

# MODELLI PERFEZIONATI PER LO STUDIO SPEDITIVO DEL RISCHIO D'AREA A FORTE CONCENTRAZIONE INDUSTRIALE. UNA APPLICAZIONE ALL'AREA INDUSTRIALE DI PIOMBINO <sup>δ</sup>

*M.N. Carcassi<sup>§</sup>, P. Cecchella<sup>♦</sup>, M. MossaVerre<sup>©</sup> e U. Poli<sup>a</sup>*

Università di Pisa – Dipartimento di Costruzioni Meccaniche e Nucleari (DCMN)  
via Diotallevi 2 – 56126 PISA  
Tel 050-585254 Fax 050-585265 Email [carcassi@ing.unipi.it](mailto:carcassi@ing.unipi.it)

## SOMMARIO

Spesso è necessario investigare il rischio risultante in una specifica area a forte concentrazione industriale e infrastrutturale ( porti, aree industriali, etc) dovuto a pericoli derivanti da impianti produttivi, trasporti di sostanze pericolose ed inquinamento dell'ambiente, per sostenere le autorità nella loro azione di decisione.

La possibilità di arrivare ad una rapida, se pur grossolana, valutazione del rischio in aree dove è forte la concentrazione di installazioni industriali è stata riconosciuta come una tappa fondamentale per l'analisi preliminare del rischio sia delle aree industrializzate esistenti sia per quelle aree suscettibili di nuovi insediamenti industriali, in modo da promuovere la protezione dell'ambiente e la pianificazione razionale dell'uso del territorio.

Nell'ambito di un programma fra agenzie internazionali, l'IAEA ha elaborato una metodologia per analisi speditiva del rischio descritta nel "Manual for the Classification and Prioritization of risk due to Major Accidents in Process and related Industries". Tale metodologia è stata presa in considerazione come standard di analisi e di essa si è perfezionato, in particolare, il modello che stima la probabilità dell'incidente stradale durante il trasporto di sostanze pericolose.

Il software sviluppato, denominato MARA-ROAD (Manual of Risk Analysis-ROAD), è stato applicato a un case study relativo all'area industrializzata di Piombino. Su tale area è stato evidenziato inizialmente il contributo al rischio dei vari insediamenti industriali e del trasporto di materiale pericoloso nella situazione attuale; successivamente si è analizzato e comparato con lo studio precedente, l'impatto, in termini di rischio, dovuto ad alternative di percorsi per il traffico veicolare delle sostanze pericolose.

## 1 INTRODUZIONE

Negli ultimi anni particolare interesse è stato rivolto dal mondo scientifico verso i metodi per la valutazione del rischio di aree industriali complesse<sup>1</sup>. Nello stesso tempo alcuni Enti di Controllo hanno sentito l'esigenza di affrontare tale argomento; sia perché coscienti che le analisi di rischio, volute dalla legislazione vigente, erano focalizzate sui singoli impianti e quindi strutturalmente incapaci di affrontare una analisi di rischio globale - cioè relativa ad aree in cui sono presenti una moltitudine di attività/impianti pericolosi; sia spinti dall'Esecutivo che richiedeva studi di pianificazione territoriale per lo sviluppo

---

<sup>δ</sup> Il presente lavoro prende spunto da una attività di ricerca svolta dal DCMN, con la collaborazione dell'ARPAT, per l'ISPESL/DIPIA. Alla relazione finale [1] di tale lavoro si rimanda per ulteriori informazioni ed approfondimenti

\* Università di Pisa - DCMN

♦ SAIBC Pisa

♥ ARPAT Firenze

^ ISPESL/DIPIA - Roma

<sup>1</sup> Si veda per esempio l'analisi effettuata per l'area Industriale di Ravenna [3]

industriale e, in particolare, negli studi di pianificazione urbanistica (individuazione di nuove aree fabbricabili o nuove vie di comunicazione).

Per quanto riguarda la situazione attuale, l'esigenza della valutazione del rischio in aree industriali complesse è stata anche compresa dal Legislatore quando, individuando le aree del territorio Italiano che necessitano adeguati interventi, rimanda ad una approfondita analisi di rischio l'individuazione degli interventi strutturali tesi a migliorare la situazione di degrado ambientale e di sicurezza. Con questo riconoscendo che tale analisi è essenziale per una efficace pianificazioni territoriale.

E' preliminarmente da sottolineare che la valutazione dei rischi per aree industriali complesse non può essere svolta attraverso la semplice composizione del rischio dovuto alle singole attività industriali presenti sul territorio (analisi effettuata semplicemente prelevando le informazioni per ciascuna azienda dalle notifiche o dichiarazioni previste dal DPR 175/88). Infatti in questo modo, verrebbero meno diversi aspetti essenziale del problema.

1. L'utilizzo degli attuali rapporti di sicurezza non è agevole data la difficoltà di raggruppare coerentemente tutte le informazioni associate ad ogni singola attività. Infatti le informazioni contenute, nei singoli rapporti di sicurezza, non sono da sole sufficienti per una coerente composizione dei rischi. Ogni fabbricante ha, infatti, utilizzato metodologie diverse e spesso presentate in maniera disomogenea. L'affidabilità delle quali è spesso limitata da una certa soggettività contenuta nella valutazione (la sensibilità a focalizzare certi problemi da parte di un fabbricante non è necessariamente uguale a quella di un altro fabbricante).
2. L'utilizzo esclusivo delle sole informazioni contenute nei rapporti di sicurezza potrebbe portare, a causa della necessità di elaborare ed estrapolare le informazioni, a risultati errati o non coerenti.
3. L'assenza, infine, nei rapporti di sicurezza di uno studio relativo alle attività di trasporto impedisce l'analisi integrata di aree industriali complesse attraverso il semplice utilizzo dei R. di S.. Infatti le attività di trasporto possono contribuire notevolmente al rischio d'area.

