

ALMA MATER STUDIORUM - Università degli Studi di Bologna



**Dipartimento di Ingegneria Chimica,
Mineraria e delle Tecnologie Ambientali**

**Indagine sul rischio di incidente rilevante da
condotte di trasporto di sostanze infiamma-
bili e tossiche nel territorio di Ferrara**

Prof. Gigliola SPADONI

Convenzione di ricerca DICMA - Comune di Ferrara

Relazione finale

INDICE

0. INTRODUZIONE.....	5
1. SINTESI NON TECNICA	6
1.1 Premessa	6
1.2 L'area di indagine, le condotte e le sostanze trasportate.....	6
1.2.1 Condotte e misure di sicurezza	7
1.3 L'analisi dei rischi di incidente rilevante: i tratti esterno ed interno allo stabilimento	8
1.3.1 Ipotesi incidentali, relative frequenze e scenari incidentali	8
1.3.2 Le distanze di danno associabili agli scenari incidentali	10
1.3.2.1 La condotta di ammoniaca	10
1.3.2.2 Le condotte di etilene e propilene	12
1.4 Considerazioni preliminari sulla compatibilità territoriale	14
1.4.1 Compatibilità territoriale ed aree critiche.....	15
2. DEFINIZIONE TRACCIATI E CARATTERISTICHE DELLE CONDOTTE IN ESAME	19
2.1 I tracciati delle condotte	19
2.1.1. Il percorso del tronco 4: alcuni dettagli	21
2.2 Le caratteristiche tecniche delle condotte	21
2.2.1 Condotte e misure di sicurezza	22
3. PROPRIETÀ DI PERICOLOSITÀ DELLE SOSTANZE TRASPORTATE	23
4. ANALISI DI RISCHIO (DA DOCUMENTAZIONE DISPONIBILE PRESSO IL DICMA)	24
4.1 Ipotesi incidentali e frequenze incidentali	25
4.1.1 Da analisi storica (come da indagine eseguita nel contesto di studi pregressi).....	25
4.1.2 Ipotesi incidentali da studio ARIPAR.....	26
4.2 Eventi e frequenze incidentali di riferimento.....	27
4.3 Eventi incidentali identificati e scenari incidentali: gli alberi degli eventi quantificati.....	28
4.3.1 Infiammabili: etilene e propilene.....	29
4.3.2 Sostanze tossiche: ammoniaca	30
4.4 Valutazione delle conseguenze e distanze di danno.....	31
4.4.1. Tratto 3: conseguenze di rilasci di etilene e propilene.....	31
4.4.1.1 Le portate di rilascio per efflusso di infiammabili	32
4.4.1.2. Distanze di danno per getti incendiati (jet-fire) e esplosioni di vapori (VCE).....	33
4.4.2 Tratto 4: conseguenze di rilasci di ammoniaca.....	36
4.4. 2.1 Le portate di rilascio.....	36

4.4.2.2. Dispersione e distanze di danno.....	39
5. ANALISI DI RISCHIO DEI GESTORI DEL SITO INDUSTRIALE DI FERRARA E RELATIVE DISTANZE DI DANNO	42
6. CONSIDERAZIONI SULLA COMPATIBILITÀ TERRITORIALE.....	43
6.1 La condotta di ammoniaca.....	43
6.1.1 Probabilità di accadimento degli scenari D-5 e F-2.....	43
6.2 Le condotte di trasporto di etilene e propilene	45
6.3 Procedura di valutazione delle categorie territoriali compatibili.....	46
6.4 Compatibilità territoriale e aree critiche	47
6.4.1 Il centro n.6.....	48
6.4.2 Centri di vulnerabilità ed aree critiche	49
7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	55
BIBLIOGRAFIA	57
Appendice 1	58
Schede di sicurezza di etilene, propilene e ammoniaca	58
Appendice 2	59
Condizioni meteo-climatiche nel territorio di interesse	59
Appendice 3	65
Interazione condotta di ammoniaca e territorio	65

0. INTRODUZIONE

La presente relazione riporta i risultati delle valutazioni eseguite dalla Prof. Gigliola Spadoni nell'ambito dell'incarico che il Comune di Ferrara le ha affidato stipulando apposita Convenzione con il Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle Tecnologie Ambientali.

Secondo quanto previsto dalla suddetta Convenzione formava oggetto dell'incarico il seguente programma sintetico:

Con riferimento ai tratti di condotte concordati, si procederà come segue:

1. *definizione tracciati e caratteristiche delle condotte in esame*
2. *proprietà di pericolosità delle sostanze trasportate*
3. *analisi di rischio (da documentazione disponibile presso il DICMA)*
 - a. *ipotesi incidentali da analisi storica (come da indagine eseguita nel contesto di studi pregressi)*
 - b. *ipotesi incidentali da studio ARIPAR*
 - c. *alberi degli eventi caratteristici degli eventi incidentali identificati, con quantificazione delle frequenze di accadimento*
 - d. *valutazione delle conseguenze e distanze di danno*
 - i. *infiammabili*
 - ii. *tossici*
4. *analisi di rischio dei gestori del sito industriale di Ferrara e relative distanze di danno.*
5. *Considerazioni sulle distanze di danno alla luce della normativa sulla pianificazione territoriale in presenza di rischi di incidenti rilevanti*
6. *considerazioni conclusive*
7. *sintesi non tecnica dei risultati.*

Per lo svolgimento del lavoro è stato utilizzato sia il materiale reso disponibile dal competente ufficio del Comune sia materiale esistente presso il DICMA. In particolare sono state utilizzate:

- le analisi storiche di incidenti relativi alle condotte di trasporto sostanze pericolose risultanti da precedenti ricerche;
- le analisi incidentali delle condotte eseguite nell'ambito del progetto ARIPAR;
- la documentazione sugli scenari incidentali inerenti le condotte interne agli stabilimenti così come presentati dalle aziende nel RdS;
- le mappe del territorio e le elaborazioni predisposte dal competente Ufficio Comunale.

Per una più agile lettura del documento si premettono le considerazioni della sintesi non tecnica.

1. SINTESI non TECNICA

1.1 Premessa

Lo studio ha preso in esame il rischio di incidente rilevante connesso con la pipeline NORD ADRIATICO della società Polimeri Europa che collega gli stabilimenti petrolchimici di Marghera, Ferrara e Ravenna ed ha considerato in particolare i tronchi 3 (Monselice – Ferrara) e 4 (Ferrara – Ravenna) di queste esaminando con dettaglio le sezioni che si collocano in prossimità dei siti abitati del Comune di Ferrara.

Prima di descriverne sinteticamente le caratteristiche occorre osservare che anche per le condotte di trasporto delle sostanze pericolose è possibile eseguire un'analisi dei rischi di incidenti rilevanti in particolare mutuando le metodologie di lavoro necessarie dall'analisi dei cosiddetti "impianti a rischio"; tuttavia va rammentato che questi ultimi sono soggetti a dettagliate norme di legge (vedi Dlgs 334/99 e sue modifiche) mentre non esistono norme di legge in materia di rischi rilevanti, né europee né italiane, cui assoggettare le condotte¹. Tutte le indagini effettuate e le considerazioni svolte in questo documento trovano la loro origine in documenti ed analisi tecniche eseguite in Europa, Stati Uniti o Italia a fini di miglioramento degli standard di sicurezza, o semplicemente conoscitivi e/o di comparazione tra modalità di trasporto e di stoccaggio/produzione.

1.2 L'area di indagine, le condotte e le sostanze trasportate

Ritornando all'area di indagine, essa è rappresentata nella mappa di fig.1 che include le parti dei due tronchi 3 e 4 di condotte compresi nel territorio del Comune di Ferrara e di lunghezza rispettivamente pari a 6.5 km e 15 km circa (fig. 1, tratti verde e rosso).² La mappa riporta anche le aree che rappresentano il centro urbano e i centri abitati del Comune, poiché l'obiettivo dello studio è di valutare quali parti del territorio siano maggiormente vulnerabili al rischio di incidente rilevante derivante dalla presenza e dall'utilizzo delle condotte. Quali parametri di identificazione della vulnerabilità sono stati assunti sia la densità abitativa sia la presenza di altri centri quali centri commerciali, scuole, ospedali, in tal modo uniformandosi a quanto esplicitamente indicato nel DM 5.05.01 con il quale si desidera confrontarsi.

Nell'area di indagine sono presenti alcuni centri abitati: in particolare con riferimento al tronco 3 si colloca ad una distanza inferiore ad 1 km il centro di Pontelagoscuro, mentre, con riferimento al tronco 4, si collocano a una distanza inferiore ad 1 km i centri di Pontelagoscuro, Barco, Malborghetto di Boara, Focomorto, Codrea, Cona e Quartesana.

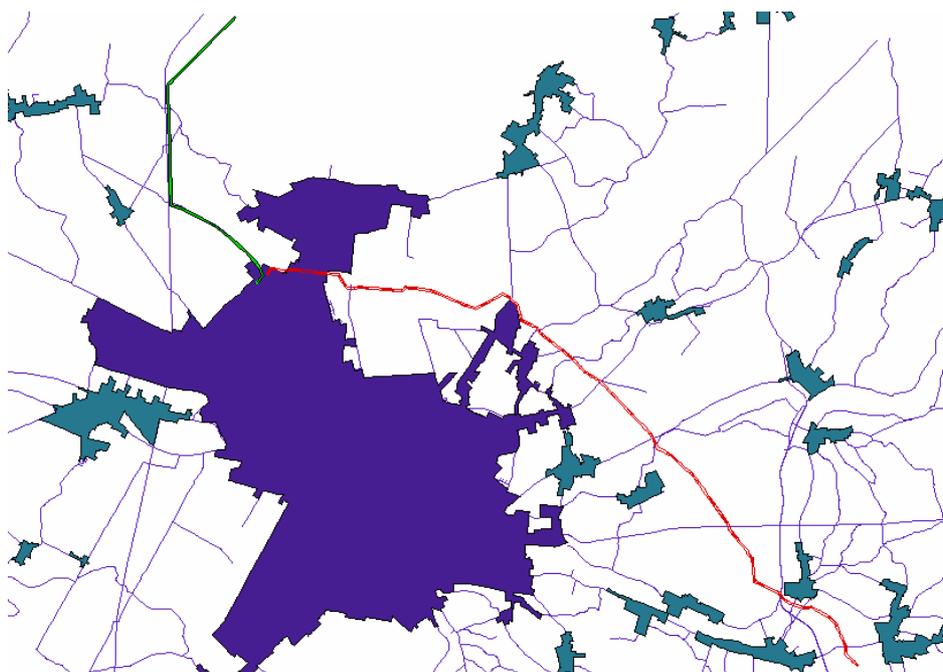
Il tronco 3 comprende due condotte, interrato nel medesimo scavo a circa 1.5 m di profondità, che trasportano al polo di Ferrara rispettivamente etilene gassoso e

¹ Soltanto per le condotte di trasporto del metano di grandi dimensioni è presente dal 1984 una normativa che individua alcune distanze di rispetto (DM 24.11. 1984 e sue modifiche).

² Le lunghezze dei due tronchi sono rispettivamente 48.37 e 74. 25 km [1].

propilene come gas liquefatto in pressione. Entrambe le condotte, progettate secondo standard tecnici condivisi internazionalmente, operano ad elevate pressioni, le pressioni di esercizio essendo rispettivamente 36 - 42 bar e 40 - 45 bar. Si tratta in entrambi i casi di sostanze pure classificate pericolose, in particolare altamente infiammabili.

Fig.1 Condotte di interesse nel Comune di Ferrara



Il tronco 4 comprende 3 condotte, anch'esse interrate nello stesso scavo a circa 1.5 m di profondità, delle quali soltanto una è in servizio per il trasporto di ammoniaca liquefatta in pressione dal polo di Ferrara, dove viene prodotta, al polo petrolchimico di Ravenna; la pressione media di esercizio è di 27 bar. Le altre due condotte, riservate in origine al trasporto di etilene e propilene non sono utilizzate e contengono azoto, una delle quali per la gestione di emergenze per la condotta di ammoniaca. La sostanza trasportata è classificata tossica e pericolosa per l'ambiente ai sensi della normativa attuale sulle sostanze pericolose; di essa è nota anche la infiammabilità considerata solitamente di grado basso. In prossimità dei centri abitati lo spessore della condotta è pressoché raddoppiato (da 6.4 mm a 11.1 mm).

1.2.1 Condotte e misure di sicurezza

Le misure di prevenzione dai rischi di rilasci accidentali e di protezione dalle conseguenze di essi sono in linea con i migliori standard internazionali. Si citano: le valvole di intercettazione motorizzate per l'intercettazione rapida, gli strumenti di misura di bassa pressione, i sistemi di rilevazione perdite, i sistemi di protezione anti-corrosione ed infine i piani di controllo per una corretta manutenzione di apparecchiature e infrastrutture.

1.3 L'analisi dei rischi di incidente rilevante: i tratti esterno ed interno allo stabilimento

Con riferimento ai vari passi dell'analisi dei rischi, occorre definire innanzitutto le ipotesi incidentali e studiarne le cause per poter procedere successivamente alla quantificazione ovvero sia alla determinazione delle probabilità di accadimento, o delle frequenze incidentali, di tali ipotesi e degli scenari incidentali che ne possono derivare sia alla stima delle loro conseguenze ovvero alla individuazione delle aree di danno tipiche.

Per quanto riguarda le ipotesi incidentali esse sono le medesime qualunque sia la sostanza trasportata e consistono in rilasci da rotture accidentali, le cui dimensioni grandi o piccole condizionano, assieme alle caratteristiche fisiche della sostanza ed alle condizioni di pressione del trasporto³, le conseguenze. In merito alle tipologie di guasti che le possono determinare l'analisi storica [2], utilizzata ampiamente in questo settore anche per la determinazione delle frequenze incidentali, le individua in generale in: - impatti dovuti ad attività di terzi (urto esterno); - difetti del materiale e di costruzione; - corrosione; - fenomeni naturali; - cause operative; - hot tapping (interventi su una linea in esercizio per errore di identificazione); altro. La disponibilità di un numero elevato di dati di guasto per pipeline di trasporto di liquidi, gas e gas liquefatti permette di indagare sulle frequenze, distinte per tipologia di guasto, e per classi di dimensioni caratteristiche della rottura. Va osservato che trattandosi di condotte, l'incidente può essere localizzato in un punto qualsiasi di esse (la condotta è quindi una sorgente di rischio lineare) ed è prassi fornire la frequenza incidentale con riferimento ad una lunghezza precisa pari ad 1 km.

1.3.1 Ipotesi incidentali, relative frequenze e scenari incidentali

Si sintetizzano nel seguito i risultati provenienti da indagini storiche pregresse eseguite dal DICMA e dallo studio ARIPAR [3]. Da essi si ottengono in genere con riferimento a tre/quattro classi di dimensioni caratteristiche dei fori, i ratei di guasto (o frequenze incidentali) in ev/anno riferiti ad 1 km di lunghezza. Nella tabella sottostante sono state considerate le tre classi dello studio ARIPAR, la prima delle quali (classe 1 modificata) corrispondente all'insieme delle prime due presenti nell'analisi storica a cui ci si è riferiti:

<i>Studio di riferimento</i>	<i>Classe 1 + Classe 2 (d max = 20 mm)</i>	<i>Classe 3 (d = 40mm)</i>	<i>Classe 4 (rott. Cat.)</i>
<i>Studio ARIPAR</i>	2.2 x 10 ⁻⁴	1.322 x 10 ⁻⁴	0.585 x 10 ⁻⁴
<i>Indagini storiche mirate</i>	2.0 x 10 ⁻⁴	1.020 x 10 ⁻⁴	0.200 x 10 ⁻⁴
<i>Indagini storiche mirate (spessore maggiorato)</i>	1.7 x 10⁻⁴	.23 x 10⁻⁴	0.03 x 10⁻⁴

La tabella evidenzia la prevalenza in termini di frequenze dello scenario della classe 1 modificata la cui frequenza è almeno doppia di quella della classe 3 e assai più alta di

³ La temperatura è pari a quella dell'atmosfera o del suolo, se interrate.

quella della classe 4. La differenza tra le frequenze di guasto è assai maggiore se si considerano condotte con spessore maggiorato: in tal caso al variare di una classe la frequenza incidentale si riduce di circa 10 volte. Tale riduzione ad un decimo si evidenzia anche, per le classi 3 e 4, se si confrontano dati di spessore diverso: è indubbio che la presenza di uno spessore maggiorato rende sempre più improbabile la causa corrosione (tipicamente una delle più significative).

Poiché le ipotesi incidentali di cui al par. 1.3 prevedono rilasci con diversa frequenza, per unità di lunghezza, e con diverse dimensioni delle rotture, la valutazione più consona alla determinazione del rischio complessivo sarebbe certamente quella già utilizzata per lo studio ARIPAR ovvero la determinazione per ogni localizzazione del territorio circostante la generica condotta del rischio individuale⁴, una misura di rischio puntuale che considera la combinazione frequenza-effetto di ogni evento ipotizzato. Essa infatti potrebbe consentire di definire una distanza di rispetto (l'obiettivo cui tende questo studio) pari a quella a cui si ottiene un valore accettabile del rischio individuale⁵.

Nel caso in esame è tuttavia necessario confrontarsi con la normativa di riferimento in materia di pianificazione territoriale in presenza di incidente rilevante, l'unica che allo stato attuale definisce regole di legge da rispettarsi (non per le condotte ma) per gli impianti soggetti al rischio qui considerato. Per farlo occorre, come noto, identificare scenari incidentali e associare a ciascuno di essi una probabilità di accadimento⁶ (o meglio un intervallo di probabilità di accadimento) e più distanze di danno, diverse in relazione alla tipologia di lesioni possibili, con ciò definendo aree di danno probabile in cui ammettere insediamenti con caratteristiche diverse.

Il primo passo da svolgere è allora quello di definire gli scenari incidentali a cui riferirsi e cioè le evoluzioni probabili in ambiente di quanto fuoriuscito dalla condotta a causa del guasto accidentale. Tali evoluzioni dipendono dal tipo di sostanza e dalle modalità di trasporto (pressione e temperatura) e quindi sono diverse per i due tronchi di condotte in esame.

In particolare, per il tronco 4 l'unico scenario possibile a seguito di una rottura di qualsivoglia dimensioni è la fuoriuscita e conseguente dispersione atmosferica dell'ammoniaca⁷ e la sua probabilità di accadimento è la stessa calcolata per la tipologia di

⁴ Nella sua accezione europea; in Italia si è solito indicarlo come rischio locale poiché nel suo calcolo non si considera la presenza o meno di popolazione ma si calcola la probabilità di danno generata dalla presenza ed attività della sorgente di rischio, in questo caso la condotta.

⁵ Nel mondo tecnico si è soliti ritenere quale valore accettabile un rischio individuale pari a 10^{-6} ev/a. Tale valore di riferimento, o valori simili, sono norma di legge in alcuni Paesi europei. Ad esso si associano in genere anche le curve F/N di rischio sociale per misurare l'entità complessiva dell'impatto di ciascun scenario incidentale.

⁶ La probabilità di accadimento è stimabile, nei casi qui considerati, come prodotto della frequenza incidentale per il tempo assunto a riferimento. Ciò significa che, se si assume 1 anno, numericamente probabilità e frequenza coincidono.

⁷ La elevata pressione consente di trascurare con buona approssimazione nella valutazione delle conseguenze l'effetto dell'interramento e considerare che la rottura determini lo scoprimiento, quantomeno se il rilascio è di significativa entità.

guasto⁸. Va notato tuttavia che le conseguenze di uno scenario di dispersione in ambiente aperto dipendono dalla turbolenza dell'atmosfera e dalla velocità del vento e, poiché queste variano giornalmente, con le stagioni e nell'anno (base temporale delle nostre valutazioni) occorre tener conto della probabilità che esse si realizzino effettivamente nel territorio di interesse. Ciò comporta la necessità di suddividere il singolo scenario di dispersione in più scenari ciascuno caratterizzato perciò da una minore probabilità di accadimento.

Diverse sono le considerazioni per il tronco 3 poiché le condotte di interesse trasportano prodotti altamente infiammabili. In questo caso gli scenari incidentali possibili per entrambe le sostanze (etilene e propilene) sono: jet fire, (U)VCE – Flash fire e pool-fire con probabilità di accadimento diverse e minori di quelle della rottura di base poiché dovute alla combinazione di probabilità di rottura e probabilità di innesco immediato o ritardato (oltre che, per alcuni scenari, alla probabilità delle condizioni meteorologiche).

1.3.2 Le distanze di danno associabili agli scenari incidentali

1.3.2.1 La condotta di ammoniacca

Poiché la condotta che trasporta ammoniacca si colloca in un contesto territoriale maggiormente vulnerabile (vedi mappa già citata) e, in aggiunta, la tossicità di una sostanza determina in generale maggior pericolosità dell'infiammabilità (soprattutto se si stanno considerando, come nel nostro caso, gas liquefatti in pressione) deve prestarsi maggior attenzione alle conseguenze di incidenti relativi al tronco 4.

Per completezza nella relazione estesa sono stati considerati ai fini della valutazione tutti gli scenari di dispersione risultanti dalle 3 ipotesi di rottura, poiché così si procede se si adotta la procedura di ricomposizione dei rischi tipica degli studi di rischio d'area. Nel caso specifico, come già osservato, la classe 1 modificata è prevalente in termini probabilistici e le altre classi risultano di probabilità decisamente minore in particolare se si considerano i tratti in prossimità degli abitati cui va dedicata la maggior attenzione per le ragioni già dette. Si noti inoltre che i valori numerici riportati sono ulteriormente ridotti sia dalla probabilità che si realizzino specifiche condizioni atmosferiche sia dalla probabilità che il vento, in caso di incidente, spiri proprio nella direzione dei centri abitati.

Per questi motivi, in via sintetica, si è ritenuto di dover focalizzare l'attenzione sulle dispersioni associate alla classe 1 modificata, ovvero alle classi 1 e 2 iniziali la cui frequenza complessiva è stata stimata in 1.7×10^{-4} ripartita in modo quasi paritario tra le due sottoclassi.

