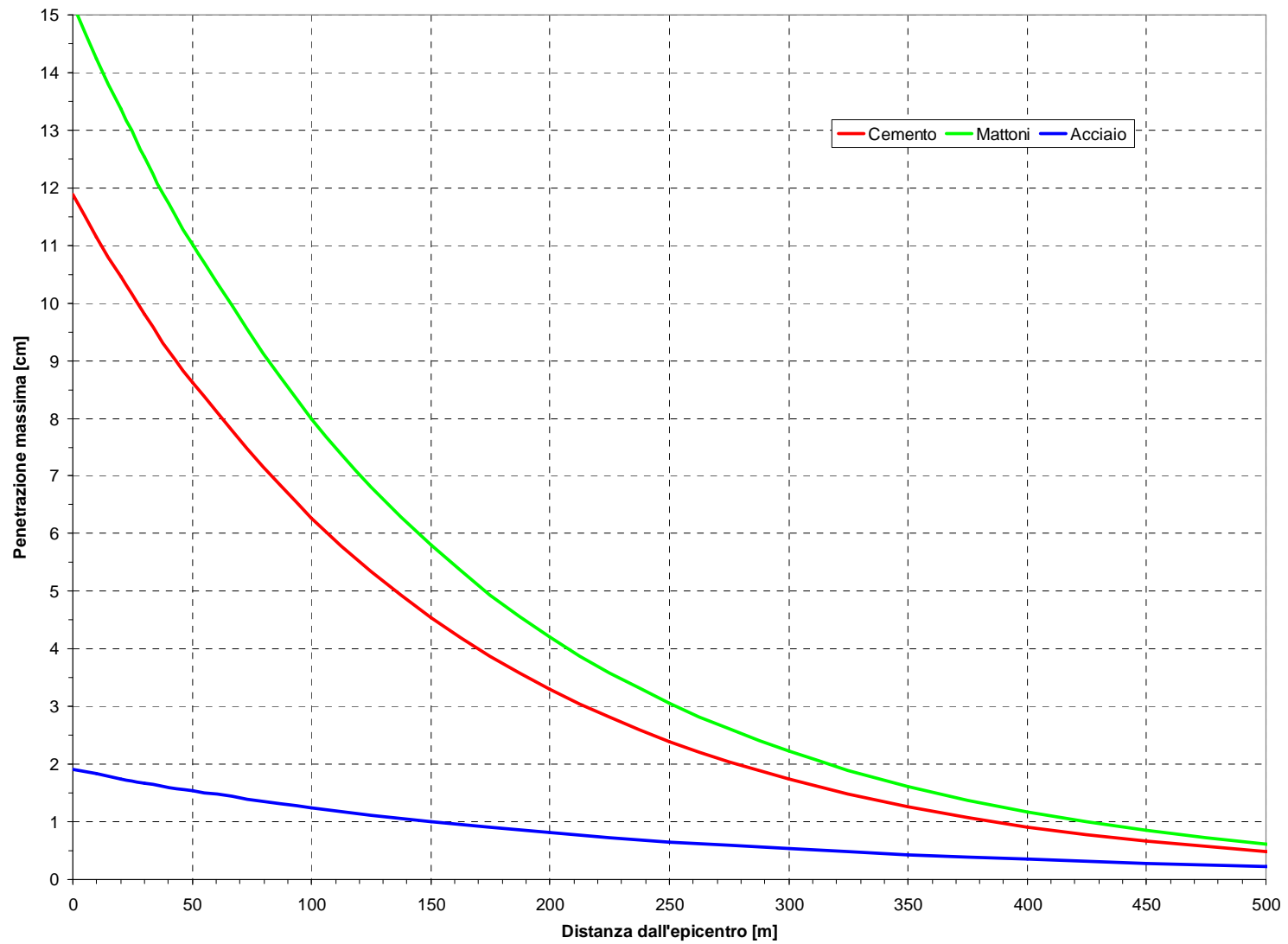
$$xp = C \cdot m / A \cdot \log_{10}(1 + 5 \cdot 10^{-5} \cdot V^2)$$

ove i valori della costante C sono riportati dagli autori e A è la superficie del frammento.

Si tenga presente che in caso di frammenti di notevole dimensione tali approssimazioni sono fallaci: bisogna tenere in conto la risposta strutturale dell'obiettivo. La metodologia più accreditata consiste nell'ipotizzare un impulso triangolare sulla superficie e successivamente utilizzare la teoria dell'analisi strutturale

Di seguito si riporta grafico rappresentante la capacità di penetrazione del frammento di cui all'esempio precedente.