La legislazione italiana e comunitaria al riguardo non si è ancora pronunciata su queste ultime particolari tipologie di attività, facendo di conseguenza mancare un supporto concreto per il reperimento delle informazioni. Escludere aprioristicamente le attività associate al trasporto di sostanze pericolose condurrebbe alla sottovalutazione drastica dei livelli di rischio di esposizione per la popolazione. Infatti l'incidenza del rischio dovuto al trasporto rispetto alle installazioni fisse è molto elevata [4]. Nella Tabella 1 sono riportati, per le diverse tipologie di attività e relativamente all'anno 1973, gli incidenti avvenuti in Europa coinvolgenti le sostanze pericolose e registrati nella banca dati sviluppata presso *Joint Research Centre* di Ispra. Dalla tabella si deduce che il 39% degli incidenti ha coinvolto attività di trasporto con un numero di morti pari al 27% del totale. Ciò comporta che per una analisi di rischio in una aria industriale complessa è necessario valutare nel dettaglio anche le attività di trasporto di sostanze pericolose.

Tipologia	Numero di incidenti	% sul totale incidenti	Numero di morti	% sul totale dei morti
<b>Installazioni fisse</b>	998	55	454	66
<b>Carico/scarico</b>	104	6	47	7
<b>Trasporto</b>	691	39	181	27
<b>Totale</b>	1793	100	682	100

Tabella 1: Frequenza di eventi incidentali in funzione della tipologia di attività in Europa nel 1973

A conclusione di quanto detto sopra la composizione del rischio di più attività industriali deve preliminarmente (a) rianalizzare le attività industriali fisse e (b) valutare il rischio delle attività associate di trasporto delle sostanze pericolose. Per questo motivo in letteratura sono stati sviluppati metodologie speditive<sup>2</sup> che permettono di effettuare una sommaria analisi di insieme, al fine di focalizzare quali siano le priorità per le analisi specifiche successive.

<sup>2</sup> Per metodologia speditiva si intendono i metodi che permettono di ottenere, attraverso un numero limitato di informazioni, risultati approssimati validi al fine di individuare scale di prioritizzazioni per interventi successivi.

## 2 I MODELLI PER L'ANALISI SPEDITIVA

Le metodologie, o modelli, per una analisi speditiva derivano direttamente da metodi o modelli sviluppati nell'industria ad alto rischio - quali quelle chimiche, nucleari od aeronautiche - per scopi diversi quali, ad esempio, l'identificazione delle parti di impianto più pericolose rispetto ad incendi o esplosioni o rilasci tossici (metodo Daw Mond) o identificazione preliminare delle sequenze incidentali più significative in termini di probabilità di fusione del Core di un reattore nucleare (FMEA/FMECA).

Nel presente lavoro si è utilizzato il metodo proposto dalla IAEA [5] che permette una preliminare comparazione delle attività industriali presenti nel medesimo territorio e implementata nel codice MARA/MANUAL<sup>3</sup>. Tale metodologia è stata sviluppata espressamente per lo studio di aree industriali complesse. Altre metodologie, quale il metodo proposto dall'ISPESL/DIPIA [6] basato sulla metodologia ad indici presentata nell'Allegato II del DPCM del 31 Marzo 1989, sono state esaminate dagli autori [1] ma non riportate nel presente articolo.

Per tener conto, in maniera più puntuale, del rischio derivante dalle attività di trasporto di materiale pericoloso, si è utilizzata una metodologia originale per la valutazione del rischio dal trasporto di sostanze pericolose formata dall'unione di un metodo sviluppato presso il Joint Research Center di Ispra e il metodo IAEA e implementato nel codice MaRARoad.

### 2.1 Il Metodo MARA/MANUAL

Scopo della procedura implementata in MARA/MANUAL [2] è la valutazione del rischio di incidenti rilevanti causati da installazioni fisse (stoccaggio e processo) e trasporto (strada, ferrovia, condotte e nave). Le tipologie di rischio valutate sono analoghe a quelle della metodologia esposta precedentemente:

- ⇒ incendio
- ⇒ esplosione
- ⇒ tossico

Il rischio per i lavoratori professionalmente esposti non viene espressamente considerato.

Nel contesto della procedura il termine rischio è inteso come la combinazione di conseguenze e probabilità. La sola conseguenza considerata è la morte, la cui valutazione è fatta considerando che il 100% di fatalità si verifichi per tutta la popolazione esposta (si esclude qualsiasi fattore di mitigazione); in altri termini, si suppone che la popolazione muore/non muore a secondo che l'esposizione, a cui è soggetta, sia sopra/sotto stabiliti livelli di letalità.

La metodologia, nata per analizzare grandi aree industriali al cui interno sono presenti attività a rischio di incidente rilevante, permette di effettuare una preliminare e generalizzata analisi. L'individuare una classificazione delle diverse attività presenti, ordinate secondo rischi decrescenti, è utile per future analisi dettagliate.