Gli scenari di dispersione sono stati sempre localizzati nella sezione intermedia della tratta intercettabile (ipotesi di rottura a metà del tratto), considerando pari ad uno la probabilità di intervento del sistema di intercettazione a monte e a valle della stessa ed ipotizzando un tempo di intercettazione (comprensivo della fase di stabilizzazione

⁸ La probabilità di accensione è considerata trascurabile.

Relazione finale

del flusso) pari a 10 min. Va notato inoltre che, anche ad intercettazione avvenuta, il rilascio non cessa poiché si ha lo svuotamento della linea che avviene con basse portate ma tempi lunghi. Questo aspetto assume importanza minore in prossimità dei centri abitati, a causa della minore distanza di intercettazione (1-3 km) adottata nella realtà, ovviamente a fini cautelativi, in questi casi. Si è inoltre assunto, anche in questo caso conservativamente, che il rilascio fosse orientato verso l'alto.

La valutazione delle conseguenze ha fatto riferimento ai due accorpamenti meteorologici tipici del decreto sulla “pianificazione di emergenza esterna” del Dipartimento della Protezione Civile ovvero D-5 e F-2 (rispettivamente classe di turbolenza e velocità del vento in m/s). Inoltre per poter considerare durate diverse e portate diverse dei rilasci si è fatto riferimento al concetto di dose letale calcolando le distanze alle quali detto valore è ragionevolmente basso e cioè pari allo 0.1 %, che configura, ad avviso di chi scrive, l'identificazione della soglia di inizio letalità. Infatti il calcolo di una sola distanza di danno all'IDLH così come previsto dalla norma di legge sulla pianificazione appariva non in grado di rappresentare la complessità della descrizione fenomenologica.

La tabella seguente riporta le distanze calcolate (in parentesi le frequenze delle due sottoclassi).

	SottoClasse 1	SottoClasse 2
D-5	95	215
F-2	395	770
Frequenza della rottura (rilascio in direzione qualsiasi) ev/a	(.85x10 ⁻⁴)	(.85x10⁻⁴)

Come già osservato saranno diverse le probabilità di accadimento dei due scenari, poiché dipendenti dalla rosa dei venti della zona: in particolare lo scenario F-2 è tipicamente notturno.

La distanza di danno massima (soglia di inizio letalità) in D-5 è pari a 215 m; decisamente più alta nel caso F-2 (circa 750 m).

Si noti che una stima conservativa delle distanze di danno cui si realizza l'elevata letalità (la soglia più elevata - cui corrisponde quindi la distanza minore - definita dal DM 9.05.01) conduce per la sottoclasse 2 della tabella ai valori di distanza di 50 e 85 m, rispettivamente negli accorpamenti D-5 e F-2.

L'associazione probabilità - distanza del centro di vulnerabilità determina infine (vedi altri paragrafi) la categoria di compatibilità.

Esaminando il tratto di condotta di pertinenza dello stabilimento si richiamano semplicemente le conclusioni utili per la classificazione del territorio a fini di pianificazione territoriale così come desunte dalla documentazione del Comune di Ferrara (rimandandosi al Rapporto di Sicurezza dell'azienda per dettagli maggiori). Dal documento si ha:

Distanza all'IDLH = 210 m, scenario di probabilità annua < 10⁻⁶

La soglia di elevata letalità è indicata, con la medesima probabilità, ad una distanza di 3 m.

1.3.2.2 Le condotte di etilene e propilene

Come già affermato per la condotta trasportante ammoniacca, per completezza nella relazione estesa sono stati considerati ai fini della valutazione tutti gli scenari risultanti dalle 3 ipotesi di rottura, poiché così si procede se si adotta la procedura di ricomposizione dei rischi tipica degli studi di rischio d'area.

Tali scenari, se si tiene conto della alta infiammabilità delle sostanze considerate, richiedono che ai fini del calcolo delle probabilità di accadimento si considerino anche le probabilità di innesco, immediato o ritardato, della nube formatasi a seguito del rilascio. Nel caso specifico, agli scenari di jet fire, (U)VCE – Flash fire e pool-fire si associano le probabilità della tabella sottostante che considerano le probabilità di innesco assumendo un territorio circostante l'incidente avente caratteristiche di ambiente industriale-stradale (quello di maggior interesse ai fini delle valutazioni). Nella tabella sono indicati in grigio gli scenari di scarsa rilevanza –dispersione di nube non tossica- o di minore importanza –flash fire (presuppone che la nube non coinvolga se non marginalmente zone abitate).

scenario	Frequenza in ev/(anno x km)		
	Classe 1 + 2	Classe 3	Classe 4
Jet fire	1.020E-04	5.100E-05	1.000E-05
Flash fire	7.160E-05	3.580E-05	7.020E-06
VCE	2.020E-05	1.010E-05	1.980E-06
dispersione	1.020E-05	5.100E-06	1.000E-06

Dalla tabella si nota che le classi 1 modificata e 3 sono prevalenti in termini probabilistici, la classe 4 risultando di probabilità decisamente minore. Si deve anche osservare che i valori numerici riportati per lo scenario VCE sono ulteriormente ridotti dalla probabilità che il vento, in caso di incidente, spiri proprio nella direzione dei centri abitati (inoltre la probabilità che si realizzino specifiche condizioni atmosferiche inciderà sulla massa in zona di esplosività).

Per questi motivi, ai fini di comparazione con il metodo identificato dalla norma in materia di pianificazione territoriale, si è focalizzata l'attenzione sugli scenari associati alla classe 1 modificata e alla classe 3.

Le valutazioni delle conseguenze hanno fatto riferimento, anche in questo caso, ai due accorpamenti tipici del decreto sulla pianificazione già sopra citato ovvero D-5 e F-2 ed inoltre si è distinto tra un efflusso verso l'alto ed uno verso il basso, nell'intento di determinare i valori più conservativi.

Per entrambi gli scenari considerati (jet-fire e VCE) sono state considerate innanzitutto le distanze di danno corrispondenti alla soglia di lesioni irreversibili, secondo quanto indicato dal DM del 2001 (irraggiamento di 5 kW/m² per jet fire e sovrappressione di 0.07 bar per le esplosioni).

I risultati sono sintetizzabili nelle tabelle sottostanti che riportano per lo scenario di getto incendiato i valori della classe di rottura 1 mod. e per il caso della classe 3 le

Relazione finale

distanze indicate dallo scenario VCE, avendo scelto di rappresentare in entrambe le situazioni i dati che configurassero la peggior esposizione.

Distanze di soglia per lesioni irreversibili per la classe 1mod (scenario di getto incendiato)

Distanza (m)	Classe di rottura 1 mod	
	ETILENE	PROPILENE
Distanza a 5 kW/m ²	20	27
Frequenza della rottura (rilascio in direzione qualsiasi - ev/(km x a)	1.020E-04	1.020E-04

Distanze di soglia per lesioni irreversibili per la classe 3, in caso di ambiente industriale-stradale (scenario VCE)

Condizioni meteo	Classe di rottura 3	
	ETILENE	PROPILENE
D-5	68	84
F-2	75	105
Frequenza della rottura (rilascio in direzione qualsiasi - ev/(km x a)	1.010E-05	1.010E-05

Dovendosi definire una distanza di rispetto appare indispensabile riferirsi ad una scelta conservativa scegliendo **105 m come valore di riferimento per le lesioni irreversibili.**

Qualora si volesse definire anche una fascia più ristretta corrispondente alla soglia di inizio letalità (sovrapressione pari a 0.14 bar) ne risulterebbero, per la classe di rottura 3, le distanze indicate in tabella.

Distanze di soglia per inizio letalità per la classe 3 (scenario VCE)

Condizioni meteo	Classe di rottura 3	
	ETILENE	PROPILENE
D-5	44	59
F-2	49.5	75
Frequenza della rottura (rilascio in direzione qualsiasi - ev/(km x a)	1.010E-05	1.010E-05

La distanza di rispetto di scelta conservativa è pari a **75 m come valore di riferimento per inizio letalità.**

Si è già detto che saranno diverse le probabilità di accadimento dei due scenari: in particolare lo scenario F-2 è tipicamente notturno. E ancora, l'associazione

probabilità - distanza del centro di vulnerabilità determinerà (vedi altri paragrafi) la categoria di compatibilità.

1.4 Considerazioni preliminari sulla compatibilità territoriale

Si è già osservato come sia necessario, al fine di definire le probabilità di accadimento degli scenari considerati e stabilire così le compatibilità territoriali con i centri di vulnerabilità esistenti o futuri, tener conto del fatto che tali scenari dipendono dalla direzione e dal modulo della velocità del vento nonché dalle condizioni di turbolenza atmosferica.

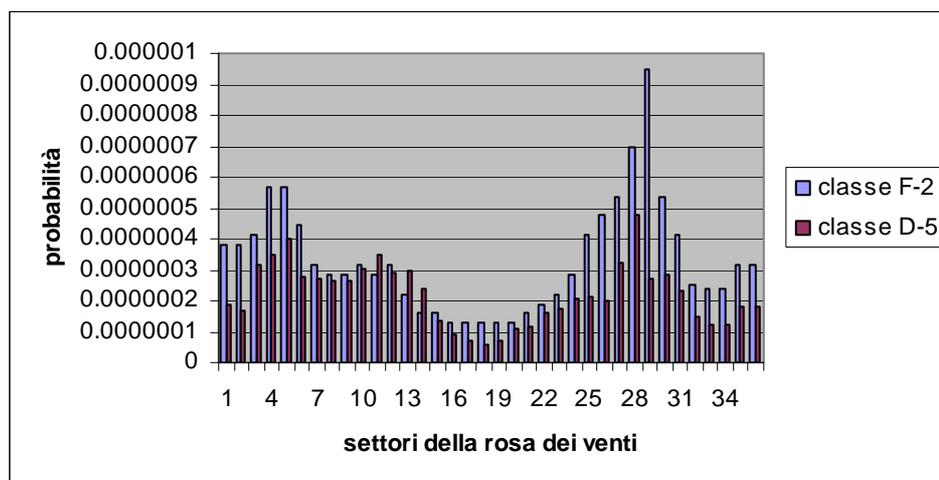
E' stato indispensabile perciò eseguire preliminarmente un esame delle condizioni meteorologiche della provincia di Ferrara.

Utilizzando elaborazioni dei dati dell'ARPA è stato possibile determinare:

1. per la condotta ammoniacale, la frequenza in $ev/(a \times km)$ di un generico scenario di dispersione di ammoniacale di sottoclasse 1 o 2 con vento proveniente da uno specifico settore di ampiezza 10 gradi, con velocità media definita e classe di stabilità specifica, in assenza di pioggia;
2. per le condotte etilene e propilene, la frequenza in $ev/(a \times km)$ di un generico scenario di VCE con vento proveniente da uno specifico settore di ampiezza 10 gradi, con velocità media definita e classe di stabilità specifica.

I dati citati sono gli elementi di base indispensabili per costruire i dati di probabilità richiesti: essi dovranno tener conto anche della lunghezza di condotta efficace per ogni singolo centro di vulnerabilità ai fini dello scenario in gioco.

A titolo esemplificativo dell'entità di tali elementi di base si riporta la figura sottostante che rappresenta la probabilità su base annua di scenari di dispersione di ammoniacale in funzione dei settori della rosa dei venti.



Relazione finale

Per una stima conservativa dell'interazione centri di vulnerabilità - territorio antropizzato è stata messa a punto una procedura di calcolo delle probabilità di ciascun scenario (e per la distanza caratteristica considerata) che, dato un centro di vulnerabilità, identifica il tratto di condotta efficace e, dopo aver determinato i settori di direzione del vento che interessano il centro di vulnerabilità per quel tratto di condotta, calcola con quale probabilità lo scenario di riferimento avente collocazione in un punto qualsiasi della condotta coinvolge il centro di vulnerabilità oggetto di osservazione.

A distanza definita ciò significa individuare la categoria di compatibilità ai sensi della tabella della norma di legge dal cui confronto con la categoria territoriale del centro deriva la compatibilità del centro medesimo.

1.4.1 Compatibilità territoriale ed aree critiche

La procedura messa a punto è stata applicata ai centri e alle aree ad oggi collocate in prossimità delle condotte.

La tabella sottostante riporta, per i centri collocati in prossimità della tratta 4, la superficie, le distanze dalla condotta di ammoniaca ed il numero di persone che caratterizzano il centro. Soltanto un centro, il numero 14, si colloca invece in prossimità delle condotte di infiammabili.

Dati dei centri di vulnerabilità

N°	TIPO_ATTREZZATURA	AREA (m ²)	Distanza dalla condotta (m)	n. presenze	categoria territoriale del centro
1	Chiesa	4529	600	<1000?	C (<1000 chiuso)
2	centro sportivo	12150	850	<100	C (ammesso sempre per partite di calcio settimanali)
3	Chiesa	6360	570	<1000?	C (<1000 chiuso)
4	scuola media superiore	60931	250-500	<500	C
5	centro sportivo	25667	411-530	<100	C
6	scuola elementare	1910	570	75-73	B
7	scuola media inferiore	13691	633	90 (anno 05-06) 126 (anno 06-07)	<100 C, > 100 B
8	centro sportivo	51437	680-980	<100	C
9	casa per anziani	2646	773	31 posti letto	A
10	centro anziani	9954	630	800 all'aperto 450 al chiuso	attività ricreative: B per quelle all'aperto; C per quelle al chiuso
11	scuola elementare e media inferiore	5479	630	05-06 : (214+164) = 378 06-07 : (211+134) = 345	A per scuola elementare; B per scuola media
12	alloggi per anziani	2130	650	chiuso	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
13	asilo nido e scuola materna	4231	752	50 (anno 05-06)	B
14	campo nomadi	7084			indice di edificazione?

Relazione finale

Inoltre, seguendo le definizioni della normativa sulla pianificazione territoriale, si riportano in tabella anche le categorie territoriali cui i centri appartengono. In casi dubbi sono state fatte le seguenti scelte: scuole elementari considerate “scuole inferiori”, scuole medie inferiori considerate “scuole superiori”.

Si noti che nessuna “attrezzatura” si trova a distanza inferiore a 215 m (limite per inizio letalità nella classe D-5). Ciò significa che se si considera la classe D-5 la distanza effettiva configura, nella peggiore delle ipotesi, una collocazione nella zona di compatibilità corrispondente a “lesioni irreversibili”. La categoria di compatibilità resta fissata ovviamente una volta che sia noto anche il valore di probabilità dello scenario, per calcolare il quale è stata adottata conservativamente un distanza massima dalla condotta pari ancora a 770 m.

Applicando le valutazioni sintetizzate nel testo soprastante si ottengono i valori della tabella di pagina seguente nella quale per ciascun centro, si riportano:

- categoria territoriale;
- probabilità di rilascio e compatibilità territoriale per rilascio di ammoniaca in accorpamento D-5 (si ricorda che la localizzazione di tutti i centri li colloca in zona “lesioni irreversibili”)
- probabilità di rilascio e compatibilità corrispondente per rilascio di ammoniaca in accorpamento F-2 (si ricorda che la localizzazione di tutti i centri li colloca in zona “inizio letalità”)

Nella tabella in rosso si rappresentano le situazioni non compatibili secondo le valutazioni effettuate e in arancione quelle dubbie.

Si noti che soltanto il punto 14 si colloca nell’area di influenza delle condotte che trasportano etilene e propilene. Per esso occorre osservare che il punto si colloca praticamente a ridosso della condotta e la valutazione eseguita è di fatto indipendente dalla direzione del vento anche nel caso di VCE (ogni direzione può infatti determinare il coinvolgimento).

La determinazione della categoria di compatibilità per la localizzazione attuale del centro non può però prescindere dal fatto che la vicinanza con la condotta potrebbe collocare il punto all’interno di una distanza inferiore a quella tipica non delle lesioni irreversibili (quella considerata) ma di inizio letalità avendosi così non più la classe di compatibilità CDEF (per quel valore di probabilità) ma quella DEF. Se si considerano i valori calcolati in precedenza, la distanza massima di compatibilità DEF è pari a 75 m, mentre diviene CDEF tra 75 e 105 m.

Categorie di compatibilità territoriali per la condotta di ammoniaca.

n.	Tipo di attrezzatura	Categoria territoriale del centro	Probabilità di coinvolgimento in rilascio in accorpamento D-5	Compatibilità per accorpamento D-5	Probabilità di coinvolgimento in rilascio in accorpamento F-2	Compatibilità per accorpamento F-2
1	chiesa	C (<1000 chiuso)	1.30548E-07	BCDEF	1.94835E-07	1.30548E-07 CDEF
2	centro sportivo	C (sempre ammesso per partite di calcio settimanali)	Si colloca in zona “ lesioni reversibili” per l'accorpamento D-5 e in zona “ lesioni irreversibili “ per quello F-2 . Ne segue che la compatibilità è al massimo (per probabilità compresa tra 10 ⁻⁶ e 10 ⁻⁴) pari a BCDEF per D-5 e CDEF per F-2.			
3	chiesa	C (<1000 chiuso)	2.83915E-07	BCDEF	4.31838E-07	CDEF
4	scuola media superiore	C	5.57127E-07	BCDEF	7.69721E-07	CDEF
5	centro sportivo	C	2.78624E-07	BCDEF	3.99238E-07	CDEF
6	Scuola elementare	B	2.1 x 10 ⁻⁷	BCDEF	4.7 x 10 ⁻⁷	CDEF (1)
7	scuola media inferiore	<100 C, > 100 B	3.3656E-08	BCDEF	5.74068E-08	CDEF (2)
8	centro sportivo	C	4.6087E-07	BCDEF	7.25761E-07	CDEF
9	casa per anziani	A	Si colloca in zona “ lesioni reversibili” per l'accorpamento D-5 e in zona “ lesioni irreversibili “ per quello F-2 . Per gli accorpamenti D-5 e F-2 la probabilità dello scenario è sempre < 10 ⁻⁶ anche considerando il coinvolgimento in incidenti riguardanti circa 3 km(!) di condotta: compatibilità ABCDEF per D-5 e BCDEF per F-2.			
10	centro anziani	attività ricreative: B per quelle all'aperto; C per quelle al chiuso	4.6087E-07	BCDEF	7.25761E-07	CDEF
11	scuola elementare e media inferiore	A per scuola elementare; B per scuola media	6.14191E-08	BCDEF	8.63537E-08	CDEF (2)
12	alloggi per anziani	chiuso	-----	-----	-----	-----
13	asilo nido e scuola materna	B	Si colloca in zona “ lesioni reversibili” per l'accorpamento D-5 e in zona “ lesioni irreversibili “ per quello F-2 . Per l'accorpamento D-5 la probabilità dello scenario è trascurabile: compatibilità ABCDEF. Per l'accorpamento F-2 la probabilità dello scenario è bassa (8.9 x 10 ⁻⁷) anche considerando il coinvolgimento in incidenti riguardanti circa 3 km(!) di condotta: compatibilità BCDEF.			
14	Campo nomadi	indice di edificazione?(densità media di presenze?)	2.20 x 10 ⁻⁶ : compatibilità DEF per distanze < 75 m, CDEF per distanze tra 75 e 105 m.			

Relazione finale

- 1) Vedi nota 1. sottostante.
- 2) Vedi nota 2. sottostante.

Dalla tabella si evidenziano alcuni centri di vulnerabilità non compatibili o di dubbia compatibilità sui quali si svolgono le seguenti considerazioni.

TRATTO 4 (condotta di ammoniaca)

1. centro 6: scuola elementare. L'incompatibilità è riferita allo scenario di accorpamento F-2. In merito è opportuno considerare la distribuzione nelle ore della giornata della classe di stabilità F così come riportata nel documento ARPA già citato (da cui è estratta la Fig. 9 di pagina seguente). Si può osservare che la classe di stabilità F risulta assente durante il giorno sia nel periodo invernale che nel periodo estivo, in particolare con riferimento all'intervallo orario 6.30 - 16. Ne consegue che considerare una probabilità irrilevante (al limite nulla) per lo scenario F-2 durante l'orario tipico delle scuole inferiori appare del tutto ragionevole. Ciò deve indurre, a giudizio di chi scrive, a non considerare critica la compatibilità con lo scenario di accorpamento F-2 nel caso delle scuole inferiori.
2. La nota 1. vale anche per i centri n.7 e n. 11 stante gli orari tipici delle scuole elementari e medie inferiori.

E' necessario inoltre sottolineare una considerazione del tutto generale: se le attività del centro di vulnerabilità si svolgono al chiuso ciò configura la presenza di una mitigazione del rilascio poiché è ben noto che la concentrazione in un ambiente chiuso sale dal valore nullo al valore presente all'aperto in tempi finiti e significativi che dipendono dal rateo di ventilazione dell'ambiente. Non a caso il rifugio al chiuso è la prima misura di protezione per rilasci di sostanze tossiche indicata dal Dipartimento della Protezione Civile nel suo documento "Linee guida per la pianificazione dell'emergenza esterna in..." recentemente aggiornato (2005) .

La valutazione effettuata per centri la cui attività si svolge al chiuso è quindi ulteriormente sovrastimata e ciò rende, ad avviso di chi scrive, non significativamente preoccupanti le caratteristiche dei centri 9 e 11.

Un parziale non compatibilità resta alla fine per il centro anziani (n. 10 della tabella), se si considerano le possibilità di ricreazione all'aperto che vengono offerte (ballo e parco). Va notato in merito che per queste attività vi è possibilità di appartenenza alla categoria C se, come recita il DM, luogo "di qualunque dimensione se la frequentazione è al massimo settimanale". Oltre all'ovvia correzione che massimo deve essere sostituito con minimo, si osserva che una delle attività citate (ballo) ha certamente periodicità > o uguale a quella settimanale e resta pertanto quale incognita la potenzialità del parco poiché non è noto quante persone mediamente raccolga durante il giorno (> o < di 100?).

Tutte le considerazioni svolte mostrano da un lato la complessità valutativa risultante dalla necessità di adattare il metodo del DM 2001 alle condotte di trasporto sostanze pericolose, dall'altro tuttavia possono fornire indicazioni per la definizione di distanze di rispetto basate su un'analisi quantitativa del rischio che, sia pur caratterizzata da incertezze, è certamente condivisa poiché fondata su analisi storiche pregresse.

