

AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL MARE ADRIATICO CENTRALE



DOCUMENTO DI PROGRAMMAZIONE STRATEGICA DI SISTEMA

ALLEGATO 3 - ANALISI DI RISCHIO D'AREA (vol.1).

METODOLOGIA DELLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO D'AREA E CRITERI DI CLASSIFICAZIONE DI
COMPATIBILITÀ TERRITORIALE (D.M. 09.05.2001)

Giugno 2023

Adottato dal Comitato di Gestione con Delibera N.46 del 29.06.2023

Per la Direzione Tecnica

RUP Ing. Gianluca PELLEGRINI ; DEC Ing. Laura ROTOLONI

Per il supporto tecnico specialistico il Raggruppamento Temporaneo di Professionisti

MODIMAR – ACQUATECNO – SEACON – ENVIRONMENT PARK- MIGLIACCIO - FRANCALANZA - GEOLOGI ASSOCIATI FANTUCCI E STOCCHI

1	OGGETTO	2
2	VALUTAZIONE DEL RISCHIO D'AREA	2
2.1	Previsioni di danno alle persone	3
2.1.1	Funzioni di Probit per i danni prodotti da irraggiamento	3
2.1.2	Funzioni di Probit per i danni da vapori di metanolo	4
2.1.3	Vulnerabilità dei soggetti esposti.....	4
2.2	Calcolo del Rischio Individuale e Locale	5
2.3	Calcolo del Rischio Sociale.....	6
2.4	Criterio di accettabilità	7
2.5	Valutazione della compatibilità territoriale	7

1 OGGETTO

Il presente allegato richiama la metodologia adottata nelle valutazioni del rischio d'area e i criteri di classificazione della compatibilità territoriale in accordo con il D.M. 09.05.2001.

2 VALUTAZIONE DEL RISCHIO D'AREA

La valutazione del rischio d'area è fondamentalmente basata su metodologie QRA (*Quantitative Risk Assessment*) e si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

- censimento delle sorgenti di rischio dovute alle sostanze pericolose presenti nell'area di studio
- caratterizzazione del territorio con particolare riferimento alla rappresentazione cartografica, ai dati meteorologici, ai dati demografici, alla presenza di centri di vulnerabilità quali scuole, ospedali, stadi, cineteatri, carceri, ecc.
- identificazione dei possibili scenari incidentali originati dalle sostanze pericolose e loro quantificazione in termini di frequenza dell'evento ed estensione dei danni potenziali
- ricomposizione dei rischi generati dalle diverse sorgenti con le relazioni per il calcolo del rischio individuale, del rischio locale e del rischio sociale.

Il *rischio individuale* rappresenta la probabilità che un individuo, presente in un dato punto dello spazio, subisca un determinato danno a seguito dell'evento incidentale.

Il *rischio locale* rappresenta la probabilità che un individuo, presente in modo permanente e senza alcuna possibilità di fuga o di protezione in un dato punto dello spazio, subisca un determinato danno a seguito di un evento indesiderato.

Il rischio individuale dipende quindi non solo dagli effetti e dalla probabilità di occorrenza dell'evento incidentale, ma anche dalla probabilità che l'individuo si trovi effettivamente in un dato punto e dalla sua reale esposizione ai danni dell'evento. Pertanto se il rischio locale dipende solo dalle caratteristiche dell'evento indesiderato (probabilità di accadimento e intensità degli effetti) quello individuale dipende effettiva presenza di individui nell'area di danno. Ne deriva che il rischio individuale sarà sempre inferiore o uguale a quello locale.

Il rischio individuale ed il rischio locale vengono rappresentate con curve di isorischio ognuna con una propria frequenza di presentazione. La comunità tecnico-scientifica internazionale assume come non ragionevolmente credibili gli eventi con frequenza di accadimento inferiore a 10^{-6} eventi/anno; secondo tale criterio le curve di isorischio con frequenza inferiore a 10^{-6} eventi/anno possono ritenersi rappresentative di condizioni di rischio accettabile.