I modelli utilizzati ed inclusi nel metodo hanno valore relativo e non assoluto. Pertanto il programma e le sue procedure, come asserito dagli autori stessi, non forniscono risultati intrinsecamente affidabili per:

- ⇒ analisi di singole attività o risk management
- ⇒ decisioni politiche finali
- ⇒ confronto con *risk criteria*
- ⇒ giudizio su sistemi di sicurezza adottati

Le assunzioni fatte per determinare gli effetti sono:

- ⇒ l'intensità della sorgente è la massima (criterio del massimo incidente possibile)
- ⇒ classe di stabilità atmosferica D e velocità del vento di 5 m/s
- ⇒ 100% di letalità per persone esposte ad un flusso termico maggiore di 7 KW/mq per 30 s o ad una sovrimpresione di 0,3 bar o a concentrazioni maggiori a LC50 per 30 min.

Il metodo stima per ciascuna attività presente sul territorio la probabilità che si verifichi l'incidente, espressa come numero di eventi l'anno, e la stima delle conseguenze attese per l'incidente considerato, in termini di numero di morti ad evento.

Le conseguenze attese vengono individuate in funzione del tipo di sostanza pericolosa, della quantità trattata e della distribuzione della popolazione. La stima delle dimensioni dell'area a rischio, entro la quale si verifica il superamento dei limiti dei criteri di vulnerabilità, viene determinata attraverso tabelle, in funzione delle caratteristiche fisiche della sostanza e delle quantità detenute nell'attività stessa.

---

<sup>3</sup> Il codice MARA (Manual of Risk Assessment) è un codice che permette, in modo informatico, l'applicazione del metodo IAEA ed è stato sviluppato entro un contratto di ricerca fra ISPESL/DIPIA e DCMN e nella versione attuale è stato denominato MARA/MANUAL per differenziarlo da MARA/Road.

La stima delle frequenze di accadimento, invece, viene effettuata distintamente fra attività fisse e trasporto.

L'equazione, simile in entrambi i casi, tiene conto della movimentazione della sostanza, delle operazioni di carico e scarico e della organizzazione della sicurezza.

I risultati ottenuti per ciascuna attività presente sul territorio in analisi, in termini di frequenze e conseguenze, possono essere riportati su un piano Probabilità/Conseguenze. Per ricavare una classificazione (graduatoria in relazione ad una scala di importanza), è necessario individuare un criterio di screening (che consenta di stabilire la rilevanza di un rischio rispetto ad un altro).

Per facilitare l'applicazione della metodologia appena introdotta nel precedente paragrafo, è stato sviluppato, un software originale per IBM PC compatibile, denominato MARA che esegue integralmente la procedura prevista dalla suddetta metodologia. Per ulteriori chiarimenti sul software si rimanda alla bibliografia [1,2].

## 2.2 Modello frequenze per il trasporto di sostanze pericolose

Il modello utilizzato per analizzare la frequenza di incidenti per attività di trasporto è basato su di un modello sviluppato in Danimarca [7].

Il modello per l'analisi della frequenza di incidente dovuti al trasporto su camion in funzione di differenti tipi di strada e tipi di incrocio è stato sviluppato partendo da una analisi statistica degli incidenti nelle principali strade danesi.

Nel modello la probabilità di avere un incidente, per km e per passaggio, in un tratto stradale, caratterizzato dalla stessa tipologia - i.e. larghezza, n° carreggiate, presenza abitazioni, ecc -, è calcolato con la relazione

$$P_{road} = \frac{a \cdot b \cdot c}{365} \cdot N^{p-1} \cdot T^{q-1} \quad (2.1)$$

dove:

$P_{road}$	=	probabilità di avere un incidente coinvolgente un camion per km di strada
$a, b, c, p$ e $q$	=	coefficienti di regressione numerica (in funzione della tipologia di strada)
$N$	=	numero medio di veicoli che passano per la strada al giorno
$T$	=	percentuale di camion che passano per la strada in relazione a $N$

Ipotizzando che la strada abbia una lunghezza  $L$  allora la probabilità  $P_{tot}$  di avere un incidente in cui prenda parte un camion su tutto il tratto stradale è dato da:

$$P_{tot} = N \cdot P_{road} \cdot L \quad (2.2)$$

Se si ipotizza che sia  $x_i$  la percentuale di camion che trasportano la sostanza  $i$ -esima, allora la probabilità  $P_i$  di avere un incidente coinvolgente un camion che trasporta la sostanza pericolosa in esame, su tutto il tratto stradale, è dato da:

$$P_i = x_i \cdot P_{tot} \quad (2.3)$$

Se il camion trasportante la  $i$ -esima sostanza pericolosa percorre  $n$  tratti stradali all'interno del territorio in esame la probabilità  $P_{itot}$  totale di avere un incidente che la coinvolga è data da:

$$P_{itot}^{road} = \sum_{j=1}^n x_i \cdot P_{tot}^j \quad (2.4)$$

I coefficienti di regressione sono stati calcolati dall'autore in funzione di una analisi statistica degli incidenti avvenuti sulle principali strade danesi.

