

MAPPATURA DELLA VULNERABILITÀ TERRITORIALE PER L'IDENTIFICAZIONE DI INSTALLAZIONI CRITICHE IN RELAZIONE A FATTORI ESTERNI DI RISCHIO

Sabatini M.^{1,2}, Ganapini S.^{2,3}, Bonvicini S.³, Spadoni G.^{2,3}, Zanelli S.^{1,2}, Cozzani V.^{2,3}

(1) Dipartimento di Ingegneria Chimica, Chimica Industriale e Scienza dei Materiali, Università di Pisa, via Diotallevi 2, Pisa, 56126, Italia

(2) CONPRICI, Consorzio Interuniversitario per la Prevenzione e la Protezione dai Rischi Chimico-Industriali, via Diotallevi 2, Pisa, 56126, Italia

(3) Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna, via Terracini 28, Bologna, 40131, Italia

SOMMARIO

Durante gli ultimi anni l'attenzione verso la possibilità di atti di sabotaggio o terrorismo che coinvolgono industrie di processo è molto cresciuta. I siti industriali che detengono sostanze pericolose (infiammabili e/o tossiche) rappresentano un possibile obiettivo per azioni di questo tipo. Tuttavia, mentre la mappatura del rischio chimico convenzionale è ormai formalizzata ed ampiamente utilizzata per la pianificazione di emergenza, minore attenzione è stata data finora alla mappatura del rischio chimico associato a fattori esterni. La specificità degli scenari potenziali d'altronde richiede, come nel caso del rischio d'area, un approccio specifico alla pianificazione, di cui la mappatura del rischio potenziale è il presupposto. Nel presente lavoro è stato elaborato un metodo di mappatura del rischio associato a fattori esterni derivanti da atti intenzionali di interferenza. Il metodo è basato su due categorie di indici: la prima quantifica la pericolosità intrinseca del sito in esame ed è legata alla quantità di sostanze pericolose detenute (combinata con le rispettive soglie indicate nella legislazione vigente), la seconda si riferisce alla vulnerabilità territoriale dell'area di impatto (che deve pertanto essere identificata) ed è da ricondursi alla densità di popolazione e al numero di centri di vulnerabilità presenti. Queste due categorie di indici, combinate tra loro, forniscono un indice finale che è stima della "criticità" dell'installazione nei confronti di fattori di rischio esterni. Sulla base dei risultati è stato quindi possibile applicare un'analisi di dettaglio alla determinazione dei raggi di danno attesi, basata sull'analisi delle conseguenze delle diverse modalità di interferenza ipotizzabili. Il metodo è stato applicato all'esame di alcune aree del territorio italiano. I risultati hanno evidenziato che è possibile individuare i "punti critici", intesi come siti industriali vulnerabili sia dal punto di vista dell'esposizione a fattori esterni di rischio che della vulnerabilità del territorio intorno allo stabilimento. L'approccio sviluppato, attraverso una scalatura dei livelli di rischio, ha inoltre permesso di identificare livelli di priorità utilizzabili sia in funzione della pianificazione delle emergenze che per ottimizzare la distribuzione delle risorse disponibili per gli interventi di mitigazione e soccorso.

1.0 INTRODUZIONE

A partire dal 2001 l'attenzione verso la possibilità di atti di sabotaggio o terrorismo che coinvolgono industrie di processo è molto cresciuta. I siti industriali che detengono sostanze pericolose (infiammabili e/o tossiche) rappresentano un obiettivo potenziale di interesse per questo tipo di atti ("attractive" nella terminologia tecnica anglosassone), in quanto le conseguenze potenziali di atti di interferenza possono essere anche estremamente severe. In letteratura sono stati proposti vari metodi per valutare la "attractiveness" di un sito rispetto a potenziali atti intenzionali di interferenza (SFK 2002, API-NPRA 2003, Uth 2005, Moore 2005 [1 - 4]), ma tutti affrontano il problema con l'attenzione rivolta più alla "security" e alla sorveglianza del sito che non alla valutazione delle conseguenze e delle aree di impatto di un eventuale incidente.

L'obiettivo del presente lavoro è stato lo sviluppo di un metodo per stimare il pericolo potenziale derivante da un atto intenzionale di interferenza in un impianto industriale. Il metodo sviluppato consiste in due parti: in una prima fase è valutata la "attractiveness" dello stabilimento, facendo uso di indici basati sulle caratteristiche dell'impianto (sostanze detenute) e sulla vulnerabilità del territorio circostante (densità di popolazione e centri puntuali di aggregazione). In questo modo è possibile individuare gli stabilimenti critici, sia al fine della messa in atto di misure di protezione e prevenzione, che per l'applicazione di un'analisi di dettaglio finalizzata all'identificazione degli scenari incidentali critici. Nella seconda fase di applicazione della procedura, viene effettuata un'analisi dettagliata degli scenari potenziali di rilascio che potrebbero

ragionevolmente essere iniziati da atti intenzionali di interferenza. L'analisi è finalizzata all'individuazione delle conseguenze di un eventuale attacco, sia in base alle caratteristiche dello stabilimento che alle diverse modalità di attacco.

2.0 VALUTAZIONE DELLA "ATTRACTIVENESS" DI UN SITO

2.1 Informazioni necessarie per la valutazione

Come spiegato in precedenza, è ragionevole pensare che l'obiettivo di un attacco sia quello di provocare il maggior danno possibile. Ciò avviene se l'incidente provocato è di per sé molto severo, e/o l'area di impatto dell'evento coinvolge zone densamente abitate, cioè interessa un grande numero di persone.