Il *rischio sociale* è definito come il numero di persone che possono essere colpite da un certo danno, considerando il numero di persone effettivamente presenti sul territorio interessato dagli effetti dei possibili scenari incidentali, il loro tempo di stazionamento in punto, la loro localizzazione rispetto alla sorgente di rischio. Il rischio sociale viene solitamente rappresentato utilizzando le cosiddette curve F-N, cioè dei diagrammi che riportano la frequenza attesa, F, che un dato danno interessi più di N persone.

Mentre gli indicatori di rischio locale o individuale sono indicatori puntuali (indicano il livello di rischio associato a una certa posizione sul territorio), il rischio sociale è un indicatore integrale perchè considera il rischio a cui viene esposta l'intera popolazione presente sul territorio.

2.1 Previsioni di danno alle persone

Le previsioni di danno possono essere eseguite in modo deterministico o con modelli statistici.

Le previsioni di danno deterministiche fissano dei livelli di soglia al di sopra dei quali si determina sempre una specifica conseguenza. Ad esempio per sovrappressioni uguali o superiori a 0,02 bar i vetri delle finestre si rompono; per irraggiamenti uguali o superiori a 1,5 kw/m² si hanno delle ustioni.

I modelli statistici di vulnerabilità si basano sulle funzioni di Probit (Probability unit) del tipo:

$$Pr = a + b \ln(x)$$

dove:

- a,b: sono costanti funzioni dello specifico scenario incidentale
- x: è la variabile che descrive l'entità dell'impatto
- Pr: è una misura della percentuale del danno sulle risorse (umane e/o materiali) esposte.

Pr è una variabile casuale a distribuzione gaussiana con valore medio 5 e varianza 1, cioè ad una percentuale del 50% corrisponde un valore di probit Pr=5.

Il legame matematico tra la probabilità di danno P e la variabile di probit Pr è del tipo:

$$P = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{(Pr-5)} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx$$

Il calcolo dell'integrale consente, noto il valore assunto Pr, di ottenere la probabilità di danno in quello stesso punto.

Nel RISP, che costituisce la fonte dei dati incidentali utilizzati nel presente studio, per la determinazione del danno di riferimento (gravi danni irreversibili a persone) si sono utilizzate le funzioni di Probit relativamente all'irraggiamento (pool fire e jet fire) e alle sovrappressioni (esplosioni); mentre per i flash fire è stato utilizzato un metodo deterministico (limite inferiore di infiammabilità).

2.1.1 Funzioni di Probit per i danni prodotti da irraggiamento

La funzione di probit utilizzata per l'irraggiamento e per l'esplosione è del tipo:

$$Pr = a + b \ln\left(D^n \frac{t}{m}\right)$$

Dove: Pr è il valore della funzione, D è l'effetto fisico considerato (dose), t è il tempo di esposizione¹ a, b, n ed m sono coefficienti della funzione specifica.

La dose è espressa come:

- kW/m² di irraggiamento per gli incendi
- bar per le sovrappressioni causate da esplosioni

Il tempo di esposizione è dato da un valore di riferimento che tiene conto della possibilità di fuga dei soggetti esposti, o, se inferiore, dalla durata del fenomeno. La Tabella seguente mostra i coefficienti di probit per danni gravi utilizzati per i diversi scenari.

Scenario	a	b	n	m	t
Incendio	-14,9	2,56	1,33	10000	300s
Esplosione	-23,8	0,92	1	1	---

Tabella 2-1: coefficienti di probit per incendi ed esplosioni

2.1.2 Funzioni di Probit per i danni da vapori di metanolo

Le funzioni di Probit relative ai danni per inalazione di vapore di metanolo non sono riportate in letteratura perché la tossicità del metanolo si evidenzia in caso di ingestione di quantità notevoli di composto liquido.

Il danno che possono subire persone che inalano aria contenente basse concentrazioni di metanolo (<1000 ppm) si può considerare statisticamente non rilevante.

2.1.3 Vulnerabilità dei soggetti esposti

Nel presente studio, coerentemente con le valutazioni del RISP, sono stati considerati solo i danni gravi irreversibili subiti dalle persone.