Capacità di penetrazione



Danni alle persone

Tipicamente le persone vengono ferite da frammenti primari (generalmente ferrosi) o secondari (generalmente di vetro).

Nel seguito saranno analizzati singolarmente.

Frammenti secondari di vetro

Per analizzare completamente il fenomeno è necessario definire:

Pressione di rottura

La letteratura riporta numerose soglie di rottura tra cui:

- Brasie – Simpson: 1 kPa (0.01 bar)
- Iverson: 1kPa – 10 kPa
- Glasstone: 3.4 kPa – 6.8 kPa
- Eisenberg, Lynch, Breeding:
- Probabilità 1%: 1.7 kPa
- Probabilità 90%: 6.2 kPa
- Eskimo II e Eskimo III
- Pannello 1.14 x 1.14: 4.83 kPa
- Pannello 0.86 x 1.22: 5.93 kPa
- Normativa italiana: 3 kPa

La rottura dei vetri è funzione sia delle dimensioni dello stesso sia dello spessore; Gilbert ha proposto la seguente formula:

$$P_{br} = 132000*s/A + 5430$$

ove

P_{br} è la pressione di rottura del vetro

s è lo spessore del vetro

A è la superficie del vetro

Tale equazione è stata validata dagli esperimenti di Marshall, Harris e Moppett.

Caratteristiche dei frammenti

Un frammento è caratterizzato da:

- Area media della superficie frontale
- Massa media

Fletcher, Richmond e Yelverton hanno fornito le seguenti equazioni:

$$\ln (A*50) = 4.2643 - (12.5 + 0.00343 p_e^2)^{1/2}$$

$$m_{50} = A*_{50}*p_{gl}*s/10^4$$

ove

A^*_{50} è l'area media in cm^2

p_e è la pressione massima efficace in kPa

m_{50} è la massa media del frammento

ρ_{gl} è la densità del vetro

s è lo spessore del vetro

L'area A^*_{50} non è l'area di impatto infatti il frammento volando può presentare una faccia diversa da quella di distacco.

Per tenere in conto questo fatto si utilizza la seguente formula:

$$A_{mp} = s \cdot (2 \cdot A^*_{50})^{1/2}$$

ove

A_{mp} è l'area media all'impatto

A^*_{50} è l'area media in m^2

s è lo spessore del frammento

Velocità dei frammenti

Fletcher, Richmond e Yelverton hanno identificato la seguente formula:

$$v^*_{50} = v_{50} / (0.833 + 0.04465 \cdot (s/100 - 0.0762)^{-0.928})$$

$$\ln v^*_{50} = 1.5241 + 0.55 \cdot \ln p_e$$

ove

v_{50}^* è una velocità scalata per comodità di espressione

v_{50} è la velocità media

s è lo spessore del vetro

p_e è la pressione massima efficace in kPa

Densità spaziale dei frammenti

Sempre Fletcher, Richmond e Yelverton forniscono la seguente formula:

$$\xi'_{sd} = 30.6 * \xi_{sd} + 22.28$$

$$\ln \xi'_{sd} = 3.1037 + 0.05857 * p_e$$

ove

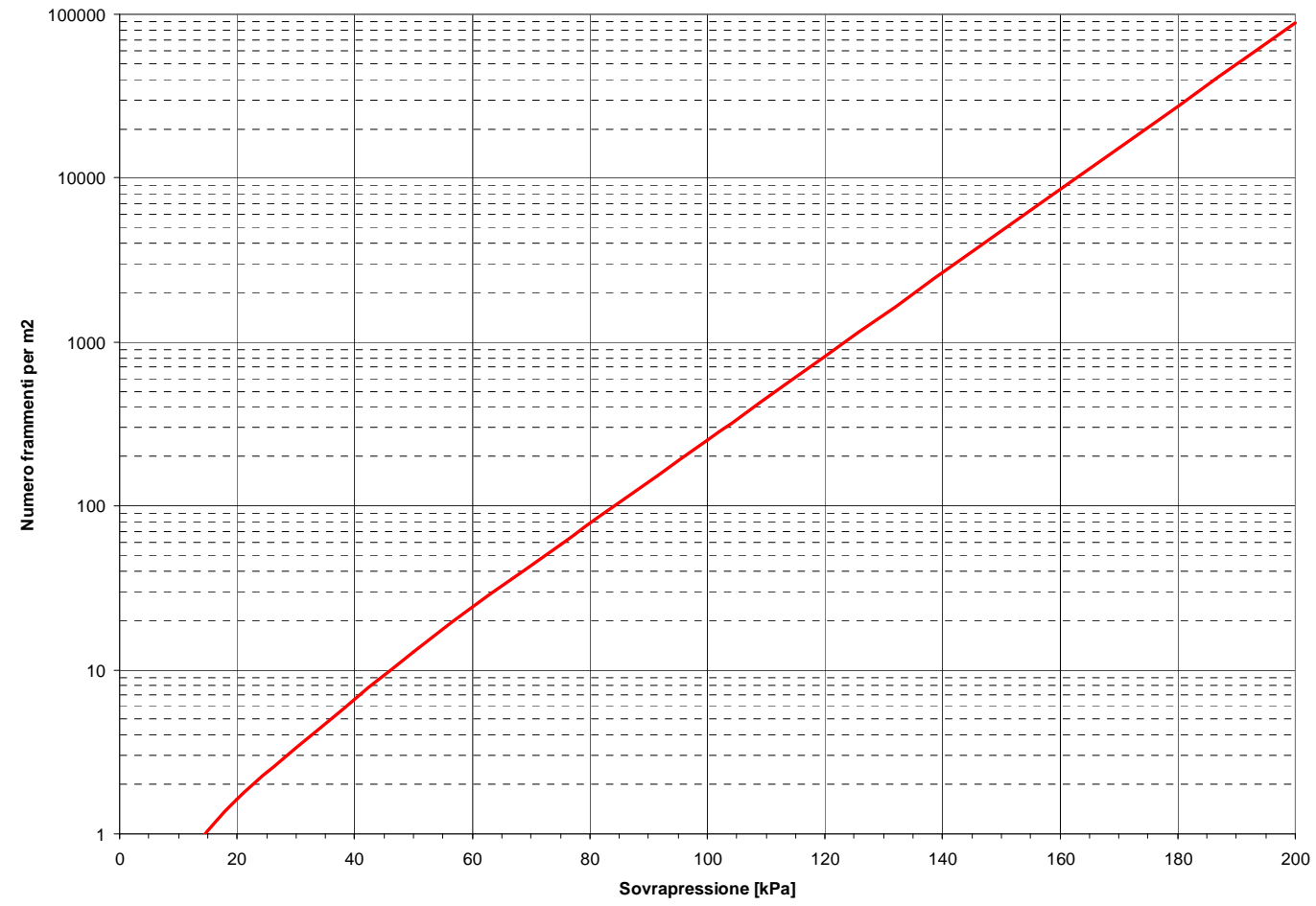
ξ'_{sd} è una densità scalata per comodità d'espressione

ξ_{sd} è la densità dei frammenti in frammenti/m²

p_e è la pressione massima efficace in kPa

Di seguito è riportato un grafico che in funzione della pressione massima efficace riporta il numero di frammenti prodotti per m² di lastra di vetro.

Numero di frammenti prodotti



Distanza percorsa

Gli studi di Marshall, Harris e Moppett hanno fornito dei grafici da cui ricavare la distanza percorsa.

Velocità all'impatto

Il calcolo della velocità all'impatto è complessa. Eisenberg, Lynch e Breeding hanno fornito la seguente:

$$v_i = C_D \cdot A \cdot J / m$$

ove

v_i è la velocità di impatto

C_D è il coefficiente di resistenza

J è l'impulso

m è la massa del frammenti

Soglie di danno

Per quanto riguarda le soglie di danno si riportano di seguito le indicazioni fornite da US Department of Army (1969).