Partendo da questo punto il presente studio ha permesso di elaborare un metodo per valutare quantitativamente la "attractiveness" di un'installazione industriale. Il metodo utilizza un insieme di indici che da una parte caratterizzano il pericolo "intrinseco" associato allo stabilimento, mentre dall'altra definiscono la vulnerabilità del territorio ad esso circostante, sulla base della densità di popolazione e della presenza di centri puntuali di aggregazione (scuole, ospedali, supermercati...). La combinazione di tali indici permette di quantificare la "attractiveness" dello stabilimento, che può essere gerarchizzata mediante 3 livelli: "bassa", "media" e "alta".

La valutazione numerica degli indici definiti nel seguito richiede la disponibilità di informazioni sugli stabilimenti e sulla distribuzione di popolazione. La calibrazione dei valori degli indici è stata effettuata mediante l'analisi di numerosi stabilimenti sottoposti all'articolo 8 del D.Lgs. 334/99 e ss.mm.e ii., situati sul territorio italiano, di cui erano disponibili le informazioni sulle sostanze detenute (previste dagli adempimenti normativi) e sulle caratteristiche del territorio circostante (derivate da dati censuari e database istituzionali di pubblica consultazione).

2.2 Indice di pericolosità dello stabilimento

Per valutare il pericolo associato ad un impianto il punto di partenza è stato il reperimento delle informazioni riguardanti le sostanze pericolose detenute, in particolare la loro tipologia e quantità. Per i siti che sono soggetti all'applicazione del D.Lgs 334/99 e ss.mm.e ii. [5] tali informazioni sono disponibili ai sensi di legge. Inoltre, per ciascuna sostanza è fornita anche una soglia al di sopra della quale lo stabilimento è sottoposto agli adempimenti dell'articolo 8. Un modo piuttosto semplice per valutare la pericolosità del sito è quindi quello di calcolare per ogni sostanza un valore normalizzato di pericolosità (indice di sostanza I_i) in questo modo:

$$I_i = \frac{W_i}{T_i} \quad (1)$$

Dove W_i è la quantità del materiale i (o di tutte le sostanze comprese nella i -esima categoria, secondo l'Allegato I del Decreto) e T_i è la soglia corrispondente riportata nel Decreto (per singola sostanza o per categoria di sostanza, secondo i criteri del già citato Allegato I). Questo indice può essere calcolato per ogni sostanza o gruppo di sostanze presenti nello stabilimento..

Sommando tutti gli indici di sostanza calcolati è possibile ottenere un indice globale, chiamato "indice di stabilimento" I_{sub} . È opportuno sommare separatamente le sostanze tossiche e quelle infiammabili, per ragioni che saranno spiegate più avanti, in modo da ottenere un indice di stabilimento relativo ai tossici e uno relativo agli infiammabili:

$$I_{sub} = \sum_i I_i^{fl} + \sum_j I_j^{tox} \quad (2)$$

L'indice di stabilimento così calcolato può essere usato per una stima preliminare del pericolo intrinseco legato al sito. Nel presente lavoro sono state definite 6 classi di pericolosità I_{TS} , a cui attribuire un punteggio da 1 (alto) a 6 (basso), secondo i criteri riportati in Tabella 1.

Tabella 1. Classi di pericolo di un sito in base all'indice di sostanza

| Indice di sostanza (I_{sub}) | Valore dell'indice di pericolo (I_{TS}) |
|----------------------------------|---------------------------------------------|
| <10 | 6 |
| 11÷50 | 5 |
| 51÷150 | 4 |
| 151÷300 | 3 |
| 301÷650 | 2 |
| >650 | 1 |

2.3 Vulnerabilità della potenziale area di impatto

Il secondo fattore che determina la “attractiveness” di un sito è la vulnerabilità dell'area di danno legata agli scenari incidentali che potrebbero essere generati. Nel seguito è quindi definito e calcolato un indice di vulnerabilità.

Il primo passo è la valutazione dell'estensione dell'area di impatto: tale valutazione può essere effettuata a partire dalle caratteristiche dell'impianto. Al fine di uno “screening” preliminare, tale estensione è stata fissata arbitrariamente sulla base dell'esperienza (nella sezione 3 verrà invece descritto un metodo di dettaglio per la valutazione). Se nell'impianto sono presenti solo sostanze infiammabili, la distanza di impatto può essere considerata pari a 1 km. Se invece sono presenti sostanze tossiche, gassose o volatili, è opportuno aumentare la distanza fino a 7 km.

Una volta fissata l'estensione dell'area di impatto, se ne deve valutare la vulnerabilità, che può essere convenientemente valutata in termini di persone presenti. Il numero di persone che sono presenti in un'area dipende non solo dalla densità di popolazione, ma anche dalla eventuale presenza dei cosiddetti centri puntuali di vulnerabilità, cioè luoghi di aggregazione (scuole, ospedali, carceri, supermercati ecc.) in cui vi è solitamente una concentrazione di persone maggiore dell'area circostante e/o in cui vi sono difficoltà per un'eventuale evacuazione (causate dal grande numero di persone presenti o da ridotta mobilità delle stesse, come nelle scuole primarie o negli ospedali). I centri puntuali di aggregazione diventano maggiormente significativi in aree in cui la densità abitativa è più bassa, mentre in aree densamente abitate l'influenza di tali punti di criticità diminuisce. Per questa ragione nel presente studio sono stati considerati solo i centri di vulnerabilità situati in aree con densità abitativa inferiore ai 2000 ab/kmq.