In maniera del tutto analoga il modello permette di determinare la probabilità di incidente in un incrocio per ogni passaggio di camion attraverso la relazione:

$$P_{cross} = \frac{a \cdot b \cdot c}{365} \cdot \frac{(N_1^{p1} N_2^{p2} T^{q-1})}{N_1 + N_2} \quad (2.5)$$

dove:

$P_{cross}$	=	probabilità di avere un incidente coinvolgente un camion sull'incrocio per passaggio
$a, b, c, p1, p2$ e $q$	=	coefficienti di regressione numerica (in funzione della tipologia di strada)
$N1$	=	numero medio di veicoli che passano per la strada principale
$N2$	=	numero medio di veicoli che passano per la strada secondaria

T = percentuale di camion che passano per la strada

In maniera del tutto analoga se  $m$  sono gli incroci che il trasporto della sostanza  $i$ -esima deve attraversare e  $x_{ij}$  è la percentuale che al  $j$ -esimo incrocio passi un camion che trasporti la  $i$ -esima sostanza, allora la probabilità totale e di avere un incidente coinvolgente sostanza in questione è data dalla relazione:

$$P_{itot}^{cross} = \sum_{j=1}^n x_{ij} \cdot P_{cross}^j \quad (2.6)$$

in questo secondo caso i coefficienti di regressione si ottengono apposite tabelle

Infine la probabilità  $P_i$  che la sostanza  $i$ -esima venga coinvolta in un incidente stradale durante il suo trasporto è data dalla relazione:

$$P_i = P_{itot}^{road} + P_{itot}^{cross} \quad (2.7)$$

### 2.3 Il Modello MaRARoad per il trasporto delle sostanze pericolose

Nel paragrafo precedente è stato illustrato un metodo per la valutazione delle frequenze di accadimento di incidenti stradali coinvolgenti sostanze e pericolose. Per poter effettuare un confronto con i metodi presentati nei primi due paragrafi del presente capitolo è necessario associare al valore calcolato anche le conseguenze attese. Per tale motivo è stato sviluppato un programma IBM PC compatibile su piattaforma Microsoft Excel denominato MA.R.A.Road che permette di individuare automaticamente:

- ⇒ la probabilità di accadimento di un incidente stradale coinvolgente sostanze pericolose basandosi sulle equazioni sopra esposte;
- ⇒ le conseguenze attese di un evento incidentale in termine di morti/evento basandosi sull'equazione del modello MANUAL [5].

Il modello MaRARoad considera, nella versione attuale e in analogia con il pacchetto MA.R.A., l'area geografica attraverso un quadrato geografico suddiviso fino ad un massimo di 225 celle. Per ciascuna di queste celle l'utilizzatore deve specificare il numero di abitanti medio, il percorso delle strade e gli incroci presenti. I principali dati di input del codice sono:

- I. numero di abitanti medio per ciascuna cella
- II. numero di attività di trasporto (max 15)
- III. numero di tratti stradali omogenei (max 20)
- IV. numero di incroci (max 20)
- V. tipo di strade
- VI. tipo di incrocio
- VII. rappresentazione di ogni tratto stradale attraverso un spezzata di al massimo 9 punti
- VIII. sostanze trasportate
- IX. numero di mezzi medi che passano su ciascuna strada e incroci
- X. percentuale di camion che passano su ciascuna strada e incroci
- XI. percentuale di camion sul totale che trasportano le varie sostanze pericolose considerate
- XII. lunghezza di ciascun tratto stradale

Il modello ipotizza che se si ha un evento, ne consegue sempre la rottura totale del mezzo e conseguentemente partecipazione di tutta la massa detenuta all'evento rilevante.

L'output di MaRARoad consiste in:

1. distribuzione, lungo le strade percorse, della probabilità e delle relative conseguenze per ciascuna sostanza considerata;
2. diagramma probabilità - conseguenze in cui vengono riportati i punti a maggiore rischio (massima probabilità e massima conseguenza per attività) nell'area.

Per facilitare l'immissione dei dati l'operatore può individuare la sostanza pericolosa attraverso una banca dati contenete un elevato numero di sostanze.

### 3 L'AREA INDUSTRIALE DI PIOMBINO

I metodi speditivi presentati nel capitolo precedente, sono stati applicati all'area industriale di Piombino in provincia di Livorno. L'area di Piombino è stata riconosciuta dal legislatore come una delle aree industriali a maggiore degrado ambientale e per la quale sono state stanziare risorse sia per il risanamento e/o bonifica ambientale, sia per lo sviluppo di analisi di rischio dell'intero territorio allo scopi di individuare gli interventi prioritari di miglioramento.

L'area industriale interessata dall'intervento legislativo copre una parte del territorio del comune di Piombino, come riportato in Figura 1 dove sono riportati il territorio di Piombino con la dislocazione dei centri abitati, della zona industriale e della zona portuale.

Nella Tabella 3.1 sono riportate i principali dati territoriali dell'area in questione.