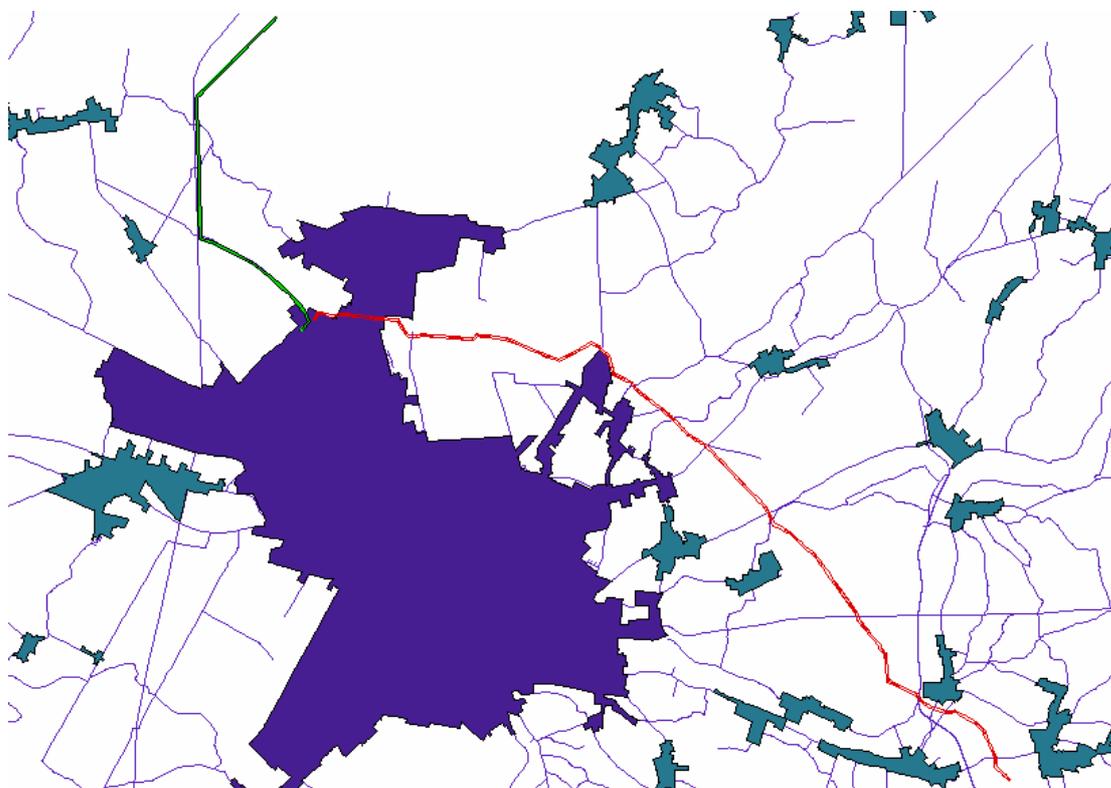
2. Definizione tracciati e caratteristiche delle condotte in esame

Le condotte oggetto dello studio appartengono alla pipeline NORD ADRIATICO[1] della società Polimeri Europa che collega gli stabilimenti petrolchimici di Marghera, Ferrara e Ravenna ed in particolare si considerano i tronchi 3 (Monselice – Ferrara, lunghezza 48.3 km) e 4 (Ferrara – Ravenna, lunghezza 74.246 km) per i soli tratti compresi nel Comune di Ferrara.

2.1 I tracciati delle condotte

L'area di indagine è rappresentata nella mappa di fig.1 che include le parti dei due tronchi 3 e 4 di condotte compresi nel territorio del Comune di Ferrara e di lunghezza rispettivamente pari a 6.5 km e 15 km circa (fig. 1, tratti verde e rosso). La mappa riporta anche le aree che rappresentano il centro urbano e i centri abitati del Comune, poiché l'obiettivo dello studio è di valutare quali parti del territorio siano maggiormente vulnerabili al rischio di incidente rilevante derivante dalla presenza e dall'utilizzo delle condotte. Quali parametri di identificazione della vulnerabilità sono stati assunti sia la densità abitativa sia la presenza di altri centri quali centri commerciali, scuole, ospedali, in tal modo uniformandosi a quanto esplicitamente indicato nel DM 5.05.01 con il quale si desidera confrontarsi.

Fig. 1 Condotte di interesse nel Comune di Ferrara



Relazione finale

Nell’area di indagine sono presenti alcuni centri abitati: in particolare con riferimento al tronco 3 si colloca ad una distanza inferiore ad 1 km il centro di Pontelagoscuro, mentre, con riferimento al tronco 4, si collocano a una distanza inferiore ad 1 km i centri di Pontelagoscuro, Barco, Malborghetto di Boara, Focomorto, Codrea, Cona e Quartesana.

I siti di interesse ai fini dell’analisi di rischio di cui al presente documento sono evidenziati nella mappa di fig. 2 e le loro caratteristiche riportate in tab. 1: si è fatto riferimento quale area di impatto di prima approssimazione ad una distanza massima dalla condotta di circa 800 m riservandosi di ampliarla o ridurla se ritenuto necessario a seguito delle valutazioni.

Fig. 2



Tab. 1 Siti sensibili

N°	TIPO_ATTREZZATURA	AREA (m ²)
1	chiesa	4529
2	centro sportivo	12150
3	chiesa	6360
4	scuola media superiore	60931
5	centro sportivo	25667
6	scuola elementare	1910
7	scuola media inferiore	13691
8	centro sportivo	51437

Relazione finale

N°	TIPO_ATTREZZATURA	AREA (m ²)
9	casa per anziani	2646
10	centro anziani	9954
11	scuola elementare e media inferiore	5479
12	alloggi per anziani	2130
13	asilo nido e scuola materna	4231
14	campo nomadi	7084

Tab. 1continua.... Siti sensibili

2.1.1. Il percorso del tronco 4: alcuni dettagli

Analisi precedenti eseguite in occasione dell'aggiornamento dello studio ARIPAR [2] consentono di fornire un maggior dettaglio relativamente alle caratteristiche del percorso del tronco 4, che si caratterizza per il trasporto di ammoniaca.

In particolare si osserva quanto segue.

La condotta Ferrara - Ravenna è entrata in funzione nel dicembre 1993, e come tale è dunque di progettazione e costruzione abbastanza recenti. Essa ha una lunghezza complessiva di 75217 m ed è sezionata da 13 valvole in 12 tratte intercettate, di lunghezza variabile da 323 a 10380 m, con un hold - up compreso tra 6.2 e 198.2 tonnellate.

Di queste 12 tratte le ultime due sono collocate nella zona interessata dal progetto Aripar (Ravenna e provincia), mentre interessano il Comune di Ferrara le tratte da 1 a 5 incluse riportate nella tab. 2.

Tab. 2 Tratte della condotta comprese nel comune di Ferrara

Tratta n.	Lunghezza (m)	Volume (m ³)
1	1462	47.4
2	323	10.5
3	4454	144.4
4	7994	259.2
5	1002	32.5

2.2 Le caratteristiche tecniche delle condotte

Il tronco 3 comprende due condotte, interrato nel medesimo scavo a circa 1.5 m di profondità, che trasportano al polo di Ferrara rispettivamente etilene gassoso e propilene quale gas liquefatto in pressione provenienti dal Petrolchimico di Marghera che gestisce anche la condotta che trasporta ammoniaca. Entrambe le condotte, progettate secondo standard tecnici condivisi internazionalmente, operano ad elevate pressioni, le pressioni di esercizio essendo rispettivamente 36 - 42 bar e 40 - 45 bar [1].

Relazione finale

Si tratta in entrambi i casi di sostanze pure classificate pericolose, in particolare altamente infiammabili.

Il tronco 4 comprende 3 condotte, anch'esse interrate nello stesso scavo a circa 1.5 m di profondità, delle quali soltanto una è attualmente in servizio per il trasporto di ammoniaca liquefatta in pressione dal polo di Ferrara, dove viene prodotta, al polo petrolchimico di Ravenna; la pressione media di esercizio è di 27 bar. Le altre due condotte, riservate in origine al trasporto di etilene e propilene non sono utilizzate e contengono azoto, una delle quali per la gestione di emergenze per la condotta di ammoniaca. La sostanza trasportata è classificata tossica e pericolosa per l'ambiente ai sensi della normativa attuale sulle sostanze pericolose.

Nella tab.3 si riportano le caratteristiche principali delle condotte, così come riferite dall'azienda [1].

Tab. 3 Caratteristiche costruttive principali delle condotte

Terzo tronco	DN	Spessore nominale (mm)	Classe	Materiale
Etilene	12"	6.35	ASA 400	API 5LX42
Propilene	6"	4.78	ASA 600	API 5LX42
Quarto tronco				
Etilene (Azoto)	10"	6.35	ASA 400	API 5LX42
Ammoniaca	8"	6.35 - 11.3 (*)	ASA 400	API 5L Gr.B
Propilene (Azoto)	8"	6.35	ASA 400	API 5L Gr.B

(*) In prossimità dei centri abitati lo spessore della condotta è pressoché raddoppiato.

2.2.1 Condotte e misure di sicurezza

Le misure di prevenzione dai rischi di rilasci accidentali e di protezione dalle conseguenze di essi sono in linea con gli standard internazionali.

Le valvole di linea per l'intercettazione -motorizzate- sono interrate all'interno di aree recintate (camere valvole). Esse sono azionabili sia in loco che a distanza dallo Stabilimento di Porto Marghera, mediante un sistema di telecontrollo. Sulle linee di etilene, propilene ed ammoniaca sono installati anche pressostati e dispositivi di line - break che provocano una chiusura automatica in caso di bassa pressione, con un tempo d'intercettazione pari a 30 sec. Lungo il percorso non vi sono pompe di rilancio.

Le perdite di prodotto sono evidenziate da un bilancio orario di materia, gestito da un calcolatore di processo, nel caso del trasporto di etilene e propilene; nel caso del trasporto di ammoniaca il sistema di rilevazione delle perdite si avvale di tre diverse tecniche: al bilancio di materia si aggiungono il bilancio di portata ai nodi ed il controllo delle pressioni sulla condotta.

Sono inoltre presenti anche sistemi anticorrosione. Per la protezione da corrosione esterna sono adottati: la protezione attiva mediante protezione catodica realizzata con anodi sacrificali e con corrente impressa e la protezione passiva

mediante rivestimento con polietilene estruso per le tubazioni interrate, cicli di verniciatura per i brevi tratti di tubazione posti fuori terra.

Precauzioni adottate per prevenire i rilasci sono anche: l'adozione di materiali e di controlli opportuni per evidenziare i difetti sui medesimi, il controllo totale mediante radiografie delle saldature di flange, valvole e pezzi speciali, il sovrappessoramento in corrispondenza dei centri abitati, la profondità di posa e la segnalazione per l'intera lunghezza (per la sola condotta di ammoniaca) .

Si segnalano infine i piani di controllo per una corretta manutenzione di apparecchiature e infrastrutture: la periodicità è di 3 volte/settimana per controllo di routine del tracciato, trimestrale per sistemi di comunicazione e movimentazione valvole, semestrale per i blocchi, la protezione catodica e la taratura degli esplosivimetri.

3. Proprietà di pericolosità delle sostanze trasportate

Si riassumono nel seguito le principali proprietà chimico- fisiche e di pericolosità delle sostanze etilene, propilene e ammoniaca di cui in Appendice 1 si forniscono le schede di sicurezza complete.

Tab. 4 proprietà di pericolosità delle sostanze trasportate

PROPRIETÀ	ETILENE	AMMONIACA	PROPILENE
Massa molare (kg/kmol)	28.1	17.	42.1
Stato fisico in condizioni ambiente	Gas	gas	gas
Temperatura di ebollizione (K)	169.5	239.7	225.4
Temperatura di fusione (K)	104.	195.4	87.9
Pressione di vapore (a 273 K), Pa	3 992 000	430 000	bbbb
Temperatura critica (K)	282.4	405.6	364.4
Pressione critica (Pa)	5 031 800	11 278 000	4 612 600
Temperatura di infiammabilità (K)	137.	n.d.	165.
LII (in condizioni ambiente) %vol	2.7	16.	2.4
LSI (in condizioni ambiente) %vol	36.	25.	10.1
Temperatura di autoaccensione (K)	763	924.	733.
IDLH (ppm)	-----	300.	-----

La tab. 4 evidenzia che le condizioni di trasporto dell'etilene sono quelle tipiche di un gas compresso, essendo la sua temperatura critica al di sotto della usuale temperatura ambiente, mentre sia propilene che ammoniaca sono trasportati come gas liquefatti e la pressione di trasporto è di gran lunga al di sopra della pressione di

vapore a temperatura ambiente per evitare, nonostante le necessarie perdite di carico, il cambiamento di fase.

La tabella inoltre mostra le caratteristiche di estrema infiammabilità di etilene (che ha anche un campo di infiammabilità ampio) e propilene, mentre l'ammoniaca ha fondamentalmente proprietà di tossicità, poiché i suoi limiti di infiammabilità sono vicini e più elevati di quelli delle sostanze altamente infiammabili.

4. Analisi di rischio (da documentazione disponibile presso il DICMA)

L'analisi dei rischi di incidente rilevante di una condotta segue i passi usualmente adottati per un impianto: occorre definire innanzitutto le ipotesi incidentali e studiare le loro cause per poter procedere successivamente alla quantificazione. Quest'ultima consiste nella determinazione delle probabilità di accadimento, o delle frequenze incidentali, delle ipotesi identificate e degli scenari incidentali che ne possono derivare (determinati attraverso gli alberi degli eventi) e nella stima delle loro conseguenze ovvero nella individuazione delle aree di danno tipiche.

Tali ipotesi e le cause che le determinano sono stimabili, nel caso delle condotte, attraverso il metodo dell'analisi storica [3, 4] che, in questo settore è ampiamente utilizzata anche per la determinazione delle frequenze incidentali.

Le ipotesi incidentali consistono nei rilasci da rotture accidentali; l'analisi storica ne individua le cause in:

- impatti dovuti ad attività di terzi (urto esterno);
- difetti del materiale e di costruzione;
- corrosione;
- fenomeni naturali;
- cause operative;
- hot tapping (interventi su una linea in esercizio per errore di identificazione);
- altro.

Alle diverse cause è possibile associare, se si dispone di una statistica significativa, le frequenze di guasto della condotta. E' questo il caso dei Rapporti Egig 1988, 1993 che riportano un'analisi storica dei guasti delle pipeline europee trasportanti gas (liquefatti o meno) .

Inoltre la disponibilità di un numero elevato di dati di guasto permette di indagare sulle frequenze distinte per tipologia di guasto e per classi di dimensioni caratteristiche della rottura. Va osservato che trattandosi di condotte, l'incidente può essere localizzato in un punto qualsiasi di esse (la condotta è quindi una sorgente di rischio lineare) ed è prassi fornire la frequenza incidentale con riferimento ad una lunghezza pari ad 1 km.

4.1 Ipotesi incidentali e frequenze incidentali

4.1.1 Da analisi storica (come da indagine eseguita nel contesto di studi pregressi)

L'analisi di sicurezza cui si fa riferimento, di base di per un lavoro scientifico [5], desume le frequenze di guasto della condotta da un'analisi storica dei guasti delle pipeline europee trasportanti gas (liquefatti o meno) i cui risultati sono riassunti nel Rapporto Egig 1988 [3]. Con riferimento alle cause di guasto già evidenziate per tutte le condotte, si osserva:

- non viene ritenuta credibile un'interazione tra le linee poste nello stesso scavo;
- si escludono le cause 'fenomeni naturali', 'cause operative', 'hot tapping', ritenendole inverosimili o per le caratteristiche della condotta stessa o per le caratteristiche della zona da essa attraversata; (anche per la causa 'fenomeni naturali' tale scelta non appare riduttiva se si considera l'attuale e modesta classificazione sismica e soprattutto le analisi eseguite sul campo).

Dall'analisi seguono quattro tipologie di rottura per rappresentare l'intero spettro dei rilasci possibili:

1. diametro foro = 5 mm;
2. diametro foro = 20 mm;
3. diametro foro = 40 mm;
4. rottura catastrofica.

Si noti che il Rapporto Egig individua quale prima tipologia di rottura quella di diametro foro ≤ 20 mm; nello studio citato per avere una maggior precisione tale classe è stata ulteriormente suddivisa assumendo per essa due diametri, uno pari appunto a 20 mm, ed uno più piccolo, pari a 5 mm, ripartendo in modo quasi sempre uniforme le frequenze incidentali; per la sola causa 'urto esterno' si è attribuito l'intero valore della frequenza di guasto alla classe 2.

Inoltre sono state fatte le seguenti ipotesi:

- per la causa 'urto esterno' la frequenza di guasto è funzione dello spessore della condotta ed è quindi minore nei punti in cui lo spessore è maggiorato (11.3 mm per la condotta di ammoniaca) essendo in tal caso la condotta più robusta. Inoltre si stima che la copertura di 1.5 m consenta una riduzione del 50 % del rateo di guasto desunto in funzione dello spessore;
- per la causa 'difetti del materiale e di costruzione' si è assunto il valore di frequenza di guasto per condotte costruite dopo il 1974;
- la rottura di classe 4 è ritenuta credibile per la sola causa 'urto esterno', date le caratteristiche costruttive della condotta.

I ratei di guasto utilizzati sono riportati nella tabella 5 di pagina seguente: essi sono espressi in eventi per 1000 km di linea e per anno.

Tab. 5. frequenze incidentali delle condotte (ev/ (10³ km x anno))

<i>Modo di guasto</i>	<i>Classe 1</i>	<i>Classe 2</i>	<i>Classe 3</i>	<i>Classe 4</i>	<i>Rateo totale</i>
<i>urto esterno</i>					
<i>(spessore < =6.4 mm)</i>	0	0.0250	0.0850	0.0200	0.1300
<i>(spessore 11.1 mm)</i>	0	0.0090	0.0060	0.0030	0.0180
<i>difetto di costruzione</i>	0.0170	0.0170	0.0130	0	0.0470
<i>corrosione</i>	0.0500	0.0500	0.0020	0	0.1020
<i>altro</i>	0.0225	0.0225	0.0020	0	0.0470
<i>Rateo totale</i>					
<i>(spessore 6.4 mm)</i>	0.0895	0.1145	0.1020	0.0200	0.3260
<i>(spessore 11.1 mm)</i>	0.0895	0.0990	0.0230	0.0030	0.2145

4.1.2 Ipotesi incidentali da studio ARIPAR

Il calcolo delle frequenze di guasto è stato effettuato utilizzando i dati del Rapporto Egig 1993 [4] che estende al 1992 il periodo di raccolta dei dati (il Rapporto 1988 considerava gli incidenti avvenuti dal 1970 al 1986). Le tre tipologie di rottura individuate dal Rapporto 1993 per rappresentare l'intero spettro dei rilasci possibili sono le seguenti:

1. diametro foro ≤ 20 mm;
2. $20 < \text{diametro foro} < 203$ mm;
3. diametro foro ≥ 203 mm.

Esse differiscono da quelle identificate dal Rapporto 1988, ma è ancora possibile assumere fori di 5 e 20 mm per rappresentare le rotture con diametro ≤ 20 mm (distribuendo uniformemente tra queste due classi per tutte le possibili cause di guasto i ratei relativi a fori con diametro ≤ 20 mm), il foro di 40 mm per le rotture con diametro tra 20 e 203 mm e infine la rottura a ghigliottina per fori con diametro ≥ 203 mm.

Sono state fatte le seguenti assunzioni:

- per la causa 'urto esterno' si è fatta una scelta conservativa assumendo il valore del rateo di guasto in funzione del diametro della condotta anziché dello spessore o dell'interramento;
- per la causa 'difetti di costruzione' è stato scelto il rateo di guasto in funzione del periodo di costruzione della condotta. In definitiva si è assunto un rateo di guasto significativo per una condotta di 12 anni così tenendo conto in qualche modo della vita media della condotta e del suo invecchiamento, ovvero del fatto che i guasti sono più probabili quanto più la condotta si avvicina al termine della sua vita operativa;
- si sono escluse le cause di guasto 'hot tapping' e 'cause operative'.

I ratei di guasto utilizzati sono riportati nella tab. 6: essi sono espressi in eventi per 1000 km di linea e per anno.

Tab. 6. frequenze incidentali delle condotte (ev/ (10³ km x anno)) per spessori di 6.4 mm.

<i>Modo guasto</i>	<i>Classe 1</i>	<i>Classe 2</i>	<i>Classe 3</i>	<i>Classe 4</i>	<i>Rateo totale</i>
<i>Urto esterno</i>	0.0441	0.0441	0.2234	0.0784	0.4900
<i>difetti costruz.</i>	0.0315	0.0315	0.0194	0.0065	0.0890
<i>corrosione</i>	0.0205	0.0205	0	0	0.0410
<i>fen .naturali</i>	0.0042	0.0042	0.0119	0.0136	0.0340
<i>hot tapping</i>	0	0	0	0	0
<i>altro</i>	0.0136	0.0136	0.0017	0	0.0290
<i>rateo totale</i>	0.1139	0.1139	0.2564	0.0985	0.6830

Il rateo di guasto di una condotta non è direttamente dipendente dalla sostanza trasportata all'interno della condotta. Si ritiene pertanto utile confrontare i ratei di guasto dei due studi citati con i valori utilizzati per l'analisi di rischio dei gasdotti (metanodotti) e degli oleodotti all'interno dell'area Aripar (a parità di diametro - quello minore - e, quando possibile, di spessore e interramento).

Tab. 7. Confronto tra ratei di guasto (ev/ (10³ km x anno)) per spessori di 6.4 mm.