Per permettere la valutazione degli indici di vulnerabilità del territorio, è utile che i dati sulla distribuzione della popolazione e sulla collocazione degli impianti siano disponibili sotto forma di layers informativi GIS, in modo da poter essere analizzati con un software GIS (nel presente lavoro è stato utilizzato il software commerciale ArcGIS della ESRI). L'utilizzo degli strumenti GIS permette un'immediata rappresentazione della situazione in termini di vulnerabilità territoriale, oltre ad una pronta individuazione delle aree su cui un eventuale incidente andrebbe ad impattare.

Sulla base delle considerazioni esposte, è stato definito un indice di vulnerabilità territoriale, che tiene conto di due parametri:

- Il numero di abitanti dell'area di studio (calcolato sulla base dei dati di censimento nell'area in esame, mediante un'estensione GIS creata appositamente), espresso da I_{Res}
- Il numero di centri puntuali di vulnerabilità situati nelle zone dell'area di studio a densità abitativa inferiore ai 2000 ab/kmq, espresso da I_{cv} .

Nelle Tabelle 2 e 3 vengono indicate le modalità per il calcolo degli indici I_{Res} e I_{cv} (i cui valori sono compresi tra 1 e 4, e sono crescenti per una vulnerabilità decrescente). I due indici sommati tra loro danno origine ad un indice complessivo di vulnerabilità territoriale I_{VT} :

$$I_{VT} = I_{cv} + I_{Res} \quad (3)$$

Tabella 2. Valutazione dell'indice di vulnerabilità relativo al numero di residenti, I_{Res}

| Popolazione residente nell'area (numero di abitanti) | Valore dell'indice I_{Res} |
|---------------------------------------------------------|------------------------------|
| <1000 | 4 |
| 1001 ÷ 10000 | 3 |
| 10001 ÷ 500000 | 2 |
| > 500000 | 1 |

Tabella 3. Valutazione dell'indice di vulnerabilità relativo al numero di centri di vulnerabilità, I_{cv}

| Numero di centri di vulnerabilità da censire | Valore dell'indice I_{cv} |
|----------------------------------------------|-----------------------------|
| <2 | 4 |
| 2 ÷ 10 | 3 |
| 11 ÷ 50 | 2 |
| > 50 | 1 |

2.4 Valutazione della “attractiveness”

Una volta valutate la pericolosità intrinseca del sito e la vulnerabilità dell'area ad esso circostante, è possibile definire, mediante un indice I_A , una “attractiveness” complessiva in cui si tenga conto di questi due aspetti:

$$I_A = I_{VT} + I_{TS} \quad (4)$$

Per rappresentare in maniera più immediata il livello di “attractiveness” del sito, possono essere usate 3 categorie qualitative, secondo quanto riportato in Tabella 4. In Figura 1 è riassunta la procedura appena descritta per la valutazione della attractiveness.

Tabella 4. Livelli di “attractiveness”

| Valore dell'indice I_A | Livello di “attractiveness” |
|--------------------------|-----------------------------|
| 3 ÷ 6 | ALTO |
| 7 ÷ 10 | MEDIO |
| 11 ÷ 14 | BASSO |

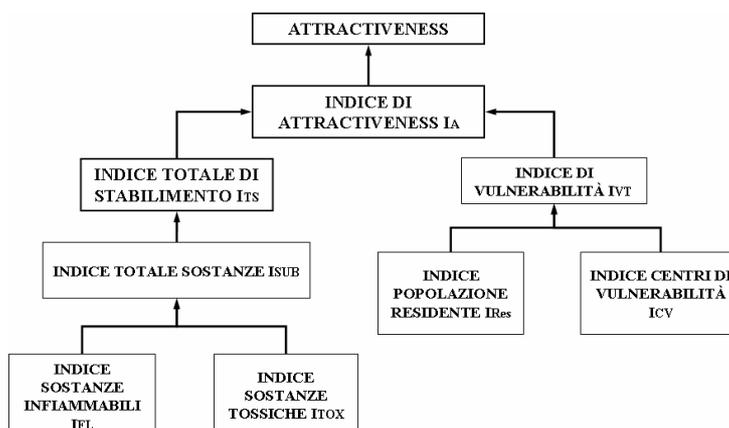


Figura 1. Procedura per la valutazione della “attractiveness” di uno stabilimento

3.0 VALUTAZIONE DELLE CONSEGUENZE DI UN ATTACCO ESTERNO

3.1 Definizione delle modalità di interferenza

Per poter valutare le conseguenze di un attacco esterno nei confronti di un'installazione industriale è importante conoscere, caratterizzare ed analizzare le modalità con cui tale attacco può essere compiuto. L'analisi della letteratura ha portato alla identificazione di 10 modalità di attacco, riportate in Tabella 5. Ciascuna modalità è stata caratterizzata usando tre parametri, definiti allo scopo, che saranno utili nello stimare la probabilità di successo e la severità del danno provocato. I tre parametri sono il vettore di danno (vale a dire l'effetto fisico che provoca il danno nell'apparecchiatura: l'irraggiamento, la sovrappressione, la penetrazione di proiettili, o un'azione esterna), l'entità del rilascio atteso (definita mediante 4 categorie mutate dal "Purple Book" [6]) e infine una stima del grado di conoscenza dello stabilimento necessario per compiere l'attacco (classificato in 3 livelli di conoscenza, decrescente da A a C).