Popolazione residente al censimento 1991		36.774	
Uso del suolo	Aree urbanizzate e industriali	1887 ha	14,46 %
	Aree agricole produttive	7503 ha	57,51 %
	Aree boscate	3267 ha	25,05 %
	Aree non utilizzabili ai fini agricoli	389 ha	2,98 %
Caratteristiche morfologiche della costa	Costa urbana	5,7 km	16,76 %
	Costa extraurbana	23,3 km	68,53 %
	Attrezzature portuali	5 km	14,71 %

Tabella 3.1 Caratteristiche dell'area piombinese

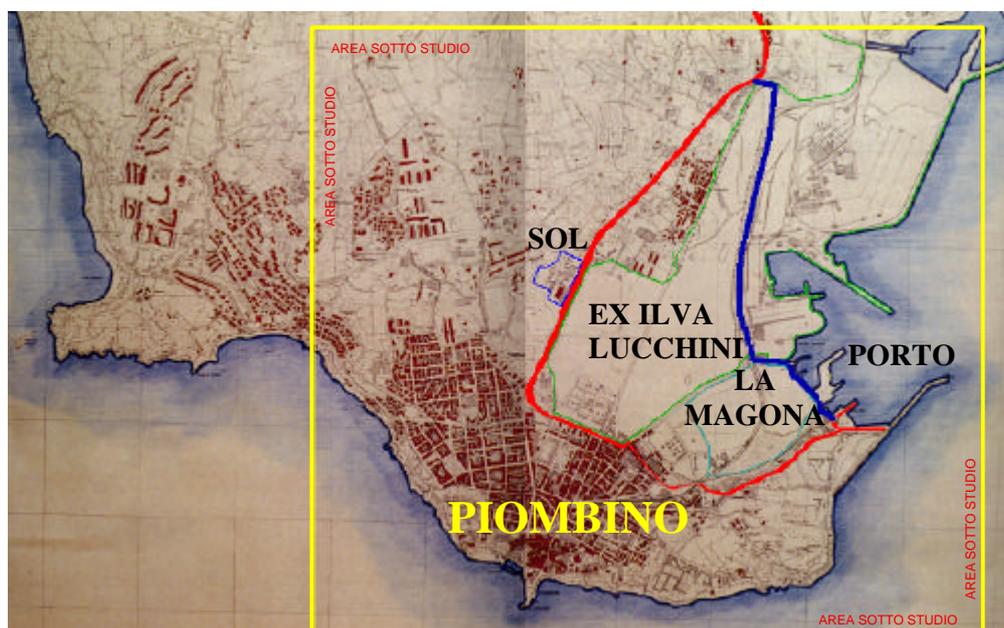


Figura 1 L'area industriale di Piombino

L'area industriale è caratterizzata da tre realtà produttive a rischio rilevante: L'Acciaiera e Ferriera Lucchini (ex ILVA), la SOL e La Magona d'Italia. Inoltre sono presenti attività di trasporto di sostanze pericolose all'interno del territorio. Tale trasporto, verso il porto di Piombino, è relativo alla spedizione verso l'isola d'Elba o verso la Sardegna di detto materiale.

### 3.1 Attività di trasporto

L'area di Piombino, oltre che da un'elevata concentrazione di impianti a rischi rilevanti secondo la legislazione italiana, presenta diverse attività di trasporto su strada e per nave di sostanze pericolose. In particolare si può osservare che il transito sulle strade comunali di mezzi pesanti con sostanze pericolose sono prevalentemente dirette nella direzione del porto dove vengono imbarcate per l'Isola d'Elba o per la Sardegna. Sono del tutto trascurabili i trasporti per il centro città (poche autocisterne al mese per il rifornimento dei distributori di carburante), e nulli i trasporti dalle isole verso il continente.

Il trasporto di sostanze pericolose su strada, quindi, viene ad essere caratterizzato, in termini di quantità e tipo di sostanze pericolose, esclusivamente in relazione al trasporto navale. Una ricerca sulle frequenze e sulle quantità trasportate dalle compagnie di navigazioni operanti al porto di Piombino permette la caratterizzazione delle tipologie di trasporto stradale nel territorio. L'attuale strada di comunicazione tra l'ingresso dell'area in analisi e il porto è indicata in rosso nella Fig. 1.

L'indagine condotta presso la Capitaneria di Porto di Piombino ha evidenziato la presenza di diverse sostanze verso il porto di Piombino. In particolare la Tabella 3.2 riporta le quantità e le sostanze trasportate nell'anno 1995, nonché i principali dati sulla transitabilità del porto.

Attività	Sostanza	Quantità	Frequenza
ENEL	Olio combustibile	2000 ton/nave	settimanale
SARDEGNA	Esplosivi	25000 kg/nave	settimanale
Varie per Elba	GPL Gasolio	5 ton/nave 15 ton/nave	5 navi/giorno mensile

Tabella 3.2 Quantità e sostanze movimentate al porto di Piombino

In conclusione quindi nel tratto di strada che unisce viale della Principessa (località Fiorentina) fino al porto si possono ipotizzare i seguenti transiti di sostanze pericolose

- ⇒ trasporto settimanale di 25000 kg di esplosivi;
- ⇒ trasporto giornaliero (fino a 5 automezzi al giorno) di 5 tonnellate di GPL;
- ⇒ trasporto mensile di 15 tonnellate di gasolio.

Ai fini della valutazione delle frequenze di incidente con il modello presentato nel §2.2, è necessario conoscere anche i flussi veicolari che percorrono il tratto stradale oggetto dello studio.