Classi /origine dati	Studio 1	Studio ARIPAR	Gasdotti ARIPAR	Oleodotti ARIPAR
classe 1	0.0895	0.1139	0.2600	0.1900
classe 2	0.1145	0.1139	0.2600	0.1900
classe 3	0.1020	0.2564	0.2600	0.1900
classe 4	0.0200	0.0985	0.0340	0.0520
rateo totale	0.3260	0.5830	0.8140	0.6220

4.2 Eventi e frequenze incidentali di riferimento

Ai fini dello studio richiesto dal Comune di Ferrara si è fatto riferimento ai dati dello studio di cui al par. 4.1.1. (denominato Studio n. 1), ritenendoli maggiormente dettagliati, e sono state considerate tre classi, le stesse degli studi di indagine storica EGIG prima citati, la prima delle quali (classe 1 modificata) corrispondente all'insieme delle prime due già citate. In sintesi l'insieme a cui si fa riferimento è quello di Tab. 8 di pagina seguente (si noti che le frequenze sono espresse con riferimento a 1 km):

Tab. 8. Ratei di guasto di riferimento per lo studio (ev/ (km x anno))

<i>Studio di riferimento</i>	<i>Classe 1 modificata (Classe 1 + Classe 2) (d max = 20 mm)</i>	<i>Classe 3 (d = 40 mm)</i>	<i>Classe 4 (rottura catastrofica)</i>
<i>Studio n.1</i>	2.0×10^{-4}	1.020×10^{-4}	0.200×10^{-4}
<i>Studio n.1 (spessore maggiorato)</i>	1.7×10^{-4}	2.3×10^{-5}	3.0×10^{-6}

La tabella evidenzia la prevalenza in termini di frequenze dello scenario della classe 1 modificata la cui frequenza è, se ci si riferisce alla riga 1, almeno doppia di quella della classe 3 e assai più alta di quella della classe 4.

La differenza tra le frequenze di guasto è assai maggiore se si considerano condotte con spessore maggiorato: in tal caso al variare di una classe la frequenza incidentale si riduce di circa 10 volte. Tale riduzione ad un decimo si evidenzia anche, per le classi 3 e 4, se si confrontano dati di spessore diverso: è indubbio che la presenza di uno spessore maggiorato rende sempre più improbabile la causa corrosione (tipicamente una delle più significative) .

4.3 Eventi incidentali identificati e scenari incidentali: gli alberi degli eventi quantificati

Poiché le ipotesi incidentali di cui al par. 4.2 prevedono rilasci con diversa frequenza, per unità di lunghezza, e con diverse dimensioni delle rotture, la valutazione più consona alla determinazione del rischio complessivo sarebbe certamente quella già utilizzata per lo studio ARIPAR ovvero la determinazione per ogni localizzazione del territorio circostante la generica condotta del rischio individuale⁹, una misura di rischio puntuale che considera la combinazione frequenza-effetto di ogni evento ipotizzato. Essa infatti potrebbe consentire di definire una distanza di rispetto (l'obiettivo cui tende questo studio) pari a quella a cui si ottiene un valore accettabile del rischio individuale¹⁰.

Nel caso in esame è tuttavia necessario confrontarsi con la normativa di riferimento in materia di pianificazione territoriale in presenza di incidente rilevante, l'unica che allo stato attuale definisce regole di legge da rispettarsi (non per le condotte ma) per gli impianti soggetti al rischio qui considerato. Per farlo occorre, come noto, identificare scenari incidentali e associare a ciascuno di essi una probabilità di

⁹ Nella sua accezione europea; in Italia si è solito indicarlo come rischio locale poiché nel suo calcolo non si considera la presenza o meno di popolazione ma si calcola la probabilità di danno generata dalla presenza ed attività della sorgente di rischio, in questo caso la condotta.

¹⁰ Nel mondo tecnico si è soliti ritenere quale valore accettabile un rischio individuale pari a 10^{-6} ev/a. Tale valore di riferimento, o valori simili, sono norma di legge in alcuni Paesi europei. Ad esso si associano in genere anche le curve F/N di rischio sociale per misurare l'entità complessiva dell'impatto di tutti gli scenari incidentali.

Relazione finale

accadimento¹¹ (o meglio un intervallo di probabilità di accadimento) e più distanze di danno, diverse in relazione alla tipologia di lesioni possibili, con ciò definendo aree di danno probabile in cui ammettere insediamenti con caratteristiche diverse.

Il primo passo dell’analisi da svolgere ai fini di quest’ultima normativa è allora quello di definire e quantificare gli scenari incidentali a cui riferirsi e cioè le evoluzioni probabili in ambiente di quanto fuoriuscito dalla condotta a causa del guasto accidentale. Seguendo procedure tecniche ormai consolidate, tali evoluzioni sono rappresentabili utilizzando gli alberi degli eventi, che dipendono in generale dalle caratteristiche di pericolosità della sostanza e dalle modalità di rilascio e possono essere diversi per i due tronchi di condotte in esame (delle caratteristiche del territorio si può tener conto successivamente).

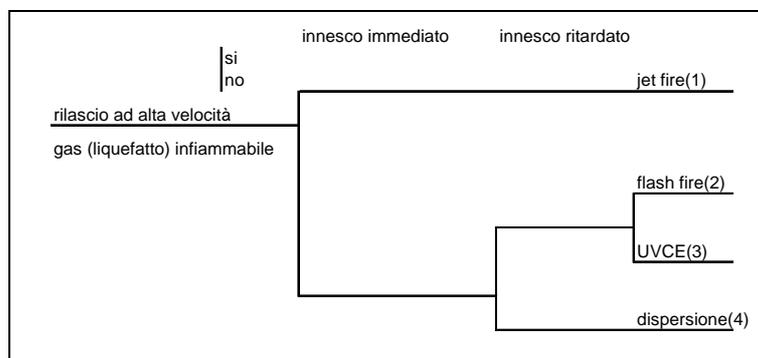
4.3.1 Infiammabili: etilene e propilene

L’etilene è trasportato come gas compresso: a seguito di rottura, qualunque ne sia la dimensione, si ha la formazione di un jet-fire se si realizza un innesco immediato, e la formazione di flash - fire o (U)VCE a seguito di innesco ritardato (e quindi a maggior distanza dal punto del rilascio). Si noti che secondo le recenti osservazioni scientifico -tecnico -sperimentali si ha presenza di esplosione di vapori in aria soltanto se nel luogo si ha almeno un parziale confinamento della nube aria-sostanza in campo di infiammabilità (presenza di edifici, apparecchiature,...). Lo scenario quindi è tanto più probabile quanto più la nube (e quindi il rilascio che l’ha originata) è di dimensioni significative.

Il Propilene è trasportato come gas liquefatto e gli scenari incidentali cui dà origine hanno le stesse caratteristiche di quelli già descritti per l’etilene anche se, in prossimità della sorgente, si evidenzia un’evoluzione fisica diversa di cui si daranno delucidazioni trattando il tema della valutazione delle conseguenze, in particolare evidenziando come, nonostante la natura di liquido della sostanza trasportata, sia assai rara la formazione di un incendio di pozza (pool fire).

L’albero degli eventi caratteristico è riportato in Fig. 3.

Fig. 3 Albero degli eventi per rilasci di etilene e propilene



¹¹ La probabilità di accadimento è stimabile, nei casi qui considerati, come prodotto della frequenza incidentale per il tempo assunto a riferimento. Ciò significa che, se si assume 1 anno, numericamente probabilità e frequenza coincidono.

Relazione finale

Si osservi che lo scenario (4) è irrilevante nel caso di sostanze infiammabili non tossiche quali quelle considerate. Inoltre le conseguenze dello scenario (2) sono di minore importanza poiché presuppongono che la nube non coinvolga se non marginalmente zone abitate.

Per calcolare le frequenze incidentali degli scenari occorre definire valori numerici per le probabilità di innesco immediato e ritardato. L'albero di Fig. 2 non riporta valori di probabilità perché in letteratura non esistono valori comunemente accettati. Ricorrendo a valori largamente condivisi e desumibili da indagini storiche [6] si ottiene la tab. 9 nella quale le probabilità di innesco sono distinte in relazione alle caratteristiche del territorio circostante risultando maggiori nel caso di ambiente industriale-stradale (caso 1) rispetto al caso di ambiente rurale (caso 2):

Tab. 9 Probabilità di innesco

Evento	Probabilità
Innesco immediato (ambiente 1/ambiente 2)	0.50 / 0.30
Innesco ritardato (ambiente 1/ambiente 2)	0.90/0.50
VCE/flash fire	0.22

Con questi valori numerici gli scenari incidentali avranno le frequenze di cui alle tab. 10 e 10 bis. E' da notare che sono stati considerati i valori di frequenze di tab. 8 prima riga, poiché non si hanno informazioni in merito alla presenza di spessori maggiorati.

Tab. 10 Frequenze incidentali per ambiente di tipo 1.

scenario	Frequenza in ev/(anno x km)		
	Classe 1 + 2	Classe 3	Classe 4
Jet fire	1.020E-04	5.100E-05	1.000E-05
Flash fire	7.160E-05	3.580E-05	7.020E-06
VCE	2.020E-05	1.010E-05	1.980E-06
dispersione	1.020E-05	5.100E-06	1.000E-06

Tab. 10bis Frequenze incidentali per ambiente di tipo 2.

scenario	Frequenza in ev/(anno x km)		
	Classe 1 + 2	Classe 3	Classe 4
Jet fire	6.120E-05	3.060E-05	6.000E-06
Flash fire	5.569E-05	2.785E-05	5.460E-06
VCE	1.571E-05	7.854E-06	1.540E-06
dispersione	7.140E-05	3.570E-05	7.000E-06

4.3.2 Sostanze tossiche: ammoniaca

L'ammoniaca è trasportata come gas liquefatto e gli scenari incidentali cui dà origine sono quelli tipici delle sue caratteristiche di pericolosità. Essendo la sostanza sia infiammabile che tossica si potrebbe utilizzare in via teorica l'albero di Fig. 2; tuttavia,

poiché il campo d'infiammabilità è molto ristretto¹² si è soliti far riferimento ad un albero semplificato contenente soltanto lo scenario di dispersione (probabilità condizionata = 1 e probabilità di innesco all'incirca nulle), quello indicato con il n. 4 in Fig. 2. In tal caso la frequenza dell'unico scenario incidentale è pari a quella dell'incidente iniziatore (vedi tab. 8).

4.4 Valutazione delle conseguenze e distanze di danno

Le considerazioni del paragrafo precedente mostrano la necessità di fare valutazioni di conseguenze diverse per il tronco 3 ed il tronco 4 della condotta in esame essendo diversi gli scenari incidentali di riferimento.

Infatti, in particolare, per il tronco 4 l'unico scenario possibile a seguito di una rottura di qualsivoglia dimensioni è la fuoriuscita e conseguente dispersione atmosferica dell'ammoniaca e la sua probabilità di accadimento è la stessa calcolata per la tipologia di guasto, avendo considerato la probabilità di accensione trascurabile. Ma le conseguenze di uno scenario di dispersione in ambiente aperto dipendono dalla turbolenza dell'atmosfera e dalla velocità del vento e, poiché queste variano giornalmente, con le stagioni e nell'anno (base temporale delle nostre valutazioni) occorre tener conto della probabilità che esse si realizzino effettivamente nel territorio di interesse. Ciò comporta la necessità di suddividere il singolo scenario di dispersione in più scenari ciascuno caratterizzato perciò da una minore probabilità di accadimento.

Diverse sono le considerazioni per il tronco 3 poiché le condotte di interesse trasportano prodotti altamente infiammabili. In questo caso gli scenari incidentali possibili per entrambe le sostanze (etilene e propilene) sono: jet fire, VCE – Flash fire con probabilità di accadimento condizionate pari a quelle identificate nel paragrafo precedente. Soltanto successivamente, se del caso, può essere considerata la probabilità che VCE/flash fire si muovano in direzioni specifiche governate dal vento.

Per le ragioni esposte nel seguito ciascuno dei due tratti è esaminato singolarmente e, dopo una breve premessa sui modelli di valutazione utilizzati per la previsione delle conseguenze, si determinano le distanze caratteristiche ai sensi della norma sulla pianificazione territoriale.

4.4.1. Tratto 3: conseguenze di rilasci di etilene e propilene

Nel seguito si considerano ai fini della valutazione gli scenari di jet-fire e VCE, dando seguito alle considerazioni svolte nel par. 4.3.1. con riferimento alle 3 ipotesi di rottura di Tab. 8, poiché così si procede se si adotta la procedura di ricomposizione dei rischi tipica degli studi di rischio d'area. Di tali scenari sono già state definite nelle tab. 10 e 10 bis le relative frequenze di accadimento.

Si osserva tuttavia che nel caso specifico, come già notato, le classi 1 modificata e 3 sono prevalenti in termini probabilistici, la classe 4 risultando di

¹² Si rammenta che il campo di infiammabilità è ristretto e caratterizzato da alti valori di % volumetrica.

probabilità decisamente minore. Si nota anche che i valori numerici riportati per lo scenario VCE sono ulteriormente ridotti dalla probabilità che il vento, in caso di incidente, spiri proprio nella direzione dei centri abitati (inoltre la probabilità che si realizzino specifiche condizioni atmosferiche inciderà sulla massa in zona di esplosività). Per questi motivi, ai fini dell'estensione del metodo identificato dalla norma in materia di pianificazione territoriale, si focalizzerà l'attenzione sugli scenari associati alla classe 1 modificata e alla classe 3.

Per ragioni di semplicità e conservatività tutte le valutazioni relative agli scenari di incidente sono condotte ipotizzando l'assenza di intercettazione nel tratto di interesse (lunghezza 6.5 km) e considerando una rottura localizzata nelle sezione intermedia di una tratta intercettabile di lunghezza pari a 10000 m e quindi con tempi di svuotamento massimi. Si osservi che tali ipotesi semplificative non sarebbero di grande importanza qualora l'intercettazione avvenisse (ed è sovente il caso) in tempi inferiori.

4.4.1.1 Le portate di rilascio per efflusso di infiammabili

Per valutare gli effetti degli scenari incidentali nel territorio occorre primariamente valutare le portate rilasciate nelle diverse ipotesi incidentali.

Per quanto attiene al propilene le fenomenologie tipiche del rilascio sono riconducibili a quelle di un gas liquefatto: espansione con vaporizzazione flash e formazione di vapore e liquido; trascinarsi del liquido in gocce di piccola dimensione nel vapore (formazione aerosol); eventuale residuo di pozza di liquido freddo (la violenza dell'espansione rende del tutto improbabile nel nostro caso tale formazione). Dettagli sulla trattazione fenomenologica e sui modelli utilizzati sono presenti nel par. 4.4.2.1: l'ammoniaca infatti è trasportata come il propilene quale gas liquefatto. Nel seguito si riporteranno per il propilene i risultati delle valutazioni eseguite considerando valide tutte le altre osservazioni svolte per la condotta di ammoniaca.

Nel caso dell'etilene la portata è diretta conseguenza dell'efflusso critico di un gas ed è stimabile con relazioni ben note nel mondo tecnico [6]. Si noti che, una volta che la condotta sia stata intercettata, la pressione a monte (entro la tubazione) cala rapidamente quando l'efflusso non è più critico.

Le portate effluenti, calcolate con i criteri sopra ricordati ed espresse in kg/s, sono riportate nelle sottostanti tabelle:

Tab. 11 portate di rilascio accidentali
(in kg/s) (etilene)

<i>Classe di rottura</i>	<i>< intercettazione</i>	<i>> intercettazione</i>
<i>Classe 2 (20 mm)</i>	4.5	1.25
<i>Classe 3 (40 mm)</i>	14.9 (a t = 0)	3.5
<i>Classe 4 (rott. cat.)</i>	110	13.0

Tab. 11 bis portate di rilascio accidentali (propilene) (in kg/s)

Classe di rottura	< intercettazione	> intercettazione
Classe 2 (20 mm)	8.12	1.2
Classe 3 (40 mm)	16.7 (a t = 0)	8.52
Classe 4 (rott. cat.)	vedi note	

Si ipotizza che la rottura della condotta sia sempre accompagnata dalla formazione di un cratere e che, per le rotture di classe 1mod e 3 il jet sia orientato verso l'alto.

4.4.1.2. Distanze di danno per getti incendiati (jet-fire) e esplosioni di vapori (VCE)

Le valutazioni sono state fatte distinguendo tra un efflusso verso l'alto ed uno verso il basso, nell'intento di determinare i valori più conservativi ai fini del calcolo delle conseguenze.

Verso : ALTO

Data l'alta pressione della condotta e l'elevata velocità è presumibile che il terreno di copertura sia rapidamente rimosso e si formi un getto verso l'alto in entrambi i casi di efflusso di etilene e propilene.

Scenario di Jet fire: sono di interesse sia la lunghezza della fiamma sia la distanza a cui si possono realizzare irraggiamenti di 5 kW/m² corrispondenti, secondo la norma di interesse, alla soglia di lesioni irreversibili. Si noti che si è fatto riferimento ad una velocità del vento pari a 5 m/s: tuttavia la dipendenza della valutazione dalla velocità del vento è quasi trascurabile.

Sostanza-classe	Lunghezza fiamma (m)	Distanza a 5 kW/m ² (m)
Etilene- Classe 1 mod	13	20
Etilene- Classe 3	26	40
Propilene- Classe 1 mod	20	27
Propilene- Classe 3	35	42

Scenario di esplosione di vapori: sono di interesse la distanza dell'epicentro dell'esplosione dal luogo dell'emissione e la distanza a cui si ha una sovrappressione pari a 0.07 bar: essa è caratteristica, secondo la norma di interesse, della soglia di lesioni irreversibili. La distanza di interesse per la pianificazione è la somma delle due distanze prima citate.

Relazione finale

Le valutazioni dipendono in tal caso dalla dispersione atmosferica della nube e quindi dovranno essere effettuate nelle due categorie D-5 e F-2 richieste in genere nei rapporti di sicurezza e nella pianificazione dell'emergenza.

Sostanza-classe-categoria meteo	distanza dell'epicentro (m)	distanza a delta P = 0.07 bar (m)
Etilene- Classe 1 mod – D-5	trascurabile	trascurabile
Etilene- Classe 1 mod – F-2	trascurabile	trascurabile
Etilene- Classe 3 – D-5	trascurabile	trascurabile
Etilene- Classe 3 – F-2	trascurabile	trascurabile
propilene- Classe 1 mod – D-5	trascurabile	trascurabile
propilene- Classe 1 mod – F-2	trascurabile	trascurabile
propilene- Classe 3 – D-5	trascurabile	trascurabile
propilene- Classe 3 –F-2	trascurabile	trascurabile

Verso : BASSO

Il getto perde gran parte dell'energia nell'urto con il terreno e le velocità di efflusso all'atmosfera sono certamente di gran lunga inferiori a quelle di un getto e dipendono dalle dimensioni del cratere formatosi. Si ritiene conservativo in tal caso assumere che la nube che emerge dal terreno disperda quale nube esplosiva. Non si avrà quindi ragionevolmente uno scenario di getto incendiato; qualora si avesse incendio immediato della nube si possono assumere validi i valori già calcolati in precedenza per i getti.

Scenario di esplosione di vapori: sono ancora di interesse la distanza dell'epicentro dell'esplosione dal luogo dell'emissione e la distanza a cui si ha una sovrappressione pari a 0.07 bar: essa è caratteristica, secondo la norma di interesse, della soglia di lesioni irreversibili. La distanza di interesse per la pianificazione è la somma delle due distanze prima citate.

Le valutazioni dipendono come già detto dalla dispersione atmosferica della nube e quindi dovranno essere effettuate nelle due categorie D-5 e F-2 richieste in genere nei rapporti di sicurezza e nella pianificazione dell'emergenza.

Sostanza-classe-categoria meteo	distanza dell'epicentro (m)	distanza a delta P = 0.07 bar (m)
Etilene- Classe 1 mod – D-5	trascurabile	trascurabile
Etilene- Classe 1 mod – F-2	trascurabile	trascurabile
Etilene- Classe 3 – D-5	20	48
Etilene- Classe 3 – F-2	24	51
propilene- Classe 1 mod – D-5	trascurabile	trascurabile
propilene- Classe 1 mod – F-2	trascurabile	trascurabile
propilene- Classe 3 – D-5	34	50
propilene- Classe 3 –F-2	45	60

Sulla base delle considerazioni già svolte in merito sia alle frequenze dei rilasci appartenenti alle diverse categorie di rottura sia alle conseguenze, le distanze di danno

Relazione finale

da utilizzarsi ai fini dell'applicazione della norma di legge sono quelle delle tabelle sottostanti.

Si noti che lo scenario di getto incendiato è di interesse per la sola classe di rottura 1 mod, poiché nel caso della classe 3 le distanze indicate dallo scenario VCE sono significativamente maggiori.

Tab. 12 Distanze di soglia per lesioni irreversibili per la classe 3, in caso di ambiente industriale-stradale (scenario VCE)

Condizioni meteo	Classe di rottura 3	
	ETILENE	PROPILENE
D-5	68	84
F-2	75	105
Frequenze ev/(km x a)	1.010E-05	1.010E-05

Tab. 12 bis Distanze di soglia per lesioni irreversibili per la classe 1mod (scenario di getto incendiato)

Distanza (m)	Classe di rottura 1 mod	
	ETILENE	PROPILENE
Distanza a 5 kW/m ²	20	27
Frequenze ev/(km x a)	1.020E-04	1.020E-04

Dovendosi definire una distanza di rispetto appare indispensabile riferirsi ad una scelta conservativa scegliendo 105 m come valore di riferimento per le lesioni irreversibili.

Qualora si volesse definire anche una fascia più ristretta corrispondente alla soglia di inizio letalità (sovrappressione pari a 0.14 bar) ne risulterebbero, per la classe di rottura 3, le distanze indicate in tab. 12 ter.

Tab. 12ter Distanze di soglia per inizio letalità per la classe 3 (scenario VCE)

Condizioni meteo	Classe di rottura 3	
	ETILENE	PROPILENE
D-5	44	59
F-2	49.5	75
Frequenze ev/(km x a)	1.010E-05	1.010E-05

La distanza di rispetto di scelta conservativa è pari a 75 m come valore di riferimento per elevata letalità.

4.4.2 Tratto 4: conseguenze di rilasci di ammoniac

La condotta che trasporta ammoniac si colloca in un contesto territoriale maggiormente vulnerabile (vedi mappa di Fig. 1) e, in aggiunta, la tossicità di una sostanza determina in generale maggior pericolosità dell'infiammabilità (soprattutto se si stanno considerando, come nel nostro caso, gas liquefatti in pressione), di conseguenza ci si attendono per il tronco 4 vincoli territoriali maggiori a seguito delle distanze di danno caratteristiche.

Nel seguito si considerano ai fini della valutazione tutti gli scenari di dispersione risultanti dalle 3 ipotesi di rottura di Tab. 6, poiché così si procede se si adotta la procedura di ricomposizione dei rischi tipica degli studi di rischio d'area.