Tipo di ferita	Sovrapressione [kPa]	Velocità d'impatto	Impulso
Lacerazione	07-14	15	512
Limite ferite	14-21	30	1024
50% ferite	28-35	55	1877
100% ferite	49-57	90	3071

dove:

- Lacerazione significa ferita della epidermide superficiale
- Limite ferite è la soglia oltre la quale si possono manifestare ferite importanti
- 50% ferite significa che si hanno il 50% di probabilità di riportare ferite importanti
- 100% ferite significa che si hanno il 100% di probabilità di riportare ferite importanti
- Velocità in m/s, impulsi in Pa*s, frammenti da 0.01 kg

Sperrazzo e Kokinakis invece forniscono una formula per il calcolo della velocità d'impatto necessaria a produrre ferite significative nel 50% dei soggetti esposti:

$$V_{50} = 22.03 + 1247.1 \cdot A/m \quad \text{con i seguenti vincoli: } A/m < 0.09 \text{ e } m \leq 0.015$$

ove

V_{50} è la velocità d'impatto con 50% di ferite

A è la superficie di impatto del frammento

m è la massa del frammento

Il secondo report della ACMH (Advisory Committee on major hazards UK) riporta riflessioni estremamente significative:

- Il rischio da frammenti di vetro è trascurabile se la sovrappressione sul vetro è inferiore a 4 kPa
- Le velocità dei frammenti di vetro sono generalmente molto modeste (di solito non si rompono neppure tutti i vetri di un edificio)
- La capacità di penetrazione dei frammenti è molto ridotta: su 90 prove sperimentali, in un solo caso (sovrappressione 4 kPa, impulso 1000 Pa*s) si è riusciti ad ottenere una capacità pari a 1 cm.
- La maggior parte della pelle è a sua volta coperta di altri tessuti pertanto la probabilità netta di penetrazione è ulteriormente ridotta.

Frammenti metallici (primari)

Indicazioni sulle velocità sono già state fornite nella prima parte del presente studio e pertanto non saranno ripresentate.

In questo settore la trattazione è complicata dalla presenza quasi esclusiva di testi militari.

Soglie di danno

Il criterio utilizzato per la definizione delle soglie di danno utilizzato è quello messo a punto da Gilbert, Lees e Scilly.

Dapprima si definiscono quattro diverse gravità di ferite (K, S, M, T) e le parti del corpo che si studieranno (testa e collo, torace, addome, arti).

Si introduce un fattore causativo X dato da $X = m \cdot v^2 / A$ ove A è l'area di impatto del frammento, m la sua massa e v la sua velocità.

Successivamente si è stabilito che:

$X > 3 \cdot 10^5 \text{ J/m}^2$, penetrazione nella pelle

$X > 3.6 \cdot 10^5 \text{ J/m}^2$, perforazione della pelle

La probabilità di perforazione è stata definita come:

$P(\text{Pskin}) = 1 / (1 + \exp(-(a + b \cdot m \cdot v^2 / A)))$ ove i simboli sono i soliti ed a e b sono costanti così definite:

- Pelle nuda: $a = -28.42$, $b = 2.94$
- Uniforme a due strati: $a = -49.47$, $b = 4.62$
- Uniforme a sei strati: $a = -50.63$, $b = 4.51$

Inserendo i rapporti tra superficie delle varie parti del corpo e quella totale della pelle umana si ottengono i seguenti risultati:

- Testa e collo: 0.12
- Torace: 0.11
- Addome: 0.16
- Arti superiori: 0.22
- Arti inferiori: 0.39

e riducendo X di 0.36 MJ/m^2 necessaria per perforare la pelle, possiamo ottenere i valori di cui alla pagina seguente.

- Probabilità di perforazione
 - Testa: probit
 - Torace: probit
 - Addome: 0.84
 - Arti superiori: 0.467
 - Arti inferiori: 0.467
- Probabilità di morte per perforazione
 - Testa: 0.8
 - Torace: 0.75
 - Addome: 0.75
 - Arti superiori: 0.07
 - Arti inferiori: 0.15

METODICA DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE

Scopo del presente capitolo è la definizione della metodica degli interventi di mitigazione del rischio integrato.

Il presente capitolo intende fornire gli elementi oggettivi di valutazione per identificare nel corso delle analisi di rischio i più opportuni interventi di mitigazione sulla base delle caratteristiche proprie del sito.

Tipologie di interventi di mitigazione

Nel seguito si è fatto riferimento alle seguenti definizioni in accordo con la documentazione PRIM:

- Interventi di “medio-lungo” periodo (nel seguito semplicemente “lungo periodo”) volte a prevenire il rischio mediante azioni strutturali e non strutturali, tali da ridurre e/o mitigare le diverse componenti del rischio stesso
- Interventi di “breve” periodo che mirano a costruire efficaci piani di emergenza che consentano di affrontare un’eventuale crisi nel modo migliore possibile

Identificazione delle tipologie di interventi mitigativi

Si sono identificate le seguenti tipologie di interventi rispetto alle varie sorgenti di rischio.