A tale proposito il Comune di Piombino ha redatto un piano urbano della mobilità [8] in cui è stata condotta un sistematico rilievo dei flussi veicolari sulle principali arterie del comune. In tale analisi si possono trarre tutte le informazioni sulla viabilità dell'arteria principale che conduce dal viale della Principessa al porto. Nella Tabella 3.3 sono riportate tutte le caratteristiche dei vari tratti stradali considerati e dei relativi incroci.

n°	Strada/incrocio	Tipologia <sup>4</sup>	Veicoli/giorno <sup>5</sup>	Veicoli main road/giorno <sup>6</sup>	Veicoli crossing road/giorno <sup>7</sup>	% Camion	Lunghezza (km)
1	Principessa/ incrocio SOL	Strada a doppio senso di corsia senza palazzi	35000	-	-	11	0,45
2	Incrocio SOL/Resistenza	Strada a doppio senso di corsia senza palazzi	31000	-	-	12,5	0,9
3	Resistenza/via Sauro	Strada a corsa semplice con incroci a vista limitata	24300	-	-	12,5	0,6
4	Via Sauro/Porto	Strada a corsa semplice con incroci a vista limitata	15220	-	-	32	1,5
5	Incrocio SOL	Senza semaforo canalizzato	-	35000	4000	11	-
6	Incrocio Resistenza	Con semaforo canalizzato	-	31000	6700	12,5	-
7	Incrocio Sauro	Senza semaforo non canalizzato	-	24300	9100	32	-

Tabella 3.3 Caratteristiche delle strade nell'area piombinese attraversate da trasporti di sostanze pericolose.

#### 4 APPLICAZIONE DEL MODELLO MARA/MANUAL

L'analisi speditiva del rischio nell'aria di Piombino è stato effettuata con il codice MARA (vers2).. Nel presente paragrafo si illustra brevemente i dati di input considerati e i risultati ottenuti.

In Figura 1, riportata in precedenza (§3), mostra l'area sotto analisi. Nella Figura 2 è riportata in forma grafica la distribuzione di popolazione considerata nell'analisi dell'area in esame.

<sup>4</sup> La tipologia qui riportata corrisponde alle definizioni riportate per il modello presentato in §2.3.

<sup>5</sup> Numero di veicoli che passano per la strada al giorno.

<sup>6</sup> Numero di veicoli al giorno passanti per la strada principale dell'incrocio.

<sup>7</sup> Numero di veicoli al giorno passanti per la strada secondaria dell'incrocio.

In particolare la popolazione residente nell'area a rischio è di circa 17000 persone.

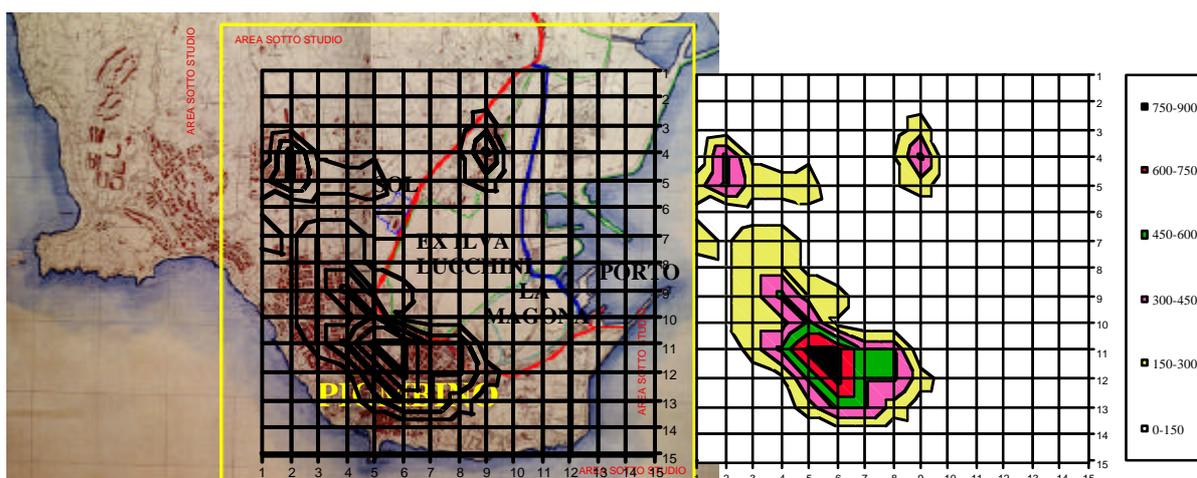


Figura 2 Distribuzione della popolazione nell'area di piombino (densità in abitanti/0.6 ha)

Ai fini della valutazione sono state considerate le 15 attività riportate nella Tabella 4.1. In questa vengono riportati anche l'input utilizzato nell'esecuzione di MARA 2.0.

Attività	Tipologia	Sostanza	N° Banca dati	Quantità presente (tonn)	Carico/scarico	K3	Livello Sicurezza
Gasometro AFO	Stoccaggio	CO	175	12	Continuo	0,566	Altissimo
Gasometro Coke	Stoccaggio	Metano	105	9	Continuo	0,566	Altissimo
Linea Ossigeno	Trasporto	O <sub>2</sub>	-	3	Continuo	0,566	Altissimo
Impianto cokeria	Impianto	Gas Coke	175	1	Continuo	0,566	Altissimo
Linea gas AFO	Trasporto	CO	175	1	Continuo	0,566	Altissimo
Processo SOL	Impianto	O <sub>2</sub>	-	1920	Continuo	0,6	Molto alto
Deposito SOL	Stoccaggio	O <sub>2</sub>	-	1725	Continuo	0,6	Molto alto
Pipeline NH <sub>3</sub>	Trasporto	NH <sub>3</sub>	173	0,015	Continuo	0,512	Altissimo
Deposito NH <sub>3</sub>	Stoccaggio	NH <sub>3</sub>	173	22	Settimanale	0,51	Altissimo
Esplosivi	Trasporto	TNT	114	25	Settimanale	-	Medio
GPL	Trasporto	GPL	111	5	5/giorno	-	Medio
Gasolio	Trasporto	Gasoline	9	15	3/settimana	-	Medio
Bettoline ENEL	Trasporto	Olio comb.	28	2000	Giornaliero	-	Alto
Deposito vernici	Stoccaggio	Vernici	29	20	Giornaliero	0,98	Limitato
Deposito H <sub>2</sub> SOL	Stoccaggio	H <sub>2</sub>	104	0,63	Continuo	0,6	Molto alto