Si osserva tuttavia che nel caso specifico, come già osservato, la classe 1 modificata è prevalente in termini probabilistici e le altre classi risultano di probabilità decisamente minore in particolare se si considerano i tratti in prossimità degli abitati - in cui lo spessore della condotta è stato maggiorato - cui va dedicata la maggior attenzione per le ragioni già dette. Inoltre i valori numerici riportati sono ulteriormente ridotti sia dalla probabilità che si realizzino specifiche condizioni atmosferiche sia dalla probabilità che il vento, in caso di incidente, spiri proprio nella direzione dei centri abitati. Per questi motivi, ai fini dell'estensione del metodo identificato dalla norma in materia di pianificazione territoriale, si focalizzerà l'attenzione sulle sole dispersioni associate alla classe 1 modificata, ovvero alle classi 1 e 2 iniziali la cui frequenza complessiva è stata stimata in 1.7×10^{-4} (per condotte con sovrassessore) ripartita in modo quasi paritario tra le due sottoclassi.

Per ragioni di semplicità e conservatività tutte le valutazioni relative agli scenari di incidente sono condotte con riferimento ad una rottura localizzata nella sezione intermedia della tratta intercettabile di lunghezza maggiore dell'intera condotta (pari a 10000 m) e quindi con tempi di svuotamento massimi. Per il tratto 4 considerato ciò significa che la simulazione è conservativa ma prossima alla situazione reale per la tratta (di lunghezza pari a circa 8 km, vedi tab. 2) mentre è ancor più sovrastimante negli altri casi.

Si osservi che tali ipotesi semplificative divengono di piccola importanza quando l'intercettazione avviene (ed è sovente il caso) in tempi inferiori.

4.4. 2.1 Le portate di rilascio

Per valutare la dispersione nel territorio occorre primariamente valutare le portate rilasciate nelle diverse ipotesi incidentali. Ai fini del loro calcolo, si ipotizza che, fino al momento in cui viene intercettata la linea e sono in funzione le pompe di mandata, se la portata fuoriuscente dal foro (calcolata ipotizzando un efflusso tutto liquido) è minore della portata operativa (pari a 10.4 kg/s), non si abbia

Relazione finale

depressurizzazione della condotta; se invece la portata effluente (ipotizzata tutta liquida) è maggiore della portata operativa e la depressurizzazione inizia dal momento in cui la pipeline si fora, si ipotizza che l'efflusso non sia in realtà liquido ma bifase. Nel primo caso (classi di rottura 1 e 2) viene utilizzato, per calcolare la portata del rilascio, il modello di efflusso tutto liquido fino all'intercettazione, nel secondo (classi di rottura 3 e 4) è utilizzato sin dall'istante in cui avviene la rottura un modello che simuli un efflusso bifase.

Una volta intercettata la tubazione e con riferimento alla classe 1 modificata, la pressione calerà più rapidamente fino al valore di saturazione, e su questo valore si manterrà per tempi lunghi: si può dunque utilizzare un modello di efflusso bifase che preveda a monte del rilascio una pressione costante (tipicamente un modello di efflusso bifase da serbatoio mantenuto in pressione).

Nel caso delle rotture di classe 3 e 4 si considera fin dall'inizio della rottura un modello di efflusso bifase che preveda, a monte del rilascio, una pressione variabile e che calcoli dunque una portata variabile. Nel caso della classe 4 tale modello viene utilizzato fino alla fine del rilascio; nel caso della classe 3, una volta intercettata la condotta, ipotizzando conservativamente che la pressione rimanga pari a quella di saturazione, è stato utilizzato un modello di efflusso bifase con pressione a monte del rilascio costante. Le considerazioni di cui sopra sono riassunte nella sottostante tab. 11 (tra parentesi sono indicati i riferimenti bibliografici del modello utilizzato):

Tab. 11 Modelli utilizzati nella simulazione delle portate di efflusso

<i>Classe di rottura</i>	<i>< intercettazione</i>	<i>> intercettazione</i>
<i>Classe 1 mod (20 mm)</i>	efflusso di liquido	efflusso bifase con P costante [7]
<i>Classe 3 (40 mm)</i>	efflusso bifase con P variabile [8]	efflusso bifase con P costante [7]
<i>Classe 4 (rott. cat.)</i>	efflusso bifase con P variabile [8]	

E' necessario rilevare che, al momento delle valutazioni, non esistevano dati sperimentali per validare i modelli per il calcolo degli efflussi bifase da condotte intercettate; è stato quindi adottato il modello che, a parità di condizioni, dà portate di rilascio maggiori.

Le portate effluenti, calcolate con i criteri sovraesposti ed espresse in kg/s, sono riportate nella sottostante tabella:

Tab. 12 portate di rilascio accidentali

<i>Classe di rottura</i>	<i>< intercettazione</i>	<i>> intercettazione</i>
<i>Classe 2 (20 mm)</i>	7.82	0.8
<i>Classe 3 (40 mm)</i>	13.4 (a t = 0)	7.82
<i>Classe 4 (rott. cat.)</i>	vedi oltre	

Relazione finale

Si ipotizza che la rottura della condotta sia sempre accompagnata dalla formazione di un cratere e che, per le rotture di classe 1 mod e 3 il jet sia orientato verso l'alto.

Per i fori di classe 1 mod e 3 si suppone che quanto fuoriesce allo stato liquido vaporizzi interamente, ovvero non dia luogo a rain - out e cioè non vi sia formazione di pozza. Per rotture di classe 4 ipotizza invece che una parte del liquido fuoriuscito formi una pozza (il cui contributo alla dispersione è peraltro ritenuto) e una parte, pari alla frazione di flash (ovvero alla frazione di vapore nella sezione di rilascio), sia trascinata dal gas sotto forma di goccioline e successivamente vaporizzi contribuendo alla dispersione.

I risultati dei calcoli del rilascio effettuati per la classe 4 sono riportati nella tabella 8 (i valori della frazione di flash sono riferiti alla sezione di uscita dalla tubazione; le portate sono riferite a entrambe le sezioni di efflusso che si generano in seguito a rottura catastrofica).

Tab. 11 Portate di rilascio accidentali per la classe 4.

<i>Tempo (minuti)</i>	<i>Portata totale</i>	<i>Frazione di flash</i>	<i>Portata di fase mista</i>
0	174	0.102	35.4
1.1	149	0.111	33.2
3.1	99	0.134	26.6
10	68	0.144	19.6
20	45	0.144	13.0
30	30	0.144	8.6
51	14.6	0.144	4.2
64	9.2	0.144	2.6

Per il tempo di intercettazione della linea (si ricorda che in caso di bassa pressione la chiusura delle valvole è automatica) e la successiva stabilizzazione della portata si adotta un valore pari a 10 minuti e nelle classi 1 mod. e 3 e la portata è assunta pari alla media tra la portata iniziale e quella finale. Per i fori di classe 4 si sono considerati tre intervalli di tempo: da 0' a 10', da 10' a 30', da 30' a 60' e si è assunto che in ciascuno di questi intervalli l'efflusso fosse pari al valore medio delle portate corrispondenti agli estremi dell'intervallo. Le portate così calcolate sono riassunte nella sottostante tabella:

Tab. 12 Portate di rilascio considerate ai fini della dispersione

<i>Classe di rottura</i>	<i>Intervallo di tempo</i>	<i>Portata di dispersione (kg/s)</i>
<i>Classe 1 mod. = 1 + 2</i>	0' - 10'	4.3
	10' - 60'	0.8
<i>Classe 3</i>	0' - 10'	8.5
	10' - 60'	3.6
<i>Classe 4</i>	0' - 10'	28
	10' - 30'	14
	30' - 60'	6

4.4.2.2. Dispersione e distanze di danno

L'ammoniaca fuoriuscita dalla condotta si disperde nell'atmosfera miscelandosi con l'aria. La simulazione della dispersione consente di conoscere l'andamento spazio-temporale della concentrazione di ammoniaca nel territorio circostante la condotta.

L'ammoniaca è in parte allo stato vapore ed in parte allo stato liquido sottoforma di goccioline; l'evaporazione di queste avviene a spese del calore sensibile della nube e porta a un suo raffreddamento al punto che, nonostante il peso molecolare dell'ammoniaca sia inferiore a quello dell'aria (17.03 kg/kmol contro 28.9 kg/kmol), la sua densità ne è superiore $\rho_{\text{NH}_3} > \rho_{\text{aria}}$, ovvero la nube si comporta nella fase iniziale della dispersione come un gas pesante, e solo successivamente diventa un gas neutro. Nelle valutazioni riportate nel seguito la dispersione del gas pesante e quella del gas neutro che segue sono state calcolate con codici di largo utilizzo (Effects, Noadum, Pasquill e altri).

I modelli utilizzati in questo campo appartengono alla classe dei cosiddetti “modelli di similitudine”; a profili di similitudine diversi, anche se di poco, corrispondono ovviamente risultati diversi. I modelli in entrambi i casi riportati considerano il rilascio “continuo” ovvero caratterizzato da portata costante per tutta la durata del rilascio.

Nel seguito si riportano i risultati delle due valutazioni già citate in precedenza con riferimento al calcolo delle frequenze evidenziando alcune distanze di interesse ai fini dell'applicazione dei criteri di pianificazione territoriale.

La valutazione delle conseguenze utilizzerà, ai fini delle considerazioni conclusive, i due accorpamenti tipici del decreto sulla pianificazione di emergenza già sopra citato ovvero D-5 e F-2 (rispettivamente classe di turbolenza atmosferica, secondo la classificazione di Pasquill, e velocità del vento in m/s).

Inoltre per poter meglio considerare le durate diverse e le portate diverse dei rilasci (vedi Tab. 12) si è fatto riferimento al concetto di dose letale calcolando le distanze alle quali detto valore è ragionevolmente basso e cioè pari allo 0.1 %. Ne consegue che detto valore può essere assunto, ragionevolmente ed in via conservativa, quale soglia per l'inizio letalità della tab.2 del DM 9.05.2001.

Quando possibile, è stata riportata anche la distanza di danno all'IDLH così come previsto dalla norma di legge sulla pianificazione territoriale, anche se questa, per le ragioni già dette, appare non in grado di rappresentare completamente la complessità della descrizione fenomenologica.

METODO 1 (studio n.1)

Il metodo adottato calcola la probabilità di morte¹³ a varie concentrazioni e tempi di esposizione considerando la variabilità della portata con il tempo ed assume

¹³ La probabilità di morte è valutata tramite trasformazione matematica dell'equazione di probit: $Y = a + b \ln C^n$, con $a = -30.57$, $b = 1.385$, $n = 2.75$. Nel progetto ARIPAR l'equazione utilizzata è stata: $a = -9.78$, $b = 0.71$, $n = 2$ con c in ppm e t_{exp} in min.

Relazione finale

che il massimo tempo di esposizione all'aperto di un individuo sia pari ad 1 ora. L'equazione della dose che costituisce l'input fondamentale per il calcolo necessario è:

$$\text{Dose} = \int_{t_{\text{exp}}} c^n dt$$

Si calcolano così le distanze alle quali si realizza una probabilità di morte pari al 1⁰/₀₀, nelle condizioni di rilascio accidentale ipotizzato e con predefinite condizioni meteo. In particolare sono stati utilizzati 5 accorpamenti meteo (B3, D1, D2, D5 e F2). Si noti che per le classi dalla 2 alla 4 il modello utilizzato è quello di gas pesante; per la classe 1 il modello è di tipo neutro.

Nelle tabelle sottostanti si riportano i valori utili ai fini dell'applicazione del decreto, ovvero quelli relativi alle classi D5 e F2 (in grassetto quelli delle classi di interesse).

Rilascio classe 1

	1 ⁰ / ₀₀
D5	95
F2	395

Rilascio classe 2

	1 ⁰ / ₀₀
D5	215
F2	770

Rilascio classe 3

	1 ⁰ / ₀₀
D5	310
F2	1370

Rilascio classe 4

	1 ⁰ / ₀₀
D5	610
F2	2920

METODO 2 (progetto ARIPAR)

Si tratta del metodo adottato nel Progetto ARIPAR che richiede la determinazione di un solo andamento di concentrazione, il cui calcolo perciò presuppone di mediare i valori di portata e di effettuare un'unica simulazione per ciascun rilascio.

Anche lo studio ARIPAR utilizza 5 accorpamenti meteo, in particolare B3, D1, D2, D5 e F2 in ciascuna delle classi di rottura. Per le classi dalla 2 alla 4 il modello utilizzato è quello di gas pesante; di esso si riportano i risultati.

Relazione finale

Le concentrazioni che determinano l'1^o/00 di vulnerabilità¹⁴ dipendono dal tempo di esposizione dell'individuo e sono:

tempo di esposizione (min)	c (ppm)
10	1230
20	870
30	710

Si noti che 30 min è il tempo utilizzato quale default dagli studi di rischio d'area effettuati in Europa.

Rilascio classe 2: distanze in m all'IDLH (300 ppm) e alle altre concentrazioni di riferimento.

	IDLH	1 ^o /00 10min	1 ^o /00 20min	1 ^o /00 30min
D5	864	398	483	541
F2	1269	577	703	788

In grassetto nella tabella soprariportata sono indicati i valori di interesse ai fini dell'applicazione del decreto.

Rilascio classe 3: distanze in m all'IDLH (300 ppm) e alle altre concentrazioni di riferimento.

	IDLH	1 ^o /00 10min	1 ^o /00 20min	1 ^o /00 30min	1 ^o /00 60min
D5	2623	1132	1396	1578	1944
F2	3585	1443	1812	2067	2591

Rilascio classe 4: distanze in m all'IDLH (300 ppm) e alle altre concentrazioni di riferimento.

	IDLH	1 ^o /00 10min	1 ^o /00 20min	1 ^o /00 30min	1 ^o /00 60min
D5	6051	2355	2981	3418	4321
F2	9397	3299	4284	4987	6466

Sulla base delle considerazioni già svolte in merito sia alle frequenze dei rilasci appartenenti alle diverse categorie di rottura sia alle conseguenze, le distanze di danno da utilizzarsi ai fini dell'applicazione della norma di legge sono quelle di tabella 13.

¹⁴ Si rammenti che i coefficienti dell'equazione scelta per la valutazione della vulnerabilità sono diversi da quelli adottati nel caso precedente.

Tab. 13 Distanze a cui si realizza l'1⁰/100 di probabilità di morte (in parentesi le frequenze delle due sottoclassi)

Condizioni meteo	Classe 1 modificata	
	SottoClasse 1	SottoClasse 2
D-5	95	215
F-2	395	770
Frequenze ev/(km x a)	(.85x10 ⁻⁴)	(.85x10 ⁻⁴)
Frequenze ev/(km x a) (senza sovra-spessore)	(1.x10 ⁻⁴)	(1.x10 ⁻⁴)

Tale distanza costituisce, ad avviso di chi scrive, un utile riferimento per la pianificazione territoriale.

5. Analisi di rischio dei gestori del sito industriale di Ferrara e relative distanze di danno

Le poche informazioni qui riportate sono state desunte dal documento della sottoscritta datato 26.06.2005 dal titolo <Indagine per identificare l'effetto domino degli stabilimenti soggetti alla normativa "Seveso II", al fine di completare l'elaborato tecnico Rischio di Incidenti Rilevanti" (RIR)>. In tale documento si riportano gli scenari individuati dai gestori degli impianti del sito industriale, tra i quali è presente lo stabilimento di Yara S.p.A..

A pag. 20 di tale documento sono elencati gli scenari di incidente rilevante individuati dal gestore; vi compare uno scenario di rilascio tossico, derivante da rottura della condotta nel suo tratto (in tratturo) all'interno dello stabilimento, cui viene assegnata una probabilità < 10⁻⁶ (C3-2) e per il quale si indica in 210 m la distanza all'IDLH e in 3 m (valore irrilevante) la distanza all'elevata letalità.

Le informazioni riferite sono state desunte dal rapporto di sicurezza di Yara al quale si rimanda per dettagli (non noti a chi scrive) sulla descrizione dello scenario e le sue modalità di accadimento.

Non si dispone di dati relativi alle condotte di trasporto di infiammabili.

6. Considerazioni sulla compatibilità territoriale

Tabella 3a - Categorie territoriali compatibili con gli stabilimenti

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

La tabella sopra riportata è estratta dal DM 9/05/01 e ad essa si ricorre per determinare le categorie di compatibilità degli impianti a rischio di incidente rilevante con il territorio del Comune. E' forse ridondante ma non superfluo rammentare che essa non ha validità per le condotte ma che è qui considerata poiché costituisce di fatto l'unico riferimento di normativa a cui ricorrere per fare valutazioni quantitative di pianificazione territoriale in presenza di condotte che trasportano sostanze pericolose.

6.1 La condotta di ammoniacca

Gli eventi da considerare sono i rilasci per rottura accidentale della condotta ed in particolare quelli riportati in tab. 13 a valle dell'analisi di rischio e delle conoide-razioni da essa desunte. La tabella indica la necessità di valutare quale siano le probabilità di accadimento (su base annua) attribuibili agli eventi della classe 1 modificata, cioè delle sottoclassi 1 e 2 quando si considerino le condizioni meteorologiche F-2 e D-5 delle analisi di rischio effettuate. Come già osservato tali probabilità saranno diverse: in particolare lo scenario F-2 è in genere notturno e di più bassa probabilità.

La distanza di danno massima in D-5 è pari a 215 m; decisamente più alta nel caso F-2 (770 m).

Per calcolare i valori di dettaglio delle probabilità di accadimento degli scenari di interesse occorre preliminarmente esaminare sia la rosa dei venti tipica della zona, per avere informazioni in merito a direzione, frequenza e intensità del vento, sia le caratteristiche meteorologiche generali per acquisire informazioni sulla variabilità della turbolenza atmosferica. Dettagli in merito alle condizioni meteorologiche dell'area sono presenti nell'App. 2 che fa riferimento alla documentazione fornita da ARPA sezione di Ferrara per gli anni 2003-2005.

6.1.1 Probabilità di accadimento degli scenari D-5 e F-2

Il calcolo deve iniziare dal dato di probabilità di rottura che, su base annua, per la classe 1 modificata (insieme di classe 1 e 2 dell'analisi storica) è pari a 1.7×10^{-4} ev/(a x km) in presenza di sovrappessore. Occorrerà successivamente tener conto della ripartizione nelle due sottoclassi 1 e 2 poiché ad esse si associano distanze di danno diverse.

Relazione finale

Considerando la variabilità della direzione della dispersione accidentale, la frequenza di un incidente di classe 1 modificata assume un valore diverso per ogni settore della rosa dei venti, il valore per ogni settore essendo pari a 1.7×10^{-4} ev/(a x km) moltiplicato per la probabilità che il vento spiri in quel settore.

Ma per ogni settore la velocità del vento è variabile nell'intervallo 0-8 m/s (si veda la rosa dei venti considerata) e, dedotte le calme di vento (non efficaci ai fini della dispersione e la cui probabilità è assunta pari al valor medio annuo in prima istanza senza tener conto della sua variabilità con la direzione: 15% nel 2005), l'intervallo di intensità 0.75 - 3 m/s è ben rappresentabile con un valor medio di 2 m/s mentre l'intervallo 3 - 8 è riconducibile ad un valor medio di 5 m/s.

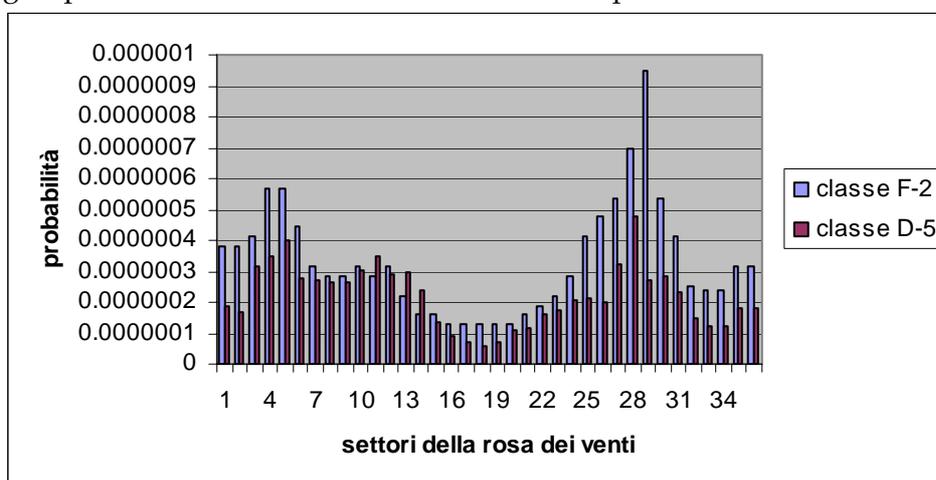
Sulla base di queste osservazioni è possibile determinare la frequenza (in ev/(a x km)) con cui si ha una dispersione di ammoniaca con vento proveniente da uno specifico settore e con una velocità media definita.

Ma a quelle velocità medie di 5 e 2 m/s corrispondono le classi di riferimento D e F con una probabilità che è rispettivamente derivante dal prodotto delle relative frequenze per 0.28 e 0.35 (trattasi dei valori di probabilità su base annua delle due classi di stabilità considerate, vedi App. 2). Se poi si eliminano i giorni di pioggia significativa (9%) a causa dell'effetto di diluizione della nube e si suddivide la frequenza in quella di ciascuna delle due sottoclassi (di pressoché pari entità) si ottengono i valori di interesse per le valutazioni.

Il grafico di fig. 4 rappresenta il risultato del calcolo descritto in cui, si ribadisce, ciascun elemento indica la frequenza in ev/(a x km) di un generico scenario di dispersione di ammoniaca di sottoclasse 1 o 2 con vento proveniente da uno specifico settore di ampiezza 10 gradi, con velocità media definita e classe di stabilità specifica, in assenza di pioggia.

Esso mostra valori abbastanza simili per le due classi, con una prevalenza modesta della classe F-2; tuttavia occorre rammentare che si considerano più critici gli scenari diurni per la minor protezione indoor della popolazione. A scenari notturni inoltre non possono ricondursi i luoghi caratterizzati da grande affollamento di persone (mercati e altro) che caratterizzano alcune categorie di compatibilità. Per tale ragione la procedura che segue, di validità generale, è applicabile primariamente a scenari della classe D-5 e si caratterizza per una maggiore conservatività nel caso F-2.