Tabella 5. Modalità di attacco esterno e loro caratterizzazione

| Modalità di attacco | Livello di conoscenza richiesto | Rateo di rilascio atteso (apparecch. atmosferiche) | Rateo di rilascio atteso (apparecch. in pressione) |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Sabotaggio | C | R2 | R1 |
| Interferenza con mezzi improvvisati | C | R2 | R1 |
| Interferenza con strumenti o attrezzature specifiche | C | R3 | R2 |
| Incendio con mezzi improvvisati | C | R3 | R2 |
| Incendio con bombe o sistemi incendiari | B | R4 | R3 |
| Attacco con armi da fuoco di piccolo calibro | A | R1 | R1 |
| Attacco con armi da fuoco di grosso calibro o missili | A | R4 | R4 |
| Esplosivi | B | R4 | R4 |
| Incidente provocato da veicolo | B | R3 | R3 |
| Incidente provocato da aereo | A | R4 | R4 |

3.2 "Attractiveness" dei singoli bersagli

Il concetto di "attractiveness" esposto nella sezione precedente può essere applicato non solo all'impianto nel suo complesso ma anche alle singole apparecchiature all'interno di questo. Il grado di dettaglio dell'analisi dovrà però essere maggiore: oltre alla quantità di sostanza è importante tenere conto anche dello stato fisico in cui essa si trova all'interno dell'apparecchiatura, che in ultima analisi influenza i fenomeni che avvengono dopo il rilascio. Nel presente lavoro le apparecchiature sono state classificate in base a due caratteristiche: lo "hold-up" di sostanza contenuta (cioè a parità di ingombro dell'apparecchiatura la percentuale di volume occupata dalla sostanza pericolosa) e lo stato fisico della sostanza (le categorie sono quelle, mutate dal Purple Book, che identificano il comportamento post-rilascio). È stata perciò elaborata una matrice di attractiveness che è riportata in Tabella 6. Nella tabella il livello 4 corrisponde ad una alta "attractiveness", il livello 1 ad una bassa "attractiveness".

Tabella 6. “Attractiveness” delle diverse tipologie di apparecchiature

| <i>Tipo di apparecchiatura</i> → | Serbatoio | Tubazione di grande diametro | Colonna | Reattore o scambiatore di calore |
|--------------------------------------------|-----------|------------------------------|---------|----------------------------------|
| <i>Condizioni fisiche della sostanza</i> ↓ | | | | |
| Gas liquefatto | 4 | 4 | 3 | 3 |
| Liquido evaporante | 3 | 3 | 2 | 2 |
| Gas / vapore | 3 | 2 | 2 | 1 |
| Liquido criogenico | 2 | 2 | 2 | 1 |
| Liquido stabile | 1 | 1 | 1 | 1 |

3.3 Credibilità delle diverse modalità di attacco

Un attacco può essere definito di successo se ha causato effettivamente un rilascio di sostanze pericolose, vale a dire se ha realizzato quello che è il suo obiettivo. Pertanto la probabilità di successo è funzione anche delle protezioni presenti nell’impianto, in particolare delle protezioni che sono efficaci nei confronti di un determinato tipo di attacco.

La definizione di efficacia o meno delle protezioni è legata alla modalità dell’attacco, vale a dire allo specifico vettore di danno utilizzato: ad esempio nel caso di attacchi di tipo esplosivo le protezioni devono essere efficaci nei confronti della sovrappressione generata dall’evento, la cui “magnitudo” può essere valutata mediante correlazioni matematiche (per esempio funzioni di “probit”). L’analisi delle protezioni eseguita con questo criterio permette di ottenere due tipi di risultati:

- È possibile organizzare le protezioni in livelli, detti “layers”, dal cui esame è possibile stimare la probabilità di successo di un attacco
- Possono essere individuate ulteriori protezioni per aumentare la resistenza allo specifico tipo di attacco

In Figura 2 è riportato un esempio di rappresentazione degli strati (“layers”) di protezione, mentre la Tabella 7 riporta alcune correlazioni proposte per la valutazione dei diversi vettori di danno.

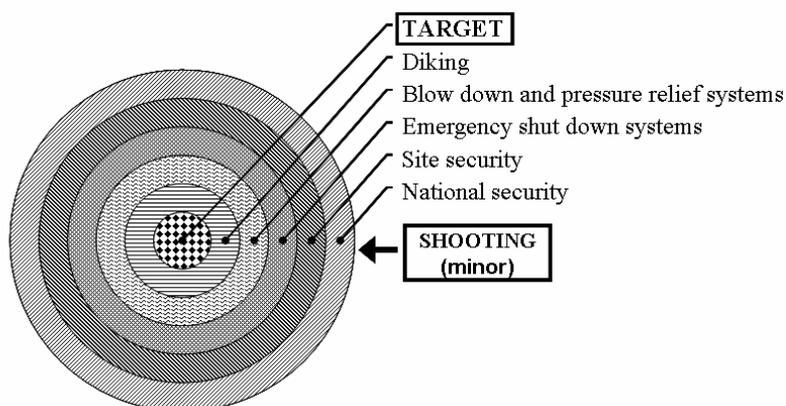


Figura 2: rappresentazione dei “layers” di protezione relativi alla modalità di attacco “attacco con armi da fuoco di piccolo calibro”