Tabella 4.1 Input utilizzato per il codice MARA/MANUAL

Alcune sostanze sono state implementate considerando la banca dati presente in MARA 2.0 [2], mentre altre sono state analizzate implementando le caratteristiche fisiche della sostanza stessa. Particolare attenzione è stata data alla sostanza Ossigeno, per la quale in realtà non esiste nel Manuale IAEA la dizione "sostanze comburenti". Per questa sostanza si è allora, operato inserendola nella categoria delle sostanze infiammabili.

Come si nota dalla Tabella 5.2, è stato introdotto l'indice compensato K3 [6] come misura del livello di sicurezza presente in azienda. Tale valore può essere dedotto dai rapporti di sicurezza per ciascuna attività considerata, infatti nei rapporti di sicurezza il valore di questo indice è invariato all'interno di uno stabilimento. Per la classificazione del livello di sicurezza considerato a seconda del valore di K3 si è applicato il criterio esposto nella Tabella 4.2 [2].

Tipologia attività	Livello di sicurezza	Campo K3
Impianti di processo e stoccaggi	Altissimo	< 0,61
	Molo alto	0,61 - 0,7
	Medio	0,7 - 0,79
	Scarso	0,79 - 0,88
	Limitato	> 0,88
Trasporto	Alto	< 0,61
	Medio	0,61 - 0,88
	Basso	> 0,88

Tabella 4.2 Classificazione livelli di sicurezza

I risultati ottenuti dal codice MARA 2.0 – sia della installazioni fisse che delle attività di trasporto - sono riportati nelle sottostanti Tabelle 4.3 e 4.4 in termini rispettivamente di probabilità/conseguenze e dimensioni dell'area a rischio (raggi di influenza minima e massima).

Per quanto riguarda il deposito vernici dello stabilimento della La Magona D'Italia il codice ha riportato che non ci sono effetti rilevanti.

Nella Figura 3 sono riportati i risultati per ogni attività in termini di probabilità (frequenza attesa) e conseguenze.

Attività	Conseguenze	Probabilità
Linea NH <sub>3</sub> (trasporto)	381	1,0E-06
Deposito NH <sub>3</sub>	289	1,0E-08
Gasometro Coke	273	3,0E-06
Gasometro AFO	271	3,0E-06
Esplosivi (trasporto)	53	1,0E-05
GPL (trasporto)	11	3,0E-05
Gasolio (trasporto)	2	3,0E-06
Linea AFO (trasporto)	2	1,0E-05
Impianto Coke	2	3,0E-06
Linea O <sub>2</sub> (trasporto)	1	1,0E-05
Impianto SOL	0	3,0E-05
Deposito SOL	0	1,0E-05
Deposito H <sub>2</sub>	0	1,0E-07
Deposito vernici	0	3,0E-06
Bettoline (trasporto)	0	3,0E-06

Tabella 4.3 - Risultati Mara in termini Probabilità/Conseguenze

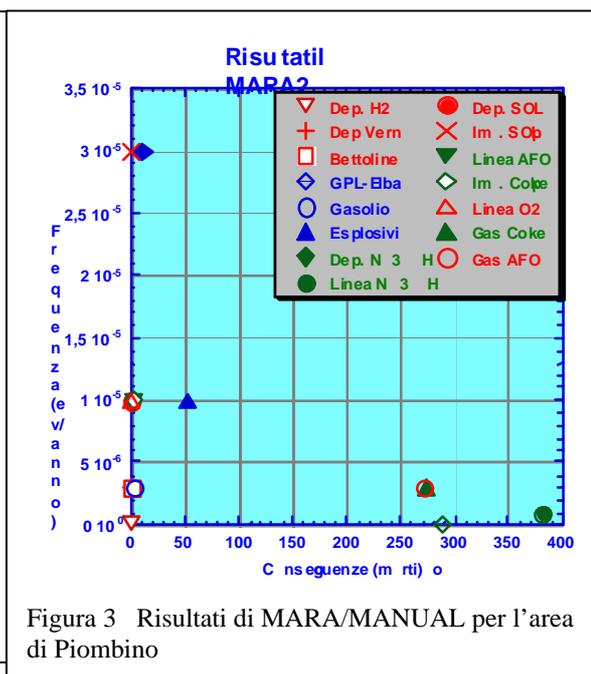


Figura 3 Risultati di MARA/MANUAL per l'area di Piombino

Attività	Gasometro AFO	Gasometro Coke	Linea Ossigeno	Impianto cokeria	Linea gas AFO	Processo SOL	Deposito O <sub>2</sub> SOL
Raggio minimo	50	50	0	25	25	0	25
Raggio massimo	100	100	25	50	50	25	50

Attività	Pipeline Ammoniacca	Deposito Ammoniacca	Esplosivi Sardegna	GPL Elba	Gasolio Elba	Bettoline ENEL	Deposito H <sub>2</sub> SOL
Raggio minimo	500	500	50	50	0	100	25
Raggio massimo	1000	1000	100	100	25	200	50

Tabella 4.4 - Dimensioni aree a rischio

## 5 APPLICAZIONE DEL MODELLO MARARoad

L'analisi delle attività di trasporto di sostanze pericolose è stata anche eseguita utilizzando il codice MA.R.A.Road.