Fig. 4. probabilità su base annua di scenari di dispersione di ammoniaca

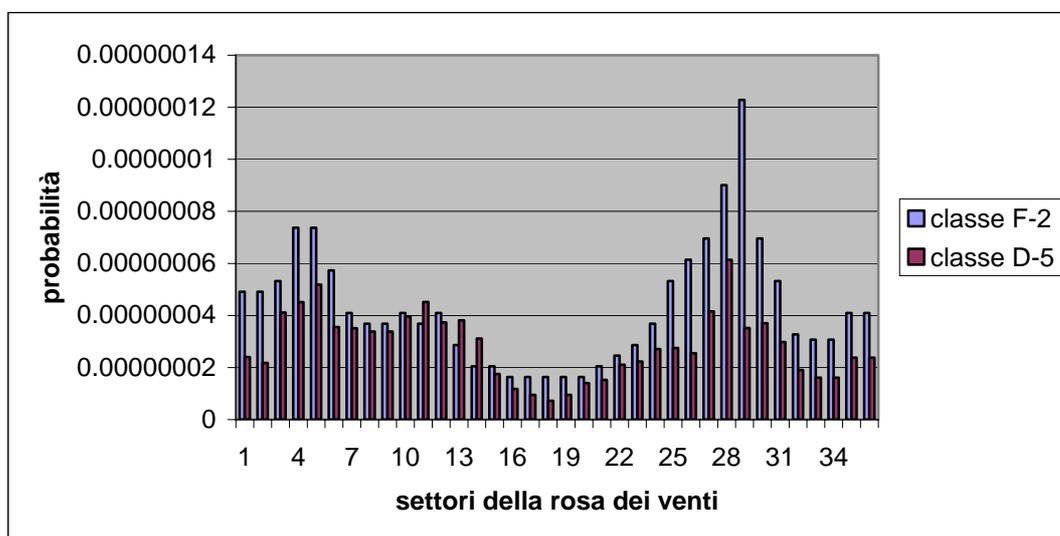


6.2 Le condotte di trasporto di etilene e propilene

Gli eventi da considerare sono i rilasci per rottura accidentale delle condotte i cui scenari incidentali sono già stati discussi in precedenza. Si è già sottolineata la necessità, nel caso delle VCE, di considerare le probabilità che si abbiano le condizioni meteorologiche F-2 e D-5. Dette probabilità modificano le frequenze fino ad ora considerate.

Ricorrendo come già dettagliato alla documentazione fornita da ARPA sezione di Ferrara per gli anni 2003-2005, ne risulta la fig. 5 che rappresenta la probabilità su base annua di scenari di VCE di etilene o propilene. I valori sono il risultato della medesima procedura di calcolo descritta al paragrafo 6.1.1: è diversa ovviamente la frequenza dell'evento base che è pari a $1.010E-05$.

Fig. 5. probabilità su base annua di scenari di VCE



6.3 Procedura di valutazione delle categorie territoriali compatibili

Per una stima conservativa dell'interazione con il territorio antropizzato si procede al calcolo delle probabilità degli scenari con la procedura che segue:

1. si identificano le porzioni di territorio abitato a distanze inferiori a xxx m (nella dispersione di ammoniaca xxx = 215 m è la distanza corrispondente allo scenario di massimo coinvolgimento in classe D-5; in classe F-2 xxx = 770 m, in entrambi i casi avendo valutato la distanza a cui si realizza una probabilità di morte pari a 0.1 %);
2. si calcola la lunghezza della condotta L la cui distanza massima dall'abitato o dal centro di vulnerabilità non supera xxx m (215 o 770);
3. si determinano i settori di direzione del vento che interessano gli abitati o i centri di vulnerabilità per quel tratto di condotta;
4. si calcola la sommatoria delle frequenze dei settori interessati; questa, moltiplicata per la lunghezza di riferimento L della condotta, fornisce un valore della probabilità di accadimento dello scenario di dispersione D-5 (o F-2) che coinvolge l'abitato o il centro, valore di base da correggere per confrontarsi con il decreto sulla pianificazione. Questo calcolo è infatti necessariamente sovrastimante poiché presuppone che tutta la lunghezza della condotta coinvolga l'abitato o il centro considerato con ogni settore della rosa dei venti. Sue correzioni ragionevoli per valutare la lunghezza efficace della condotta LE sono ovviamente sempre possibili anche se non di calcolo semplice nel caso di zone abitate di area con dimensioni significative. Il valore di LE è determinabile in maniera quantitativamente semplice quando si faccia riferimento ad un'area territoriale piccola e quindi assimilabile ad un punto P ai fini del calcolo: in tal caso si può stimare $LE_P^{15} \cong 0.11 * L$. E' questo spesso il caso dei centri di vulnerabilità.
5. Nel caso di area territoriale di maggiori dimensioni una stima ragionevole si ottiene:
6. suddividendo l'area in più punti;
7. calcolando i dati di lunghezza di condotta e di frequenza complessiva delle direzioni del vento in ciascuno dei punti;
8. stimando poi un valor medio o adottando conservativamente, per tutti i punti dell'area, il valor massimo del prodotto $0.11^{16} L * \text{frequenza complessiva}$.

¹⁵ Ciò significa aver ipotizzato che l'ampiezza della linea a dose costante, e pari a quella di riferimento del calcolo, sia di 10 gradi, valore ragionevole per molte dispersioni.

¹⁶ Il fattore correttivo per le VCE è più ampio poiché le curve iso-sovrappressioni hanno forma circolare.

Si ribadisce che il metodo di calcolo non è fissato da alcuna norma di legge ma costituisce, a parere di chi scrive, una estensione, ragionevole e conservativa, del metodo di valutazione richiesto per gli insediamenti industriali.

Nel seguito la procedura descritta è applicata a tutti i tratti di condotta che appaiono critici per la presenza a distanza di interesse di centri di vulnerabilità e/o di popolazione residenziale.

Nel seguito, alle probabilità determinate con la procedura saranno associate sempre le distanze calcolate per le soglie specifiche scelte; in tal modo si determinerà una classificazione valida se la localizzazione del territorio su cui si è puntata l'attenzione non è a distanza tanto breve dalla condotta da essere inclusa entro l'area della soglia superiore (quella di elevata letalità nel caso della condotta di ammoniaca).

Si esaminano nel seguito i singoli centri di interesse descritti nella tab. 1 e rappresentati nella fig.1. Soltanto del “punto 6: scuola elementare”, si riporta passo per passo il calcolo, negli altri casi si riportano i risultati, rimandando all'App. 3 per maggiori dettagli.

6.4 Compatibilità territoriale e aree critiche

Si ricordano gli elementi territoriali già evidenziati in tab. 1. E' evidente che la variabilità delle superfici dei centri comporta la necessità di adottare entrambe le procedure di calcolo delineate e a cui si associa una diversa complessità. Tra i centri indicati il solo centro n.14 si colloca sul tratto 1 coinvolgente le pipeline di etilene e propilene.

In tab. 14 sono indicate per i centri sulla tratta 4 la superficie, le distanze dalla condotta di ammoniaca ed il numero di persone che caratterizzano il centro.

Inoltre, seguendo le definizioni della normativa sulla pianificazione territoriale, si riportano in tabella anche le categorie territoriali cui i centri appartengono. In casi dubbi sono state fatte le seguenti scelte: scuole elementari considerate “scuole inferiori”, scuole medie inferiori considerate “scuole superiori”.

Si noti che nessuna “attrezzatura” si trova a distanza inferiore a 215 m (limite per inizio letalità nella classe D-5). Ciò significa che se si considera la classe D-5 la distanza effettiva configura, nella peggiore delle ipotesi, una collocazione nella zona di compatibilità corrispondente a “lesioni irreversibili”. La categoria di compatibilità resta fissata ovviamente una volta che sia noto anche il valore di probabilità dello scenario, per calcolare il quale è stata adottata conservativamente una distanza massima dalla condotta pari a 770 m.

Tab. 14 dati dei centri di vulnerabilità

N°	TIPO_ATTREZZATURA	AREA (m ²)	Distanza dalla condotta (m)	n. presenze	categoria territoriale del centro
1	Chiesa	4529	600	<1000?	C (<1000 chiuso)
			850	<100	C (ammesso sempre per partite di calcio settimanali)
2	centro sportivo	12150			
3	Chiesa	6360	570	<1000?	C (<1000 chiuso)
			250-	<500	
4	scuola media superiore	60931	500		C
			411-	<100	
5	centro sportivo	25667	530		C
6	scuola elementare	1910	570	75-73	B
			633	90 (anno 05-06)	
7	scuola media inferiore	13691		126 (anno 06-07)	<100 C, > 100 B
			680-	<100	
8	centro sportivo	51437	980		C
9	casa per anziani	2646	773	31 posti letto	A
			630	800 all'aperto	attività ricreative: B per quelle all'aperto; C per quelle al chiuso
				450 al chiuso	
10	centro anziani	9954			
			630	05-06 : (214+164)	
				=378	
	scuola elementare e media inferiore			06-07 : (211+134) =	A per scuola elementare; B per scuola media
11	inferiore	5479		345	
12	alloggi per anziani	2130	650	chiuso	xxxxxxxxxxxxxxxxxxxx
13	asilo nido e scuola materna	4231	752	50 (anno 05-06)	B
14	campo nomadi	7084			indice di edificazione?

6.4.1 Il centro n.6

Come già detto, si riporta il dettaglio del calcolo con riferimento al punto 6¹⁷: nella fig.6 si osserva che sono due i tratti di condotta ad esercitare i propri effetti sulla scuola: si tratta di due tratti di lunghezza rispettivamente pari a 658 e 832 m.

Accorpamento D-5

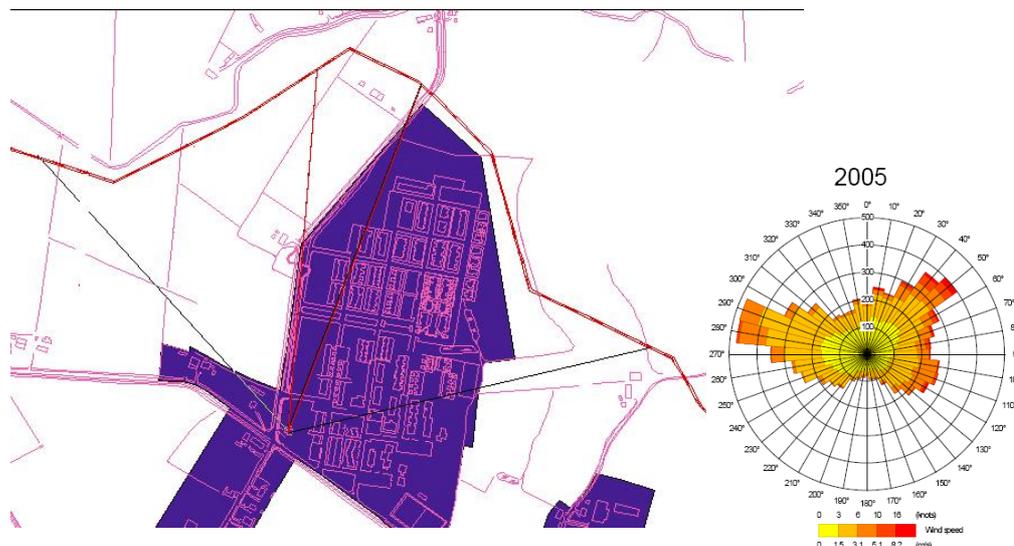
La sommatoria di frequenze è pari a 6.8×10^{-7} (ev/(km x a) e 2×10^{-6} (ev/(km x a) per i due tratti di 658 e 832 m a distanza minima di 640 e 570 m dalla condotta. il calcolo della LE_P conduce ad un valore pari a:

$$(0.658 \times 6.8 \times 10^{-7} + 0.832 \times 2 \times 10^{-6}) \times 0.11 = 2.1 \times 10^{-7}$$

La valutazione colloca gli eventi di danno nelle fascia di probabilità $<10^{-6}$. Tenendo conto della sua collocazione in area di "lesioni irreversibili" le categorie di compatibilità sono BCDEF. La scuola appartiene alla categoria B ed è quindi compatibile.

¹⁷ Considerato un "punto" poiché la sua dimensione lineare caratteristica, pari a circa 40 m, è piccola rispetto alle distanze in gioco.

Fig. 6 Il territorio, la condotta ammoniacata e il “punto” 6 (scuola elementare)



Accorpamento F-2

La sommatoria di frequenze è pari a 2.8×10^{-6} (ev/(km x a)) e 3×10^{-6} (ev/(km x a)) per i due tratti di 658 e 832 m. il calcolo della LE_P conduce ad un valore pari a:

$$(0.658 \times 2.8 \times 10^{-6} + 0.832 \times 3 \times 10^{-6}) \times 0.11 = 4.7 \times 10^{-7}$$

La valutazione colloca gli eventi di danno nelle fascia di probabilità $<10^{-6}$.

Tenendo conto della sua collocazione in area di “inizio letalità” le categorie di compatibilità sono CDEF. La scuola appartiene alla categoria B e non è compatibile se si applicano le regole della norma di legge valida per gli scenari da stabilimenti industriali.

In sintesi:

n.	Tipo di attrezzatura	Categoria territoriale del centro	Probabilità di coinvolgimento in rilascio in accorpamento D-5	Compatibilità per accorpamento D-5	Probabilità di coinvolgimento in rilascio in accorpamento F-2	Compatibilità per accorpamento F-2
6	scuola elementare	B	2.1×10^{-7}	BCDEF	4.7×10^{-7}	CDEF

6.4.2 Centri di vulnerabilità ed aree critiche

Le valutazioni ottenute per gli altri punti o aree critiche in prossimità della condotta di ammoniacata sono riassunte nella tabella tab.14 (vedi in seguito), in cui, per completezza si riporta anche il centro n. 6 già esaminato.

Per ciascun centro, si riportano:

- categoria territoriale;
- probabilità di rilascio e compatibilità territoriale per rilascio di ammoniacata in accorpamento D-5 (si ricorda che la localizzazione di tutti i centri li colloca in zona “lesioni irreversibili”);

Relazione finale

- probabilità di rilascio e compatibilità corrispondente per rilascio di ammoniaca in accorpamento F-2 (si ricorda che la reale localizzazione di tutti i centri li colloca in zona “inizio letalità”).

Nell’App. 3 si riportano le figure che per ogni centro di vulnerabilità identificano l’interazione con la condotta.

Nella tabella 14 in rosso si rappresentano le situazioni non compatibili secondo le valutazioni effettuate e in arancione quelle dubbie.

Le fig. 7 e 8 rappresentano la collocazione geografica dei centri di vulnerabilità. Nella medesima figura è tracciata anche una linea a distanza dalle condotte pari a 800 m e leggermente superiore alla distanza calcolata per l’accorpamento F-2 e pari a 770 m.

Soltanto il punto 14 si colloca nell’area di influenza delle condotte che trasportano etilene e propilene. Per esso si osserva quanto segue:

- il punto si colloca praticamente a ridosso della condotta. La valutazione quindi è indipendente dalla direzione del vento anche nel caso di VCE poiché ogni direzione può determinare il coinvolgimento;
- la lunghezza della condotta di interesse per le VCE è pari a 75x 2 m per l’etilene e 105 x 2 m per la condotta di propilene, entrambi gli scenari con una probabilità di $1.01 \times 10^{-5} \times 0.105 \times 2 = 2.20 \times 10^{-6}$ volendo valutare il valor massimo.

La determinazione della categoria di compatibilità per la localizzazione attuale del centro non può però prescindere dal fatto che la vicinanza con la condotta potrebbe collocare il punto all’interno di una distanza inferiore a quella tipica non delle lesioni irreversibili (quella considerata) ma di inizio letalità avendosi così non più la classe di compatibilità CDEF (per quel valore di probabilità) ma quella DEF.

Se si considerano i valori calcolati al par. 4.4.1.2 ed in particolare la tab. 12 ter, la distanza massima di compatibilità DEF è pari a 75 m, mentre diviene CDEF tra 75 e 105 m.

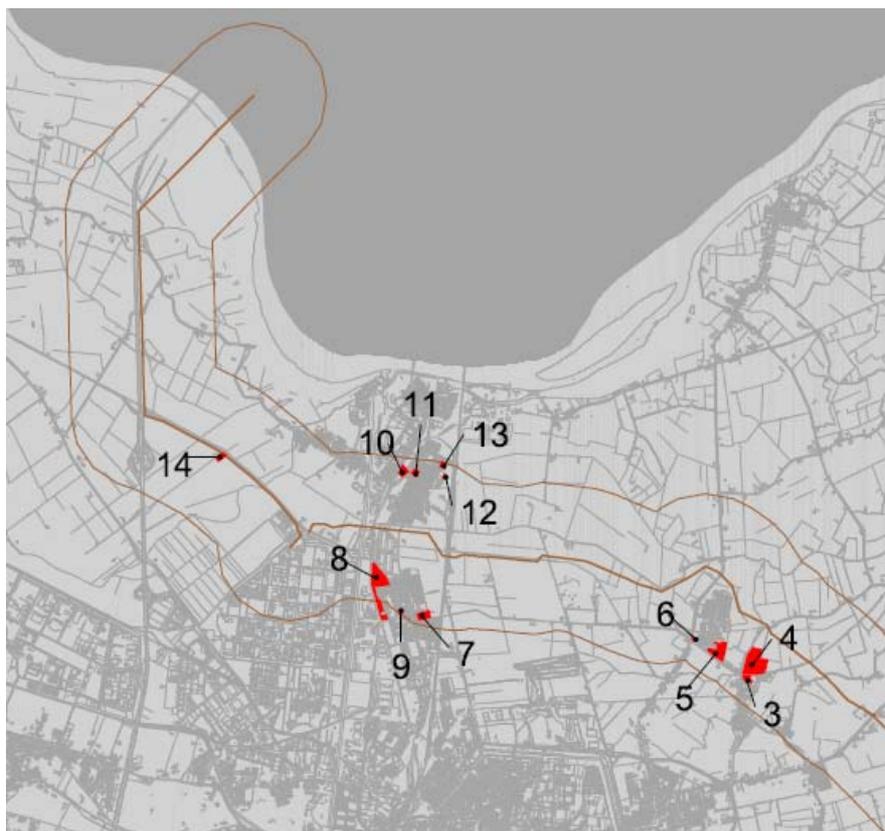
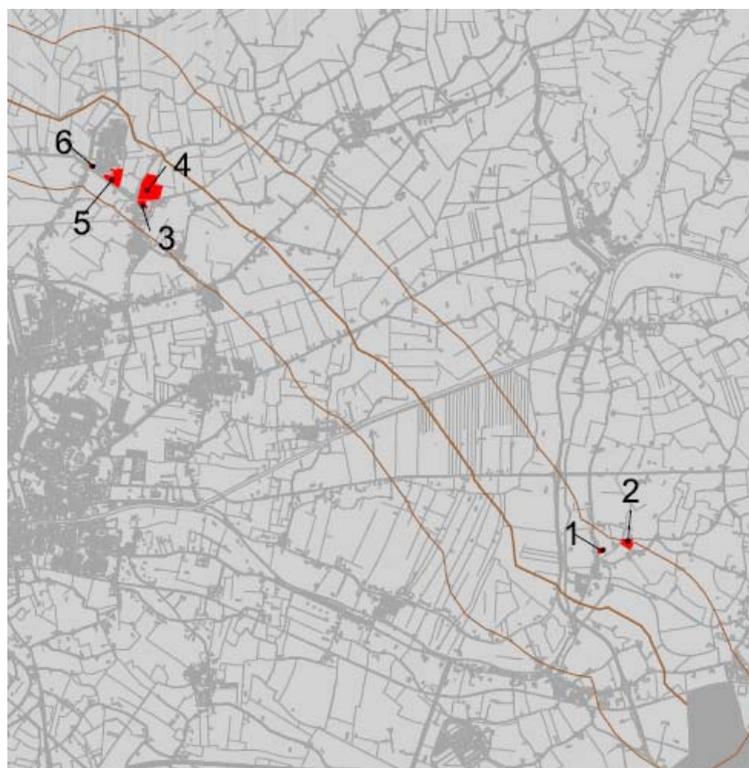


Fig. 7 e 8. Collocazione dei centri di vulnerabilità



Tab. 15 Categorie di compatibilità territoriali per la condotta di ammoniaca.

n.	Tipo di attrezzatura	Categoria territoriale del centro	Probabilità di coinvolgimento in rilascio in accorpamento D-5	Compatibilità per accorpamento D-5	Probabilità di coinvolgimento in rilascio in accorpamento F-2	Compatibilità per accorpamento F-2
1	chiesa	C (<1000 chiuso)	1.30548E-07	BCDEF	1.94835E-07	1.30548E-07
2	centro sportivo	C (sempre ammesso per partite di calcio settimanali)	Si colloca in zona "lesioni reversibili" per l'accorpamento D-5 e in zona "lesioni irreversibili" per quello F-2. Ne segue che la compatibilità è al massimo (per probabilità compresa tra 10 ⁻⁶ e 10 ⁻⁴) pari a BCDEF per D-5 e CDEF per F-2.			
3	chiesa	C (<1000 chiuso)	2.83915E-07	BCDEF	4.31838E-07	CDEF
4	scuola media superiore	C	5.57127E-07	BCDEF	7.69721E-07	CDEF
5	centro sportivo	C	2.78624E-07	BCDEF	3.99238E-07	CDEF
6	Scuola elementare	B	2.1 x 10 ⁻⁷	BCDEF	4.7 x 10 ⁻⁷	CDEF (1)
7	scuola media inferiore	<100 C, > 100 B	3.3656E-08	BCDEF	5.74068E-08	CDEF (2)
8	centro sportivo	C	4.6087E-07	BCDEF	7.25761E-07	CDEF
9	casa per anziani	A	Si colloca in zona "lesioni reversibili" per l'accorpamento D-5 e in zona "lesioni irreversibili" per quello F-2. Per gli accorpamenti D-5 e F-2 la probabilità dello scenario è sempre < 10 ⁻⁶ anche considerando il coinvolgimento in incidenti riguardanti circa 3 km(!) di condotta: compatibilità ABCDEF per D-5 e BCDEF per F-2.			
10	centro anziani	attività ricreative: B per quelle all'aperto; C per quelle al chiuso	4.6087E-07	BCDEF	7.25761E-07	CDEF
11	scuola elementare e media inferiore	A per scuola elementare; B per scuola media	6.14191E-08	BCDEF	8.63537E-08	CDEF (2)
12	alloggi per anziani	chiuso	-----	-----	-----	-----
13	asilo nido e scuola materna	B	Si colloca in zona "lesioni reversibili" per l'accorpamento D-5 e in zona "lesioni irreversibili" per quello F-2. Per l'accorpamento D-5 la probabilità dello scenario è trascurabile: compatibilità ABCDEF. Per l'accorpamento F-2 la probabilità dello scenario è bassa (8.9 x 10 ⁻⁷) anche considerando il coinvolgimento in incidenti riguardanti circa 3 km(!) di condotta: compatibilità BCDEF.			
14	Campo nomadi	indice di edificazione?(densità media di presenze?)	2.20 x 10 ⁻⁶ : compatibilità DEF per distanze < 75 m, CDEF per distanze tra 75 e 105 m.			