Tabella 7: correlazioni proposte per la valutazione del danno per le diverse modalità di attacco

| Modalità di attacco | Vettore di danno | Correlazione per la valutazione del danno |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Sabotaggio Interferenza con mezzi improvvisati Interferenza con strumenti o attrezzature specifiche | n.d. n.d. n.d. | Non disponibile sotto forma di correlazioni matematiche |
| Incendio con mezzi improvvisati Incendio con bombe o sistemi incendiari Attacco con armi da fuoco di piccolo calibro Attacco con armi da fuoco di grosso calibro o missili Esplosivi | irraggiamento irraggiamento impatto impatto sovrapressione | Modelli per valutare la vulnerabilità dell'apparecchiatura [6] |
| Incidente provocato da veicolo Incidente provocato da aereo | impatto impatto | Studi specifici o modelli semplificati di vulnerabilità (Susini et al. [7]) |

3.4 Identificazione degli scenari incidentali e valutazione delle conseguenze

Riassumendo, per ciascuna modalità di attacco e per ciascuna apparecchiatura è possibile ottenere un rateo atteso di rilascio. Di conseguenza è possibile valutare scenari incidentali e aree di impatto con i metodi della safety tradizionali (alberi degli eventi e modelli per il calcolo degli effetti fisici). Una particolare attenzione va tuttavia posta nell'esame degli scenari incidentali possibili: per alcune modalità di attacco (come ad esempio le modalità incendiarie o esplosive) la probabilità di innesco è più alta che in condizioni normali, e questo va tenuto in considerazione nel valutare le conseguenze.

L'effetto domino va altresì preso in considerazione, utilizzando gli adeguati valori di soglia per i diversi tipi di apparecchiature, dal momento che questo può incrementare significativamente le aree di impatto.

4. CASE STUDY

4.1 Parte 1: valutazione dell'attractiveness

Allo scopo di valicare la procedura elaborata e di calibrare i valori degli indici, il metodo per la valutazione della "attractiveness" è stato applicato ad un caso studio. Per il caso di studio sono stati utilizzati dati reali sulla popolazione, relativi ad una zona del territorio italiano e forniti dal Dipartimento della Protezione Civile. Gli stabilimenti oggetto di studio sono realmente esistenti (e i dati relativi sono stati forniti anch'essi dall'autorità competente), ma sono stati collocati in una diversa area del territorio italiano, scelta in modo del tutto arbitrario. La Tabella 8 riporta le informazioni sugli stabilimenti che sono stati oggetto dello studio, mentre la Figura 3 riporta la collocazione arbitraria considerata per tali stabilimenti sul territorio.

Tabella 8: Caratteristiche degli stabilimenti oggetto dello studio

| Denominazione | Raggio stimato dell'area di impatto (m) | ΣI^{fl} | ΣI^{tox} | I_{sub} | I_{TS} |
|----------------------|------------------------------------------------|-----------------|------------------|-----------|----------|
| Stabilimento A | 7000 | 640 | 50 | 690 | 1 |
| Stabilimento B | 7000 | 599 | 60 | 659 | 1 |
| Stabilimento C | 1000 | 0 | 50 | 50 | 5 |

| Denominazione | Raggio stimato dell'area di impatto (m) | ΣI^{fl} | ΣI^{tox} | I_{sub} | I_{TS} |
|----------------|-----------------------------------------|-----------------|------------------|-----------|----------|
| Stabilimento D | 1000 | 0 | 30 | 30 | 5 |
| Stabilimento E | 7000 | 30 | 0 | 30 | 5 |
| Stabilimento F | 1000 | 27 | 0 | 27 | 5 |

Come mostrato dalla Tabella 8, l' I_{TS} per due degli stabilimenti considerati (A e B) è piuttosto alto. Questo significa che la quantità di sostanze pericolose detenuta è molto più alta della soglia stabilita dalla Direttiva Seveso. D'altra parte gli stabilimenti A, C ed E sono piuttosto vicini a zone densamente abitate, mentre gli altri stabilimenti sono più isolati.

Per valutare l'indice di vulnerabilità delle potenziali aree di impatto, come già detto nella Sezione 2, è stata elaborata un'apposita estensione GIS, che permettesse il calcolo del numero di abitanti in una data area circolare, sulla base dei dati di popolazione a disposizione.

In Figura 4 sono mostrate le aree di impatto di alcuni degli stabilimenti esaminati, mentre in Tabella 9 vengono riportati gli indici di vulnerabilità territoriale calcolati secondo la procedura descritta. Dalla Figura 4 è evidente che l'area di impatto di scenari originati dallo stabilimento E coinvolge aree densamente popolate ed un certo numero di centri di vulnerabilità. Al contrario, l'area di impatto degli scenari originati dallo stabilimento C interessa aree scarsamente popolate.