Avendo determinato su tutta la zona di interesse il valore delle funzioni "effetti" $E_{i,S,C}(D, \theta_V)$ di uno scenario incidentale S generato da un Top Event T (rilascio accidentale di materia/energia), che rappresentano sia la pressione (P-Ps) sia l'irraggiamento I sia la dispersione di vapori tossici, è possibile calcolare in ogni punto Q_L , attraverso la funzione di *probit*, qual è la probabilità che un individuo subisca quel danno, nelle condizioni meteo C, con velocità del vento V. Questo valore globale viene individuato con :

$$f_E = f(E_{i,S,C,V}(D, \theta_V))$$

La vulnerabilità di un individuo che è presente costantemente nel punto Q_L , senza particolari protezioni, dati un certo evento iniziatore (Top Event T), la categoria di stabilità C e noti la distanza D tra la sorgente Q_S ed il punto Q_L , e l'angolo θ_V formato tra la direzione secondo cui spira il vento e la congiungente Q_L -S, è data da:

$$V_{i,T,C,V}(D, \theta_V) = f_E \cdot f_{Si} = f(E_{i,T,C}(D, \theta_V)) p_{Si} \cdot f_C \cdot f_V$$

dove:

¹ L'unità di misura del tempo di esposizione dipende dai coefficienti utilizzati nella probit; per l'irraggiamento il tempo è in secondi.

- f_{S_i} è la probabilità di accadimento del lo scenario i -esimo riferito una generica velocità del vento ed una generica categoria di stabilità meteo
- p_{S_i} è la probabilità di accadimento del lo scenario incidentale i -esimo
- f_C è la probabilità della categoria di stabilità meteo
- f_V è la probabilità della velocità del vento

2.2 Calcolo del Rischio Individuale e Locale

Nel caso oggetto di studio è stato considerato il rischio di danni gravi irreversibili alle persone generati dagli eventi iniziatori i .

Sia f_i la frequenza con la quale si prevede che accada il generico Top i originato dalla sorgente S ; il Rischio Individuale Ri^S , cioè quello riguardante una persona che ha probabilità q_i di trovarsi in posizione Q_L , esponendosi allo scenario S_i provocato dal Top, distante D da S , essendo θ_V l'angolo formato dalla congiungente Q_L - S con la direzione V di provenienza del vento e la condizione meteo C , è dato da:

$$Ri_{i,S_i,C,V}^S = f_i q_i V_{i,S_i,C,V}(D, \theta_V) = f_i \cdot q_i \cdot f(E_{i,S_i,C,V}(D, \theta_V)) \cdot p_{S_i} \cdot f_C \cdot f_V$$

Per tutte le 8 direzioni del vento considerate, si ha:

$$Ri_{i,S_i,C}^S(Q_L) = \sum_{V=1}^8 Ri_{i,S_i,C,V}^S(Q_L)$$

Per le 2 classi di stabilità considerate, D5 e F2, per i quattro tipi di incidente che provocano danno (UVCE, Pool Fire, Flash Fire, Jet Fire, rilascio di metanolo) e per gli n eventi iniziatori (Top Event) considerati, si ha:

$$Ri^S(Q_L) = \sum_{i=1}^n \sum_{S_i=1}^4 \sum_{V=1}^8 Ri_{i,S_i,C,V}^S(Q_L)$$

Considerando gli n Top Events originati da una sola sorgente, la precedente relazione rappresenta il rischio Individuale complessivo di danni irreversibili per un uomo che si trova nel punto Q_L .

La procedura descritta viene ripetuta per tutti i punti rappresentanti i baricentri delle maglie nelle quali è divisa la zona interessata.