Relazione finale

- 1) Vedi nota 1. sottostante.
- 2) Vedi nota 2. sottostante.

Dalla tabella si evidenziano alcuni centri di vulnerabilità non compatibili o di dubbia compatibilità sui quali si svolgono le seguenti considerazioni.

TRATTO 4 (condotta di ammoniaca)

3. centro 6: scuola elementare. L'incompatibilità è riferita allo scenario di accorpamento F-2. In merito è opportuno considerare la distribuzione nelle ore della giornata della classe di stabilità F così come riportata nel documento ARPA già citato (da cui è estratta la Fig. 9 di pagina seguente). Si può osservare che la classe di stabilità F risulta assente durante il giorno sia nel periodo invernale che nel periodo estivo, in particolare con riferimento all'intervallo orario 6.30 – 16. Ne consegue che considerare una probabilità irrilevante (al limite nulla) per lo scenario F-2 durante l'orario tipico delle scuole inferiori appare del tutto ragionevole. Ciò deve indurre, a giudizio di chi scrive, a non considerare critica la compatibilità con lo scenario di accorpamento F-2 nel caso delle scuole inferiori.
4. La nota 1. vale anche per i centri n.7 e n. 11 stante gli orari tipici delle scuole elementari e medie inferiori.

E' necessario inoltre sottolineare una considerazione del tutto generale: se le attività del centro di vulnerabilità si svolgono al chiuso ciò configura la presenza di una mitigazione del rilascio poiché è ben noto che la concentrazione in un ambiente chiuso sale dal valore nullo al valore presente all'aperto in tempi finiti e significativi che dipendono dal rateo di ventilazione dell'ambiente. Non a caso il rifugio al chiuso è la prima misura di protezione per rilasci di sostanze tossiche indicata dal Dipartimento della Protezione Civile nel suo documento "Linee guida per la pianificazione dell'emergenza esterna in..." recentemente aggiornato (2005).

La valutazione effettuata per centri la cui attività si svolge al chiuso è quindi ulteriormente sovrastimata e ciò rende, ad avviso di chi scrive, non significativamente preoccupanti le caratteristiche dei centri 9 e 11.

Un parziale non compatibilità resta alla fine per il centro anziani (n. 10 della tabella), se si considerano le possibilità di ricreazione all'aperto che vengono offerte (ballo e parco). Va notato in merito che per queste attività vi è possibilità di appartenenza alla categoria C se, come recita il DM, luogo "di qualunque dimensione se la frequentazione è al massimo settimanale". Oltre all'ovvia correzione che massimo deve essere sostituito con minimo, si osserva che una delle attività citate (ballo) ha certamente periodicità > o uguale a quella settimanale e resta pertanto quale incognita la potenzialità del parco poiché non è noto quante persone mediamente raccolga durante il giorno (> o < di 100?).

Relazione finale

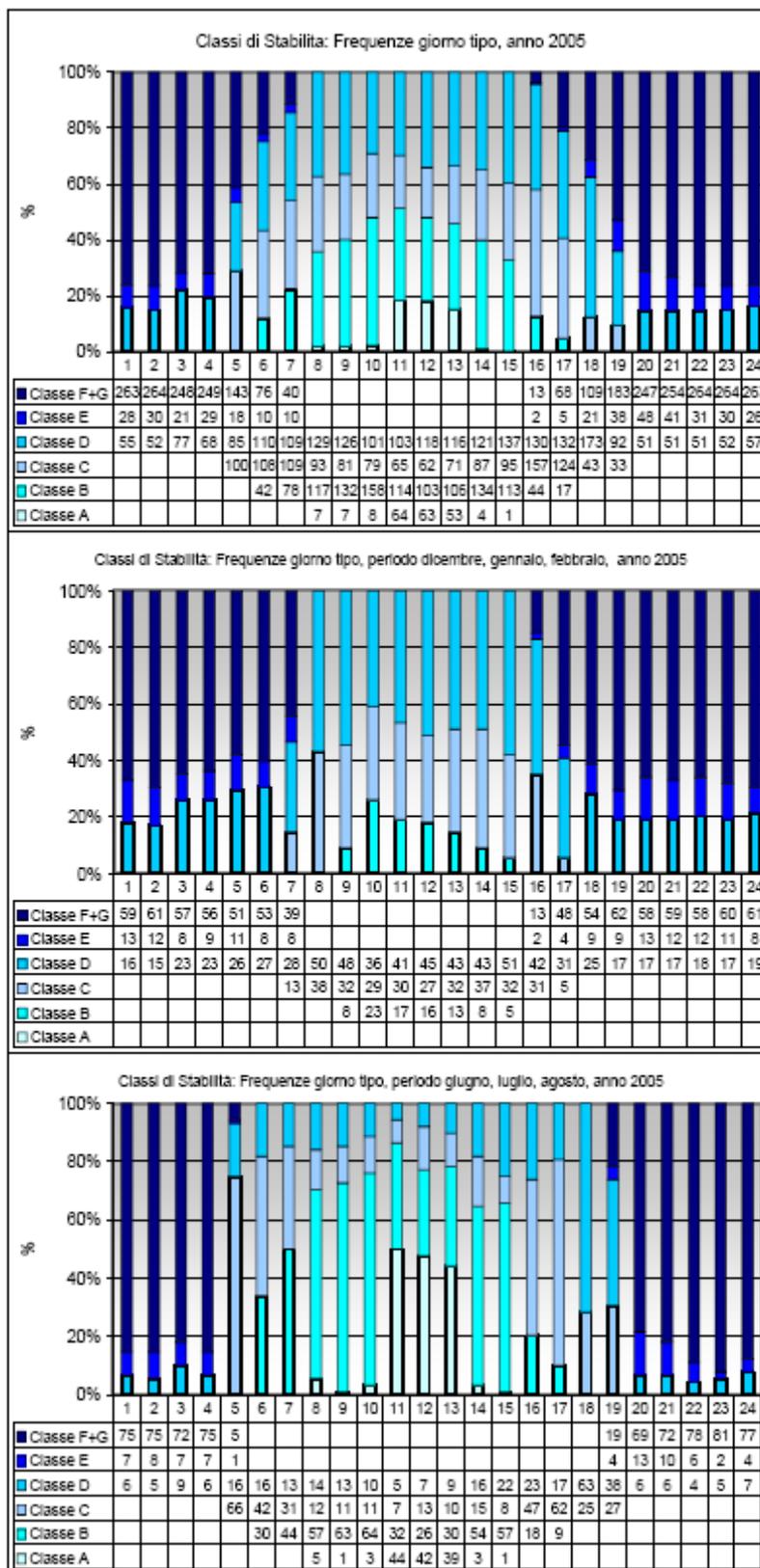


Fig. 9 Andamento giornaliero delle classi di stabilità

7. Considerazioni conclusive

Si riassumono sinteticamente ipotesi e considerazioni alla base dell'indagine eseguita per ribadire da un lato gli aspetti di conservatività in essa inclusi e dall'altro i fattori che ne caratterizzano le incertezze, sempre presenti nelle analisi di rischio.

- Le frequenze incidentali sono state determinate utilizzando indagini statistiche soltanto in parte ridotte per tener conto delle misure di sicurezza adottate (si richiamano gli aspetti di sicurezza dettagliati nella relazione estesa: piano di controllo gestionale e delle infrastrutture, segnalazione della condotta, protezione dalla corrosione) e non esiste quindi statistica specifica della effettiva probabilità, certamente minore, che si realizzino rotture delle dimensioni utilizzate in presenza dell'adozione di tali misure.
- La valutazione delle conseguenze ha fatto riferimento, per ragioni di conservatività, a totale scorporamento delle condotte e a rilascio orientato verticalmente per i rilasci di ammoniaca, non considerando che, soprattutto per bassi valori delle portate quali quelli derivanti dalle rotture di classe 1, ciò non è necessariamente vero e potrebbe risultare eccessivamente conservativo.
- La modellistica di dispersione presente nei codici di calcolo usualmente adottati per tali valutazioni può condurre a risultati abbastanza diversi, dell'ordine delle decine di metri, in relazione a scelte di parametri quali la frazione di rain-out o di aerosol della nube tossica o infiammabile: tali parametri dipendono dall'esperienza e sensibilità dell'analista di rischio. Anche la modellistica delle VCE fornisce risultati piuttosto dissimili se si adottano ipotesi fisiche diverse quali: " non c'è VCE se non vi è massa in zona di esplosività significativa (>1 t) " oppure "non vi è VCE se non vi è almeno un parziale confinamento della nube" (è questa la scelta effettuata).
- La categorizzazione del territorio è stata ipotizzata considerando come base la distanza alla quale si realizza lo 0.1 % di mortalità, al fine di meglio rappresentare la dinamicità dei possibili eventi, in parte variando quanto previsto dal Dm per gli stabilimenti a rischio.
- E' stato necessario introdurre un metodo di calcolo specifico per la valutazione della probabilità degli scenari connessi a sorgenti lineari quali le condotte: all'uopo è stato predisposto un metodo semplice e conservativo.

Di queste ipotesi e scelte tecniche risentono le valutazioni riportate che vogliono fornire un piccolo contributo alla determinazione delle categorie di compatibilità territoriale in analogia a quanto dettato per gli impianti a rischio dal DM 9 Maggio 2001. Tuttavia la categorizzazione di aree critiche specifiche ha mostrato la difficoltà del metodo fornito dal D.M. di considerare tutte le variabili che influenzano la reale esposizione degli individui dei centri di vulnerabilità.

Da ultimo si sottolinea che un confronto più efficace avrebbe potuto essere effettuato adottando la procedura di valutazione del rischio d'area nel contesto di uno studio integrato d'area che la stessa norma di legge suggerisce per le aree ad elevata concentrazione di stabilimenti all'art. 13 del Dlgs 334/99. Queste ultime infatti, che si caratterizzano per un numero significativo di sorgenti di rischio puntuali (gli impianti) e lineari (i trasporti attraverso le diverse modalità), traggono vantaggio da un esame globale dei rischi di incidente rilevante attraverso misure di rischio di calcolo più complesso ma di più semplice lettura comparativa.

Bibliografia

- [1] Polimeri Europa, *Pipeline Nord Adriatico*, Documento consegnato al Comune di Ferrara, 2007.
- [2] DICMA, *Aggiornamento dello studio ARIPAR*, Convenzione tra Regione Emilia-Romagna e DICMA, 2003 (documento riservato).
- [3] *Gas Pipeline Incidents, Report 1970/1986 - A report of the European Gas pipeline Incident data Group* ' April 1988.
- [4] *Gas Pipeline Incidents, Report 1970/1992 - A report of the European Gas pipeline Incident data Group* ' October 1993.
- [5] P. Leonelli, S. Bonvicini, G. Spadoni, "New detailed numerical procedures for calculating risk measures in hazardous materials transportation", *J. Loss Prev. Process Ind.*,12 , 507-515 (1999).
- [6] F.P.Lees, *Loss Prevention in the Process Industries*, Butterworth Heinemann, Second edition, Oxford 1996.
- [7] Jones, Underwood 'An appraisal of expressions used to calculate release rate of pressurized liquified gas', *Chem. Eng. Journal*, 26, 1983, pp.251/254
- [8] Morrow, Bass, Lock 'An LPG pipeline break flow model', *Journal of Energy Resource Technology*, Vol. 105, Sept. 1983, pp379/387
- [9] Grolmes, Fauske 'Vapour cloud formation and dispersion following break in very long transmission pipeline' Paper no. 49b, *Pipeline Risk Assesments Symposium*, 2 -6 April 1989, Houston Texas

Appendice 1

Schede di sicurezza di etilene, propilene e ammoniaca

Appendice 1

Schede di sicurezza di etilene, propilene e ammoniaca

Appendice 2

Condizioni meteo-climatiche nel territorio di interesse

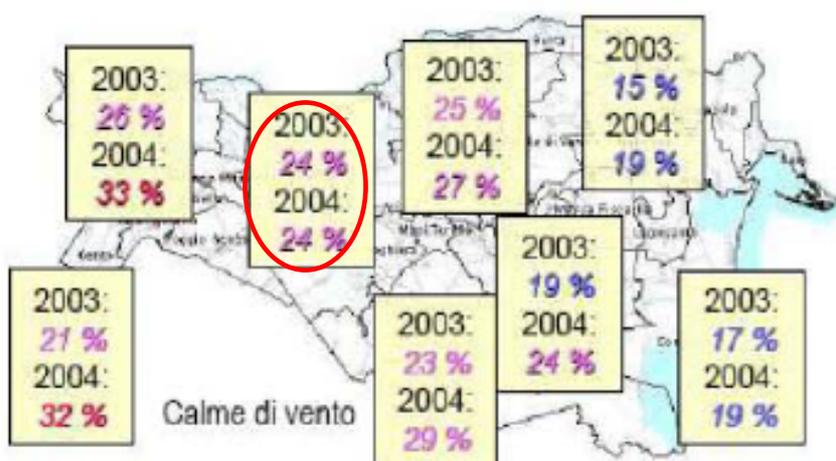
Tutti gli elementi riportati nel seguito si basano sulla documentazione fornita da ARPA sezione di Ferrara e sono relativi agli anni 2003-2005.

1. Calme di vento e rose dei venti

E' noto che alle condizioni di calma di vento si associa la scomparsa pressoché totale della turbolenza atmosferica: la diluizione degli inquinanti è allora principalmente dovuta alla diffusione molecolare e non ha direzione preferenziale ma avviene in maniera simmetrica rispetto alla sorgente.

Seguono alcune considerazioni sulle calme di vento (intensità del vento < 1m/s) nella provincia di Ferrara.

Fig. 1.4: Calme di vento 2003 e 2004



Nella figura sottostante sono riportate inoltre le rose dei venti per la provincia di Ferrara per i due anni di riferimento 2003 e 2004.

Fig. 1.5: Rose dei venti 2003

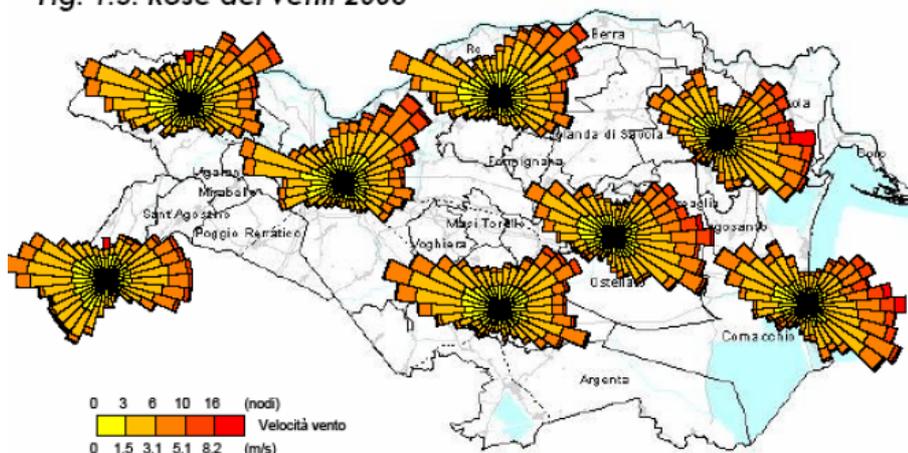
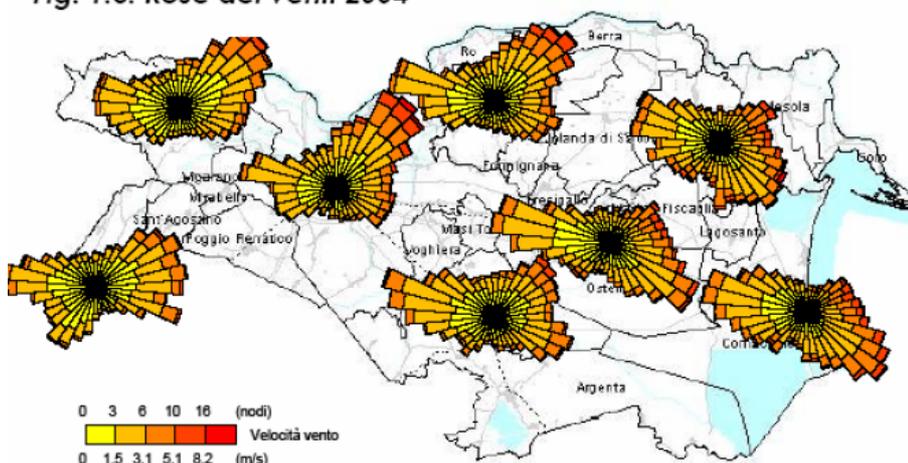


Fig. 1.6: Rose dei venti 2004



Di interesse ancora più specifico sono i dati riferentesi al comune di Ferrara e riportati alla pagina seguente ¹⁸.

Si noti che:

- si ha una certa variabilità in direzione ed intensità dei venti nei tre anni;
- le calme di vento sono riferite a venti di intensità < 0.75 m/s e sono pari rispettivamente a 18, 19 e 15% come valor medio nell'anno ma dipendono dalla direzione del vento.

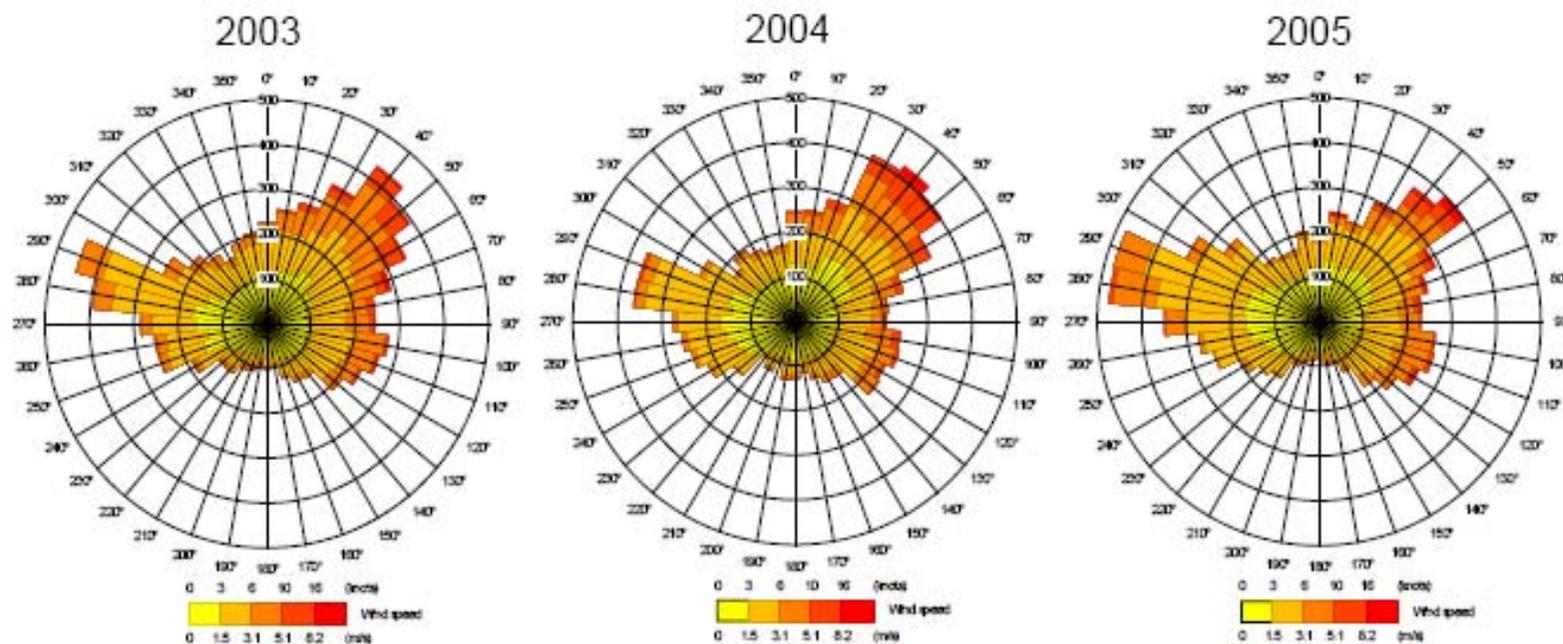
In merito all'ultimo punto si deve osservare che tipicamente nelle valutazioni di rischio si è soliti far riferimento a valori medi su di un lungo periodo per garantire significatività ai valori medesimi. Nell'impossibilità di effettuare tale calcolo nel seguito si prenderà a riferimento l'anno più vicino e cioè il 2005.

¹⁸ Pag. 31 e seguenti del "Piano di tutela e risanamento della qualità dell'aria".

Appendice 2

Condizioni meteo-climatiche nel territorio di interesse

Fig. 1.15: Comune di Ferrara. Rosa dei venti, dati Calmet , Ferrara, anni 2003- 2005



I casi di calma di vento, come definiti da ADMS, sono pari al 18%,19% e 15% sul totale dei dati validi, rispettivamente per gli anni 2003, 2004 e 2005.