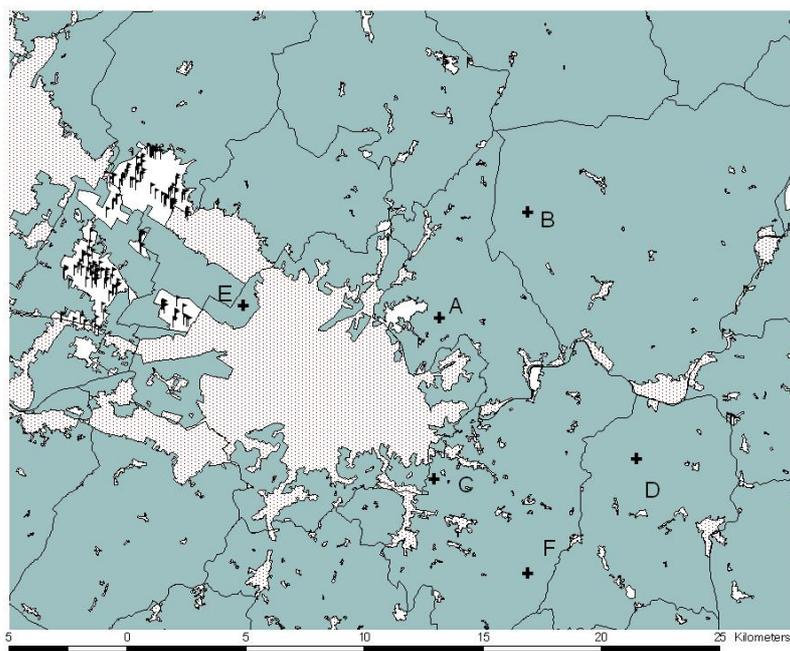


Figura 3: collocazione degli impianti nell'area di studio considerata. Le aree ombreggiate sono zone ad alta densità abitativa, mentre le zone blu hanno una densità abitativa bassa (inferiore a 2000 ab/kmq). Le bandierine scure indicano i centri puntuali di vulnerabilità

Dai risultati emerge come lo stabilimento E, nonostante abbia un I_{TS} basso, sia situato in una zona ad alta vulnerabilità territoriale, risultante in un I_{VT} alto, maggiore di quello di stabilimenti a più alto indice di pericolosità potenziale, I_{sub} . Queste considerazioni si traducono nei risultati complessivi relativi agli indici di "attractiveness" riportati in Tabella 10.

E' evidente dall'analisi effettuata che anche stabilimenti a basso indice di pericolosità (ad esempio lo stabilimento E nel caso in esame) possono risultare di "attractiveness" non trascurabile a causa di una alta vulnerabilità del territorio circostante.

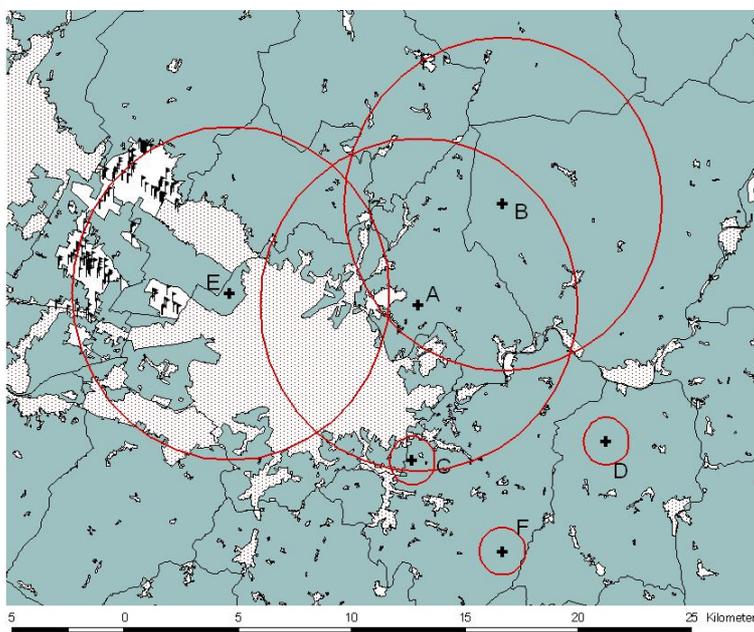


Figura 4: aree di impatto originate dagli scenari considerati per gli stabilimenti A, E e C.

In sintesi, dai risultati ottenuti risulta evidente come la valutazione della "attractiveness" di uno stabilimento non possa prescindere dalla valutazione della vulnerabilità del territorio circostante, che può influenzare anche in maniera importante la magnitudo del danno complessivo realizzabile con un attacco.

Tabella 9: indici di vulnerabilità territoriale degli stabilimenti considerati

| Impianto | Numero di abitanti | Numero di centri di vulnerabilità | I_{Res} | I_{CV} | I_{VT} |
|----------|--------------------|-----------------------------------|-----------|----------|----------|
| A | 225832 | 4 | 2 | 3 | 5 |
| B | 23916 | 12 | 2 | 2 | 4 |
| C | 1640 | 0 | 3 | 4 | 7 |
| D | 0 | 0 | 4 | 4 | 8 |
| E | 386538 | 210 | 2 | 1 | 3 |
| F | 0 | 0 | 4 | 4 | 8 |

Tabella 10: Indici complessivi di "attractiveness" per gli stabilimenti studiati

| Stabilimento | I_{TS} | I_{VT} | I_A | Livello di attractiveness |
|--------------|----------|----------|-------|---------------------------|
| A | 1 | 5 | 6 | ALTO |
| B | 1 | 4 | 5 | ALTO |
| C | 5 | 7 | 12 | BASSO |
| D | 5 | 8 | 13 | BASSO |

| Stabilimento | I _{TS} | I _{VT} | I _A | Livello di attractiveness |
|--------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------------------|
| E | 5 | 3 | 8 | MEDIO |
| F | 5 | 8 | 13 | BASSO |