Nel calcolo del Rischio Locale RL^S si assume che la persona esposta al rischio sia permanentemente presente nella posizione Q_L ; si ha pertanto:

$$RL_{i,S_i,C,V}^S = f_i \cdot V_{i,S_i,C,V}(D, \theta_V) = f_i \cdot f(E_{i,S_i,C,V}(D, \theta_V)) \cdot p_{S_i} \cdot f_C \cdot f_V$$

e, per tutte le 8 direzioni del vento considerate:

$$RL_{i,S_i,C}^S(Q_L) = \sum_{V=1}^8 Ri_{i,S_i,C,V}^S(Q_L)$$

e, per le 2 classi di stabilità considerate, D5 e F2, per i quattro tipi di incidente che provocano danno (UVCE, Pool Fire, Flash Fire, Jet Fire, rilascio di metanolo) e per gli n eventi iniziatori (Top Event) considerati:

$$RL^S(Q_L) = \sum_{i=1}^n \sum_{Si=1}^4 \sum_{V=1}^8 Ri_{i,S_i,C,V}^S(Q_L)$$

La rappresentazione del rischio locale è stata espressa graficamente mediante curve di isorischio che congiungono punti a ugual rischio.

2.3 Calcolo del Rischio Sociale

Il Rischio Sociale rappresenta la frequenza F con la quale uno scenario incidentale, originato da un certo evento iniziatore, provoca danni gravi irreversibili su un numero N di abitanti equivalenti, definiti come presenza nelle 24 ore della popolazione nell'area considerata senza particolari protezione.

La frequenza di accadimento di un evento incidentale per un punto Q_L di una generica maglia è data da:

$$F_{i,S_i,C,V} = f_i \cdot p_{S_i} \cdot f_c \cdot f_V$$

Per ogni tipologia di scenario, per ogni condizione meteo, per ogni direzione del vento, il numero di persone danneggiate da un incidente i è dato da:

$$N_{i,S_i,C,V}(Q_L) = N(Q_L) \cdot V_{i,S_i,C,V}(Q_L, \theta_V)$$

I Q_L rappresentano i punti baricentri delle maglie in cui è stata suddivisa la zona considerata. $N(Q_L)$ è il numero di abitanti equivalenti presenti in ogni maglia, V è la vulnerabilità.

Il numero totale di persone dell'area che subisce danno in seguito al verificarsi di un generico scenario è dato dalla somma degli abitanti equivalenti estesa a tutte le maglie della zona:

$$N_{i,S_i,C,V} = \sum_{Q_L} N_{i,S_i,C,V}(Q_L)$$

Ogni scenario incidentale sarà allora definito, nell'area considerata, dalla coppia di valori:

$$(F_{i,S_i,C,V}, N_{i,S_i,C,V})$$

dove $F_{i,S_i,C,V}$ è la frequenza (occ/anno) con la quale un numero di persone $N_{i,S_i,C,V}$, distribuite su tutta l'area, sono colpite dall'incidente i che si evolve secondo lo scenario S_i .

Si può costruire una curva cumulativa che riporti in ascissa il numero di persone colpite N con una frequenza F, somma delle frequenze con le quali un numero di persone uguale o maggiore di N è colpito dall'insieme di tutti gli scenari considerati.

La corrispondenza fra numero dei colpiti in tutta l'area e frequenza (cumulata) rappresenta il rischio sociale riferito a tutti gli scenari incidentali: esso può essere considerato un rischio d'area.

2.4 Criterio di accettabilità

Il governo dell'Olanda ha proposto ed il parlamento di quel paese ha approvato un criterio di accettabilità del rischio basato sulle curve di isorischio (rischio locale) e sulle curve F-N (rischio sociale) riferite al caso di popolazione residente colpita in modo irreversibile.

Per il rischio sociale, calcolato attraverso le curve F-N, la valutazione di accettabilità avviene utilizzando le seguenti disequazioni:

$$F \leq 10^{-3} / N^2$$

$$F \leq 10^{-5} / N^2$$

Mentre per il rischio locale la curva di isorischio limite è pari a 10^{-6} eventi / anno.

Nella figura seguente sono riportati i limiti di accettabilità del rischio sociale e locale.