Appendice 2

Condizioni meteo-climatiche nel territorio di interesse

Nella rosa dei venti dell'anno 2005 si leggono i seguenti valori (la rosa rappresenta le frequenze di PROVENIENZA del vento; quella considerata è suddivisa in settori di 10 gradi di ampiezza; il senso di rotazione è quello orario a partire dal Nord (0 gradi). Ogni colonna della tabella sottostante riporta il valore dell'angolo in gradi di inizio settore e i millesimi di frequenza annua di tale settore:

gradi	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	165	175
millesimi	28	27	37	46	49	36	30	28	28	32	33	31	27	21	15	11	10	9

gradi	185	195	205	215	225	235	245	255	265	275	285	295	305	315	325	335	345	355
millesimi	10	12	14	18	20	25	31	33	43	59	59	41	32	20	18	18	25	25

2. Turbolenza atmosferica

Per gli stessi tre anni è possibile anche ottenere le caratteristiche della turbolenza atmosferica ovvero la suddivisione in classi di PASQUILL¹⁹ della medesima: essa è di grande significatività per la valutazione quantitativa della dispersione di un inquinante con i modelli predittivi di maggior utilizzo. Come è noto a Classe A corrisponde elevata turbolenza (cioè elevato mescolamento ed instabilità atmosferica) e di conseguenza diluizione forte degli inquinanti in prossimità della sorgente, mentre alla Classe F si associa per contro notevole stabilità e quindi scarsa capacità di diluizione che favorisce la presenza di inquinanti anche a distanze significative dalla sorgente dell'emissione. Osservando la tabella sottostante e il dettaglio dei dati di pagina seguente, da cui essa è desunta, si ricava che:

- le classi D e F (+G) sono presenti mediamente nel 28 e 35 % dei casi (base annua) e pressoché costanti nei tre anni esaminati;
- la classe F (+G) non varia in maniera significativa durante l'anno, mentre la classe D ha andamento maggiormente variabile con una prevalenza nei mesi invernali.

Tab. 1.3: Percentuali Classi di stabilità

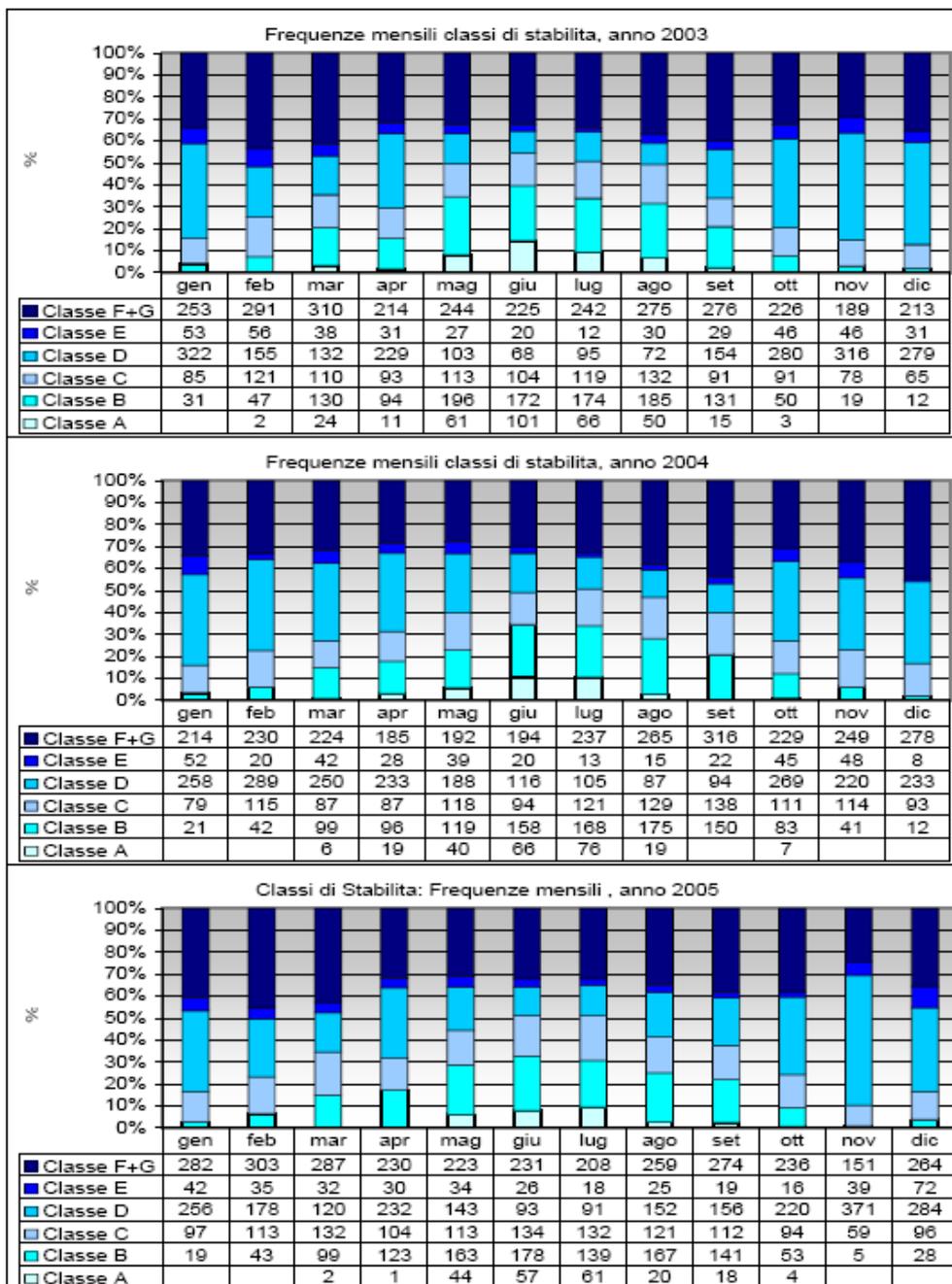
Anno	% Classe A	% Classe B	% Classe C	% Classe D	% Classe E	% Classe F+G
2003	4%	15%	14%	26%	5%	35%
2004	3%	14%	16%	29%	4%	34%
2005	2%	14%	16%	28%	5%	36%

¹⁹ Si prescinde in questa classificazione da fenomeni meteo assai intensi e di carattere più sporadico.

Appendice 2

Condizioni meteo-climatiche nel territorio di interesse

Fig.1.22: Comune di Ferrara. Classi di stabilità: frequenza e numero casi mensili.



La definizione delle classi di stabilità dipende fondamentalmente da due fenomeni fisici: la turbolenza meccanica (connessa alla velocità del vento) e quella termica (legata all'irraggiamento solare) e tali fenomeni agiscono in maniera più o meno significativa durante le ore del giorno; la loro distribuzione giornaliera mostra che la classe F (+G) è pressoché assente durante il giorno e viceversa la classe D è quasi del tutto assente durante la notte.

Queste ultime osservazioni sono rilevanti se si considera che durante le ore notturne la % di popolazione all'interno degli edifici è certamente superiore e ciò

Appendice 2

Condizioni meteo-climatiche nel territorio di interesse

configura per essa l'esposizione ad una concentrazione tanto più ridotta quanto più è basso il rateo di ventilazione degli edifici. Si è soliti comprendere questa osservazione nella definizione di un "coefficiente di mitigazione indoor", inteso come il rapporto tra la probabilità di danno all'uomo all'interno e quella esterna dovuta all'incidente. Esso è variabile in funzione della durata dell'incidente, ma è assunto in alcuni studi di rischio (vedi ARIPAR) pari a 0,5.

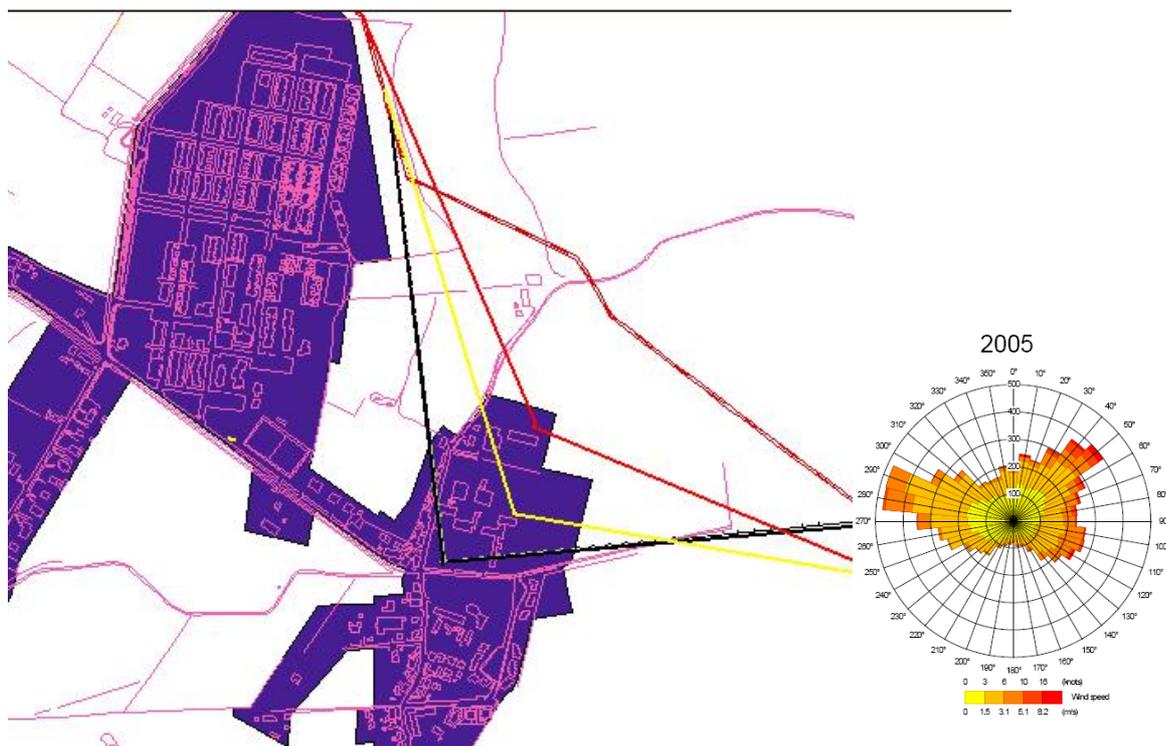
Per concludere queste brevi note sulle caratteristiche atmosferiche dell'area di riferimento si riporta un breve cenno alle **precipitazioni** che assumono un ruolo importante nelle dispersioni atmosferiche di ammoniaca anidra: è noto infatti che la diluizione con acqua costituisce un ottimo metodo di mitigazione poiché l'assorbimento in fase liquida con reazione chimica riduce la concentrazione nel mezzo aria. Valutazioni di dettaglio esulano dal presente documento; è tuttavia possibile affermare²⁰ che i giorni caratterizzati da una pioggia > 5 mm possano efficacemente ridurre la concentrazione dell'inquinante: essi sono stimabili per difetto in almeno 30 all'anno nella provincia di Ferrara.

²⁰ Si cita ancora il documento ARPA a pag. 28.

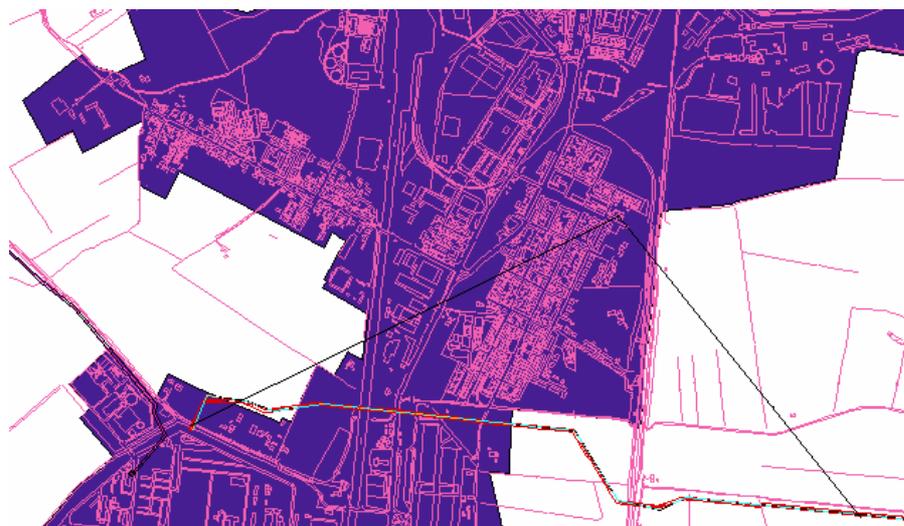
Appendice 3

Interazione condotta di ammoniacca e territorio

Area 4 . Condotta e tratti critici



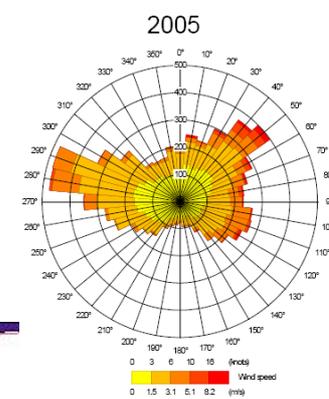
Area 13 : condotta e tratti critici



Area 5 Condotta e tratti critici

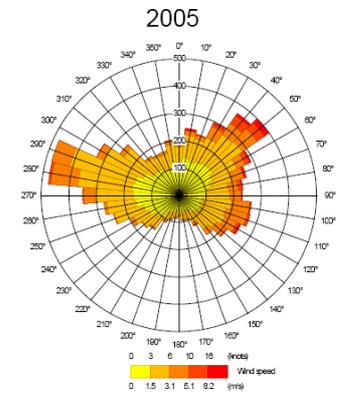
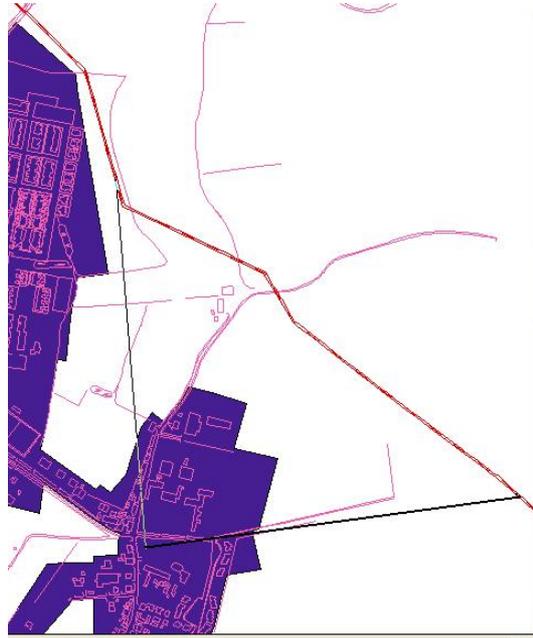


Area 8 Condotta e tratti critici



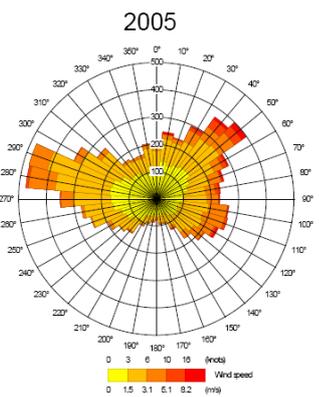
Appendice 3

Interazione condotta di ammoniaca e territorio



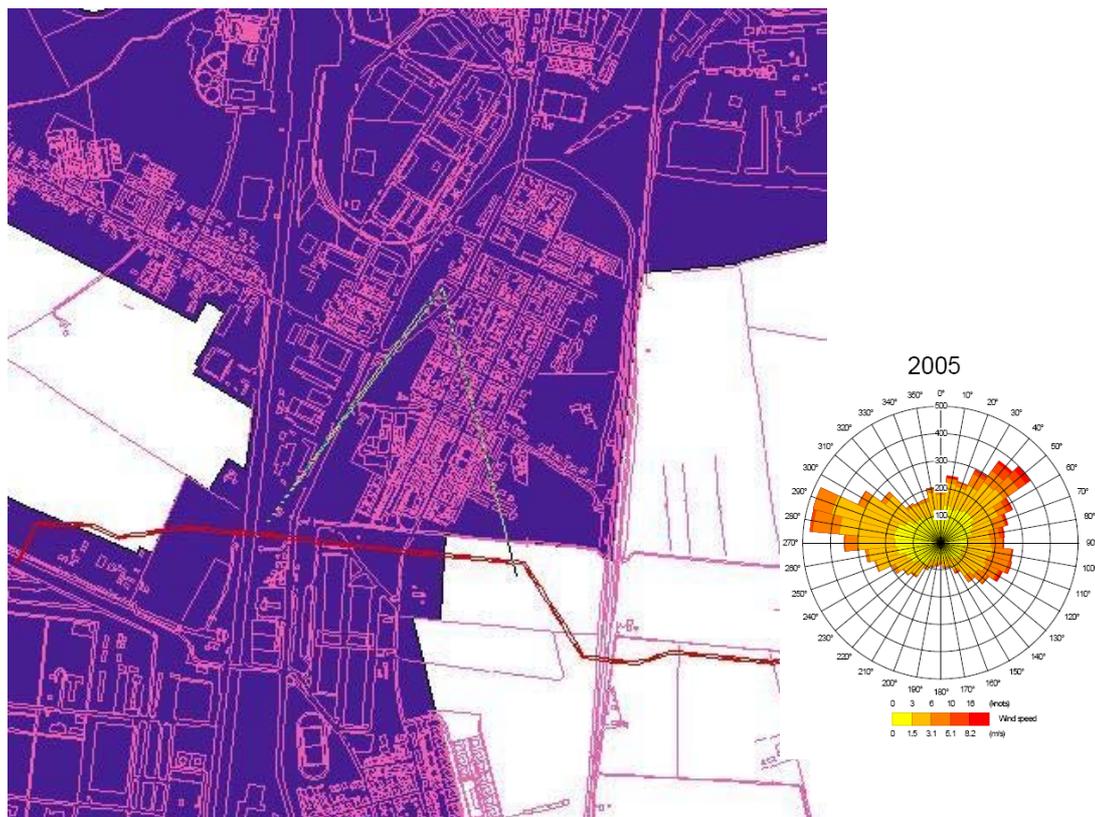
punto 3 ($x < 10^{-6}$)

punto 7 ($x < 10^{-6}$)



Appendice 3

Interazione condotta di ammoniacca e territorio



punto 10 ($x < 10^{-6}$)

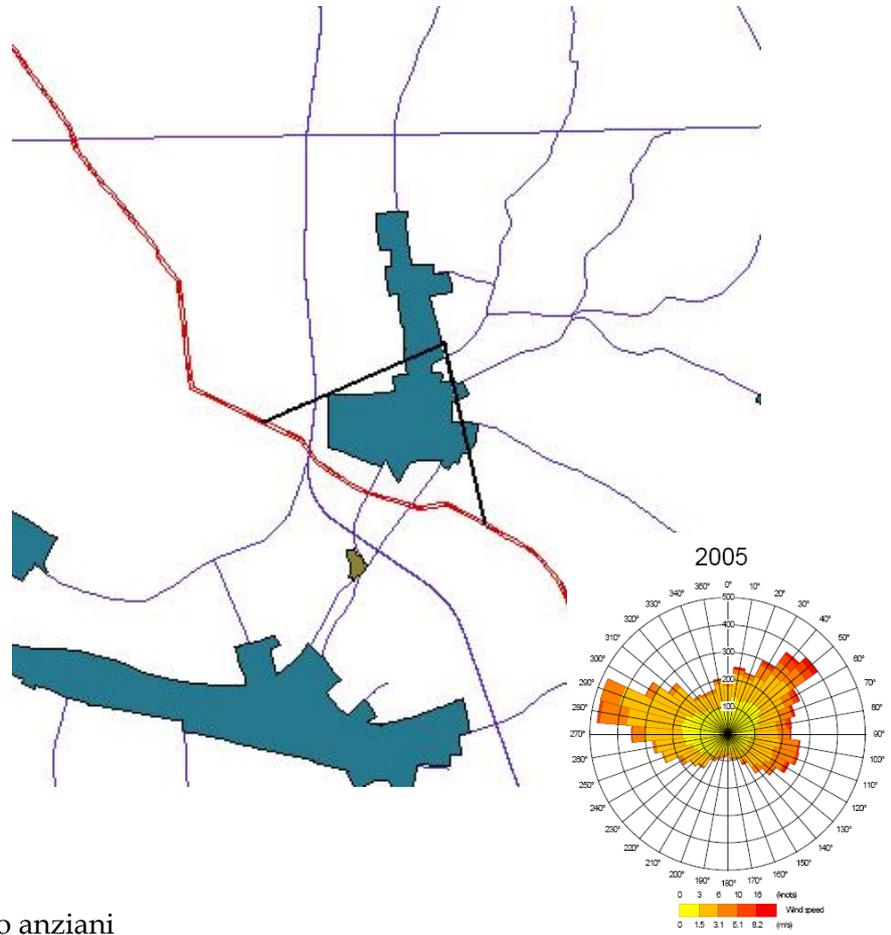
punto 12 ($x < 10^{-6}$)



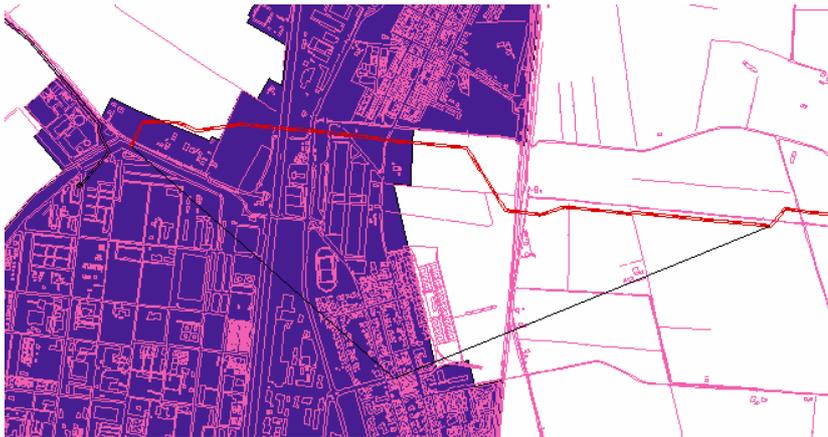
Appendice 3

Interazione condotta di ammoniacaca e territorio

punto 1 ($x < 10^{-6}$)



Punto 9 - centro anziani



Appendice 3

Interazione condotta di ammoniacca e territorio