4.2 Parte 2: analisi dettagliata delle conseguenze possibili di un attacco

Come spiegato in precedenza, l'analisi di "attractiveness" basata su metodi ad indici può essere utile come "screening" preliminare per la selezione degli stabilimenti maggiormente critici ai fini della possibilità di un attacco e dunque meritevoli di un'indagine più approfondita. Uno degli stabilimenti sommariamente descritti nel paragrafo precedente e risultante ad elevata "attractiveness" è stato quindi oggetto di un'indagine dettagliata, per dimostrare la procedura attuata per selezionare tra le apparecchiature presenti quelle maggiormente critiche, e per valutare in maniera dettagliata le possibili distanze di impatto degli scenari generati da atti di interferenza esterni.

Lo stabilimento in esame è costituito da un parco di stoccaggio di idrocarburi infiammabili, sia allo stato liquido che sotto forma di gas liquefatti, contenuti in serbatoi di varia natura: atmosferici, pressurizzati, tumulati. In Figura 5 è riportato il lay-out del sito, dove AT_X indica un serbatoio atmosferico, PVA_X e PVB_X dei sigari in pressione, SF_F una sfera di GPL e TUM_F un serbatoio tumulato sempre di GPL.

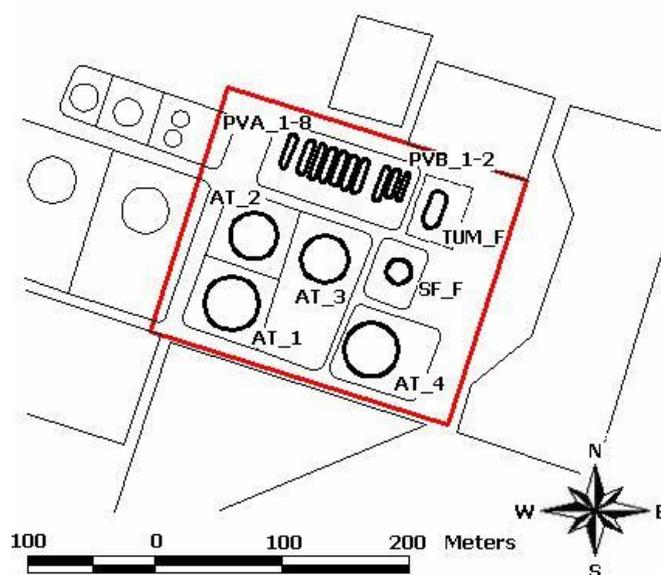


Figura 5: lay-out del sito in esame

Per ciascuna delle apparecchiature è stata condotta l'analisi di dettaglio descritta nella sezione 3: è stato determinato il livello di criticità a partire dalla tipologia di apparecchiatura e dallo stato fisico della sostanza; per ciascuna modalità di attacco sono quindi stati valutati i ratei di rilascio attesi in base ancora al tipo di apparecchiatura. Una volta definiti questi "top event" sono stati applicati gli usuali modelli fisici per la valutazione delle distanze di danno. La tabella 11 riporta, per ciascuna modalità di attacco, il "worst case" tra tutte le apparecchiature (cioè lo scenario che causa le maggiori distanze di danno potenziali) e la distanza di danno calcolata.

Tabella 11: "Worst-cases" per le diverse modalità di attacco analizzate

| Modalità di attacco | Apparecchiatura | Rateo atteso di rilascio | Distanza di danno (m) |
|---------------------|--------------------|--------------------------|-----------------------|
| Sabotaggio | Serbatoio tumulato | R1 | 448 |

| Modalità di attacco | Apparecchiatura | Rateo atteso di rilascio | Distanza di danno (m) |
|-------------------------------------------------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|
| Interferenza con mezzi improvvisati | Serbatoio tumulato | R1 | 448 |
| Interferenza con strumenti o attrezzature specifiche | Serbatoio tumulato | R2 | 448 |
| Incendio con mezzi improvvisati | Serbatoi atmosferici | R2 | 260 |
| Incendio con bombe o sistemi incendiari | Sigari | R3 | 1048 |
| Attacco con armi da fuoco di piccolo calibro | Serbatoi atmosferici | R1 | 92 |
| Attacco con armi da fuoco di grosso calibro o missili | Sigari | R4 | 1048 |
| Esplosivi | Sfera | R3 | 6118 |
| Incidente provocato da veicolo | -- | -- | -- |
| Incidente provocato da aereo | Sfera | R4 | 6118 |

Come facilmente intuibile, la sfera risulta essere l'apparecchiatura più critica, in quanto dà le distanze di impatto maggiori specie per le modalità di danno più severe (quali attacco con Esplosivi e Incidente provocato da aereo).

Le distanze di impatto sul territorio circostante possono essere confrontate anche con i valori considerati nell'ambito della normativa relativa alla pianificazione territoriale in relazione al rischio di incidente rilevante. La legislazione italiana vigente (D.M. 9 maggio 2001 [8]) definisce, sulla base della densità abitativa, 6 classi di vulnerabilità territoriale (da A ad F con vulnerabilità decrescente): la Figura 6 mostra la classificazione del territorio circostante allo stabilimento secondo questo criterio, insieme alle curve di danno relative alla soglia di alta letalità per gli incidenti più severi previsti.