Sorgente	Breve termine	Medio-lungo termine
Aziende RIR - Incidenti	Istruttoria RdS ad alta priorità Preparazione ERIR Aggiornamento PEE Sistemi di segnalazione dell'emergenza	Interventi impiantistici Esercitazioni PEE Pianificazione urbanistica Interventi infrastrutturali Costituzione Gruppo di VVF Volontari Costituzione Gruppi volontari di protezione civile Incentivi per certificazione SGS
Aziende AIAP - Incidenti	Aggiornamento PEE Sistemi di segnalazione dell'emergenza	Interventi impiantistici Esercitazioni PEE Pianificazione urbanistica Interventi infrastrutturali Costituzione Gruppo di VVF Volontari Costituzione Gruppi volontari di protezione civile
Infortuni sul lavoro	Verifiche ARPA ad alta priorità	Incentivi per certificazione OSHAS18001 Realizzazione pronto soccorso specializzato

Sorgente	Breve termine	Medio-lungo termine
Trasporto ADR /RID	Interventi tesi al rispetto del codice della strada Collaborazione con Treni Italia Cargo (e altri gestori) Aggiornamento PEE Sistemi di segnalazione dell'emergenza	Revisione del piano viario Esercitazioni PEE Costituzione Gruppo di VVF Volontari Costituzione Gruppi volontari di protezione civile
Idrogeologico	Aggiornamento PEE Sistemi di segnalazione dell'emergenza	Verifica e manutenzione opere esistenti Interventi ingegneristici di mitigazione Esercitazioni PEE
Ceraunico	Cartellonistica Norme di comportamento	Formazione della popolazione sui comportamenti da tenere in caso di temporale Interventi ingegneristici di mitigazione
Sismico	Aggiornamento PEE	Introduzione requisiti minimi fabbricati Formazione alla popolazione Esercitazioni PEE
Incendi boschivi	Cartellonistica Aggiornamento PEE Housekeeping dell'area boschiva Sistemi di segnalazione dell'emergenza	Creazione di fasce di rispetto Interventi sulla flora boschiva Realizzazione di sistemi di allerta Interventi ingegneristici per ARIR e AIAP limitrofe Esercitazioni PEE
Incidenti stradali	Interventi tesi al rispetto del codice della strada	Revisione del piano viario

Sorgente	Breve termine	Medio-lungo termine
ARIR-ARIR	<p>Rapporto di sicurezza congiunto</p> <p>Piano di emergenza interno congiunto</p> <p>Aggiornamento PEE</p> <p>Sistemi congiunti di segnalazione dell'emergenza</p>	<p>Interventi impiantistici</p> <p>Esercitazioni PEE</p> <p>Pianificazione urbanistica</p> <p>Interventi infrastrutturali</p> <p>Costituzione congiunta di squadre di primo intervento</p> <p>Costituzione gruppi di VVF volontari</p> <p>Costituzione Gruppi volontari di protezione civile</p> <p>Incentivi per costituzione di un SGS congiunto</p>
ARIR-AIAP	<p>Aggiornamento Rapporto di sicurezza</p> <p>Piano di emergenza interno congiunto</p> <p>Aggiornamento PEE</p> <p>Sistemi congiunti di segnalazione dell'emergenza</p>	<p>Interventi impiantistici</p> <p>Esercitazioni PEE</p> <p>Pianificazione urbanistica</p> <p>Interventi infrastrutturali</p> <p>Costituzione congiunta di squadre di primo intervento</p> <p>Costituzione Gruppo di VVF Volontari</p> <p>Costituzione Gruppi volontari di protezione civile</p>

Sorgente	Breve termine	Medio-lungo termine
ARIR – Boschivo	Housekeeping delle aree prospicienti Limitazione utilizzo dell'area boschiva	Interventi impiantistici Esercitazioni PEE Interventi infrastrutturali Creazione di fasce di rispetto Interventi sulla flora boschiva Realizzazione di sistemi di allerta Costituzione gruppi di VVF volontari Costituzione Gruppi volontari di protezione civile
AIAP-AIAP	Piano di emergenza interno congiunto Aggiornamento PEE Sistemi congiunti di segnalazione dell'emergenza	Interventi impiantistici Esercitazioni PEE Interventi infrastrutturali Costituzione congiunta di squadre di primo intervento Costituzione Gruppo di VVF Volontari Costituzione Gruppi volontari di protezione civile
AIAP – Boschivo	Housekeeping delle aree prospicienti Limitazione utilizzo dell'area boschiva	Interventi impiantistici Esercitazioni PEE Interventi infrastrutturali Creazione di fasce di rispetto Interventi sulla flora boschiva Realizzazione di sistemi di allerta Costituzione gruppi di VVF volontari Costituzione Gruppi volontari di protezione civile