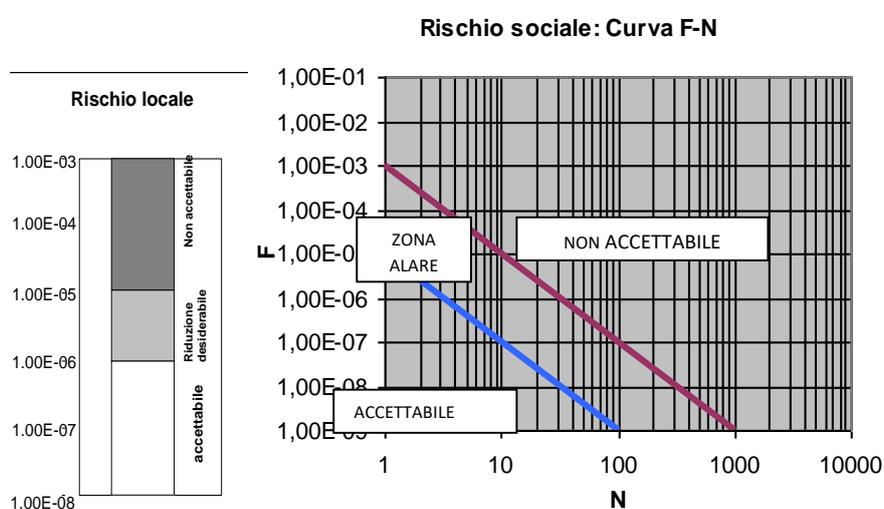


Figura 2-1: Criteri di accettabilità del rischio

2.5 Valutazione della compatibilità territoriale

La valutazione della compatibilità territoriale è stata eseguita in base ai livelli di soglia di danno e le classi di probabilità indicati dal D.M. 9 maggio 2001.

La definizione delle categorie di compatibilità territoriale del Porto di Ancona è descritta nella tabella 2-4 che applica la Tabella 1 del D.M. 9 maggio 2001 alla realtà del porto industriale e petrolifero, introducendo elementi funzionali e di servizio caratteristici delle aree portuali (elementi indicati in grassetto nella tabella).

In base ai criteri di classificazione della Tabella 2-2 e ai dati degli scenari incidentali si costruiscono le curve di isocompatibilità e si sovrappongono alla mappatura del territorio verificando l' idoneità delle destinazioni d'uso previste con le categorie territoriali identificate.

I valori delle frequenze di accadimento e delle distanze di danno, necessari per applicare i criteri della Tabella 2-2, sono quelli degli scenari incidentali descritti nel Rapporto Integrato di Sicurezza del Porto .

Classe di probabilità degli eventi	Categoria di effetti			
	Elevata letalità	Inizio letalità	Lesioni irrever.	Lesioni rever.
$< 10^{-6}$	EF	DEF	CDEF	BCDEF
$10^{-4} - 10^{-6}$	F	EF	DEF	CDEF
$10^{-3} - 10^{-4}$	F	F	EF	DEF
$> 10^{-3}$	F	F	F	EF

Tabella 2-2 categorie territoriali compatibili come da D.M. 9/5/2001 (tab 3b)

Scenario incidentale	Elevata letalità	Inizio letalità	Lesioni irreversibili	Lesioni reversibili	Danni a strutture / effetti domino
Radiazione termica stazionaria (Jet Fire/Pool Fire)	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 fireball	350 kW/m ²	200 kW/m ²	125 kW/m ²	200-800 m
Radiazione termica istantanea (Flash Fire)	LFL	LFL/2			
UVCE (sovrapressione di picco)	0,3 bar	0,14 bar	0,07 bar	0,03 bar	0,3 bar
Rilascio tossico (dose assorbita)	LC50 (30 min, hmn)		IDLH		

Tabella 2-3: valori di soglia dei danni prodotti da incidenti come da D.M. 9/5/2001 (tab 2)