È evidente quindi che l'area di impatto di alcuni scenari relativi alla sfera potrebbe potenzialmente comportare la presenza di elevati valori di effetti fisici (corrispondenti ad effetti di elevata letalità sulla popolazione) anche in aree ad elevata vulnerabilità (classi A e B della normativa italiana), riproponendo il concetto di "attractiveness" come funzione non solo della distanza di impatto di un eventuale incidente (e quindi della "pericolosità intrinseca" dell'impianto) ma anche delle caratteristiche dell'area interessata da tali conseguenze.

Grafici analoghi a quello mostrato in figura 6 possono essere ottenuti utilizzando i limiti degli effetti fisici relativi alla pianificazione dell'emergenza esterna agli stabilimenti (secondo la tabella riportata dal D.M. 9 maggio 2001 [8]) e non sono qui riportati per motivi di spazio. La valutazione delle aree di impatto permette quindi anche una più efficace pianificazione dell'emergenza esterna.

5. CONCLUSIONI

Nel presente lavoro è stato sviluppato un metodo per valutare la vulnerabilità di un'area industriale nei confronti di attacchi esterni in funzione sia del pericolo potenziale dovuto alle caratteristiche intrinseche degli impianti che alla vulnerabilità del territorio circostante. Il metodo prevede due fasi di valutazione: nella prima parte si esegue uno "screening" preliminare degli stabilimenti, utilizzando indici basati sulle sostanze detenute e sui dati di popolazione dell'area, mentre in una seconda fase l'analisi è concentrata sugli stabilimenti che risultano maggiormente critici a seguito dell'indagine preliminare. La seconda fase permette di valutare quantitativamente le distanze di danno attese a seguito di attacchi esterni, che nella prima parte sono assunte sulla base dell'esperienza.

La metodologia è stata applicata ad un caso studio, basato su dati realistici relativi a siti industriali e contesti territoriali italiani. I risultati mostrano come sia possibile realizzare una classificazione sulla base della

“attractiveness” che tenga conto non solo della pericolosità intrinseca dell’impianto ma anche della vulnerabilità del territorio. La valutazione delle distanze di danno fornisce inoltre informazioni utili ad orientare la gestione delle emergenze e la pianificazione urbanistica delle aree interessate.

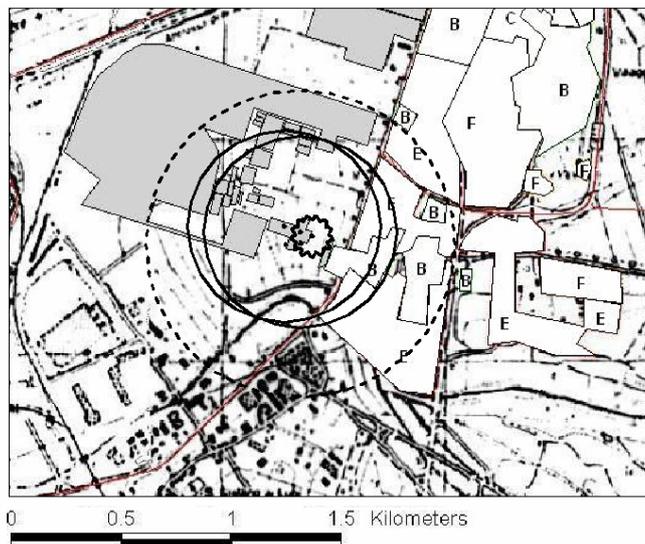


Figura 6: vulnerabilità territoriale delle zone circostanti lo stabilimento. La linea tratteggiata indica le distanze di danno relative alle soglie di elevata letalità riferite alla sfera, quella continua le distanze relative ai sigari, mentre la linea ondulata si riferisce al serbatoio tumulato.

RIFERIMENTI

- [1] Stör-fall Kommission (SFK) 2002. SFK – GS – 38, Report of the German Hazardous Incident Commission
- [2] American Petroleum Institute, National Petrochemical & Refinery Association 2003. Security Vulnerability Assessment Methodology for the Petroleum and Petrochemical Industries
- [3] Uth H.-S. 2005. Combating interference by unauthorised persons. Journal of Loss Prevention in the process industries, 18: 293–300
- [4] Moore D. A. 2005. Application of the API/NPRA SVA methodology to transportation security issues. Journal of Hazardous Materials 130: 107-121
- [5] Decreto Legislativo 17 agosto 1999, n. 334, " Attuazione della direttiva 96/82/CE relativa al controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose " pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 228 del 28 settembre 1999 - Supplemento Ordinario
- [6] Susini A. (2006). Analisi del rischio connesso alla proiezione di frammenti in strutture off-shore. M. D. Thesis, University of Pisa, etd-06232006-101740
- [7] Uijt de Haag PAM, Ale BJM, (1999). Guidelines for Quantitative Risk Assessment (Purple Book). The Hague, The Netherlands: Committee for the Prevention of Disasters
- [8] Decreto Ministeriale 9 maggio 2001 “Requisiti minimi di sicurezza in materia di pianificazione urbanistica e territoriale per le zone interessate da stabilimenti a rischio di incidente rilevante” pubblicato in Gazzetta Ufficiale n. 168 del 16 giugno 2001.