Sorgente	Breve termine	Medio-lungo termine
Trasporto – ARIR	Aggiornamento Rapporto di sicurezza Aggiornamento PEE Sistemi congiunti di segnalazione dell'emergenza	Revisione del piano viario Esercitazioni PEE Interventi impiantistici Interventi infrastrutturali Costituzione Gruppo di VVF Volontari Costituzione Gruppi volontari di protezione civile
Trasporto – AIAP	Aggiornamento PEE Sistemi congiunti di segnalazione dell'emergenza	Revisione del piano viario Esercitazioni PEE Interventi impiantistici Interventi infrastrutturali Costituzione Gruppo di VVF Volontari Costituzione Gruppi volontari di protezione civile
Trasporto - Boschivo	Housekeeping delle aree prospicienti Limitazione utilizzo dell'area boschiva	Revisione del piano viario Esercitazioni PEE Interventi infrastrutturali Creazione di fasce di rispetto Interventi sulla flora boschiva Realizzazione di sistemi di allerta Costituzione gruppi di VVF volontari Costituzione Gruppi volontari di protezione civile

Sorgente	Breve termine	Medio-lungo termine
Idrogeologico - ARIR	Aggiornamento Rapporto di Sicurezza Aggiornamento Piano di emergenza interno Aggiornamento PEE	Verifica e manutenzione opere esistenti Interventi ingegneristici di mitigazione Esercitazioni PEE Interventi impiantistici Interventi infrastrutturali Costituzione gruppi di VVF volontari Costituzione Gruppi volontari di protezione civile
Idrogeologico - AIAP	Aggiornamento Piano di emergenza interno Aggiornamento PEE	Verifica e manutenzione opere esistenti Interventi ingegneristici di mitigazione Esercitazioni PEE Interventi impiantistici Interventi infrastrutturali Costituzione gruppi di VVF volontari Costituzione Gruppi volontari di protezione civile
Boschivo - ARIR	Housekeeping delle aree prospicienti Limitazione utilizzo dell'area boschiva	Interventi impiantistici Esercitazioni PEE Interventi infrastrutturali Creazione di fasce di rispetto Interventi sulla flora boschiva Realizzazione di sistemi di allerta Costituzione gruppi di VVF volontari Costituzione Gruppi volontari di protezione civile

Sorgente	Breve termine	Medio-lungo termine
Boschivo - AIAP	Housekeeping delle aree prospicienti Limitazione utilizzo dell'area boschiva	Interventi impiantistici Esercitazioni PEE Interventi infrastrutturali Creazione di fasce di rispetto Interventi sulla flora boschiva Realizzazione di sistemi di allerta Costituzione gruppi di VVF volontari Costituzione Gruppi volontari di protezione civile

Assegnazione degli interventi mitigativi

Analisi di primo livello

Al termine dell'analisi di primo livello si è ottenuto un valore di indice di rischio integrato espresso in colpiti/anno per ogni cella dell'area sotto studio, inoltre è stato possibile investigare quali componenti del rischio siano prevalenti per ogni cella indipendentemente dal valore dell'indice.

Questi risultati ci permetteranno di identificare e comunicare a tutti gli enti territoriali coinvolti verso quali interventi mitigativi a breve e lungo periodo si devono indirizzare secondo la tabella sopra riportata.

La fornitura degli algoritmi di calcolo permetterà inoltre la valutazione da parte degli enti preposti del miglioramento atteso per ogni intervento mitigativo.

Analisi di secondo livello

Oltre agli elementi utili per la identificazione degli interventi migliorativi desunti dall'analisi di primo livello, in questa fase si è proceduto a:

- Identificare le sorgenti di rischio primarie nella composizione del rischio
- Identificare gli interventi mitigativi a breve e a medio-lungo termine applicabili
- Fornire gli elementi necessari per la redazione del Piano di Emergenza Esterna