CATEGORIA A	<ul style="list-style-type: none"> • Aree con destinazione prevalentemente residenziale, per le quali l'indice fondiario di edificazione sia superiore a 4,5 m³/m² • Luoghi di concentrazione di persone con limitata capacità di mobilità - ad esempio ospedali, case di cura, ospizi, asili, scuole inferiori, ecc. (oltre 25 posti letto o 100 persone presenti) • Luoghi soggetti ad affollamento rilevante all'aperto - ad esempio mercati stabili o altre destinazioni commerciali, ecc. (oltre 500 persone presenti).
CATEGORIA B	<ul style="list-style-type: none"> • Aree con destinazione prevalentemente residenziale, per le quali l'indice fondiario di edificazione sia compreso tra 4,5 e 1,5 m³/m² • Luoghi di concentrazione di persone con limitata capacità di mobilità - ad esempio ospedali, case di cura, ospizi, asili, scuole inferiori, ecc. (fino a 25 posti letto o 100 persone presenti) • Luoghi soggetti ad affollamento rilevante all'aperto - ad esempio mercati stabili o altre destinazioni commerciali, ecc. (fino a 500 persone presenti) • Luoghi soggetti ad affollamento rilevante al chiuso - ad esempio centri commerciali, terziari e direzionali, per servizi, strutture ricettive, scuole superiori, università, ecc. (oltre 500 persone presenti) • Luoghi soggetti ad affollamento rilevante con limitati periodi di esposizione al rischio - ad esempio luoghi di pubblico spettacolo, destinati ad attività ricreative, sportive, culturali, religiose, ecc. (oltre 100 persone presenti se si tratta di luogo all'aperto, oltre 1000 al chiuso). • Stazioni ferroviarie ed altri nodi di trasporto (movimento passeggeri superiore a 1000 persone/giorno) • Porto Storico - Zona Terminale Crocieristico (Navi, traghetti, aliscafi) • Mandracchio - Zona Polo di Servizi Culturali Amministrativi e Ricreativi: Mole Vanvitelliana, Centro commerciale, Fiera, Mercato ittico
CATEGORIA C	<ul style="list-style-type: none"> • Aree con destinazione prevalentemente residenziale, per le quali l'indice fondiario di edificazione sia compreso tra 1,5 e 1 m³/m² • Luoghi soggetti ad affollamento rilevante al chiuso - ad esempio centri commerciali, terziari e direzionali, per servizi, strutture ricettive, scuole superiori, università, etc. (fino a 500 persone presenti) • Luoghi soggetti ad affollamento rilevante con limitati periodi di esposizione al rischio - ad esempio luoghi di pubblico spettacolo, destinati ad attività ricreative, sportive, culturali, religiose, ecc. (fino a 100 persone presenti se si tratta di luogo all'aperto, fino a 1000 al chiuso; di qualunque dimensione se la frequentazione è al massimo settimanale) • Stazioni ferroviarie ed altri nodi di trasporto (movimento passeggeri fino a 1000 persone/giorno) • Uffici Autorità Portuale/Polizia di Frontiera/Direzione Marittima / Agenzia delle dogane • Zona Mezzi di servizio (VVFF; marina militare; guardia di finanza; autorità portuale; polizia piloti; ormeggiatori; rimorchiatori)
CATEGORIA D	<ul style="list-style-type: none"> • Aree con destinazione prevalentemente residenziale, per le quali l'indice fondiario di edificazione sia compreso tra 1 e 0,5 m³/m² • Luoghi soggetti ad affollamento rilevante, con frequentazione al massimo mensile - ad esempio fiere, mercatini o altri eventi periodici, cimiteri, etc.
CATEGORIA E	<ul style="list-style-type: none"> • Aree con destinazione prevalentemente residenziale, per le quali l'indice fondiario di edificazione sia inferiore a 0,5 m³/m² • Insediamenti industriali, artigianali, agricoli, e zootecnici • Aree industriali a rischio medio e basso • Aree di deposito in concessione alle imprese di cui all'art. 16 della legge n. 84/1994 • Zona cantieristica navale • Zona Ambito di riqualificazione funzionale (ZIPA)
CATEGORIA F	<ul style="list-style-type: none"> • Area entro i confini dello stabilimento • Area limitrofa allo stabilimento, entro la quale non sono presenti manufatti o strutture in cui sia prevista l'ordinaria presenza di gruppi di persone • Aree industriali a rischio alto

Tabella 2-4 : categorie territoriali assunte per il Porto di Ancona