La distribuzione della popolazione considerata è del tutto analoga a quella proposta nel capitolo precedente per quanto riguarda l'applicazione di MA.R.A. Per quanto riguarda le attività sono state considerate esclusivamente quelle caratterizzate da trasporto su strada e in particolare:

1. trasporto di esplosivi per la Sardegna
2. trasporto GPL per l'Elba
3. trasporto di gasolio per l'Elba

Tutte queste sostanze percorrono all'interno dell'area in analisi il medesimo tratto ed in una unica direzione. In particolare i tratti considerati nella analisi sono:

1. viale Unità di Italia
2. via della Resistenza
3. da via Pisa a via Regina Margherita (porto)

Nella Tabella 5.1 sono riportate le caratteristiche di ciascun tratto.

n°	Tratto	Tipologia	Numero di veicoli medio per giorno	% camion	Lunghezza (m)
1	Viale Unità di Italia	Strada senza edifici, 4 corsie non autostrada	30000	11	1350
2	Via della Resistenza	Strada senza edifici a 2 corsie 6 - 6,9 m	24000	12,5	600
3	da via Pisa a via Regina Margherita	Strada con edifici a 2 corsie < 6m	8200	32	1500

Tabella 5.1 Caratteristiche dei tratti stradali considerati nell'applicazione di MaRARoad

La direzione di percorrenza da via d'Unità d'Italia al porto non è una variabile dal modello.

Sono poi stati considerati in particolare tre incroci:

1. incrocio su Via Unità d'Italia nei pressi dello stabilimento SOL
2. incrocio fra le strade Via Unità d'Italia, Via Repubblica e via Resistenza
3. incrocio fra Via Resistenza e Via Pisa.

Nella Tabella 5.2 sono riportate le caratteristiche considerate per ciascun incrocio.

n°	Incrocio	Ammontare di traffico nella main road (numero di veicoli medio per giorno)	Ammontare di traffico nella crossing road (numero di veicoli medio per giorno)	Percentuale di camion sul tratto
1	SOL	23000	4000	11
2	Resistenza/U.Italia/Repubblica	19000	4000	12
3	Resistenza/Pisa	14000	9000	32

n°	Nominativo	Tipologia
1	SOL	No semaforo, non canalizzato, area urbana
2	Resistenza/U.Italia/Repubblica	No semaforo, canalizzato, area urbana
3	Resistenza/Pisa	No semaforo, non canalizzato, area urbana

Tabella 5.2 Caratteristiche degli incroci considerati nell'applicazione di MaRARoad

Per quanto riguarda la caratterizzazione delle attività trasportate si sono considerati dati riportati nella Tabella 5.3.

n°	Sostanza	Lunghezza totale percorsa (m)	N° di tratti stradali percorsi	traffico (truk/days)
1	Esplosivi	3450	3	3,00E+01
2	GPL	3450	3	1,00E+01
3	Gasolio	3450	3	4,00E+00

Tabella 5.3 Caratteristiche delle attività di trasporto considerate

Con i dati considerati il modello ha effettuato il calcolo della frequenza di incidente complessiva per ciascun tratto, la frequenza di incidente complessiva per ciascun tratto ed incrocio coinvolgenti mezzi pesanti. Nelle seguenti Tabelle 5.4 e 5.5 sono riportati i risultati ottenuti.

n°	Nominativo	Frequenza di incidente stradale annua	Frequenza di incidente annua coinvolgente camion
1	Viale Unità di Italia	7,02E+00	7,72E-01
2	Via della Resistenza	2,10E+00	2,62E-01
3	da via Pisa a via Regina Margherita	2,95E+00	9,43E-02

Tabella 5.4 Frequenza complessiva e coinvolgente camion sui tratti stradali

n°	Nominativo	Tipologia	Frequenza di incidente annua coinvolgente camion
1	SOL	No semaforo, non canalizzato, area urbana	2,04E-01
2	Resistenza/U.Italia/Repubblica	No semaforo, canalizzato, area urbana	6,17E-01
3	Resistenza/Pisa	No semaforo, non canalizzato, area urbana	3,97E-01

Tabella 5.5 Frequenza complessiva e coinvolgente camion negli incroci

La prima delle due precedenti tabelle quantifica il numero di incidenti che si possono verificare in un anno nei tratti stradali considerati. Questo numero per tutto il percorso in analisi risulta essere circa 1. Tale valore è in linea con la casistica realmente riscontrata [8] in questi tratti stradali negli anni passati.

Considerando le massime conseguenze e le massime probabilità si ottiene la graduatoria riportata in Tabella 5.6.

Sostanza	Max conseguenze (morti/evento)	Max frequenze (eventi/anno)
Esplosivi	63	6,38E-02
GPL	33	3,37E-02
Gasolio	8	1,12E-02

Tabella 5.6 Classificazione delle attività di trasporto nell'area piombinese

## 6 CONFRONTO MARA/MARARoad

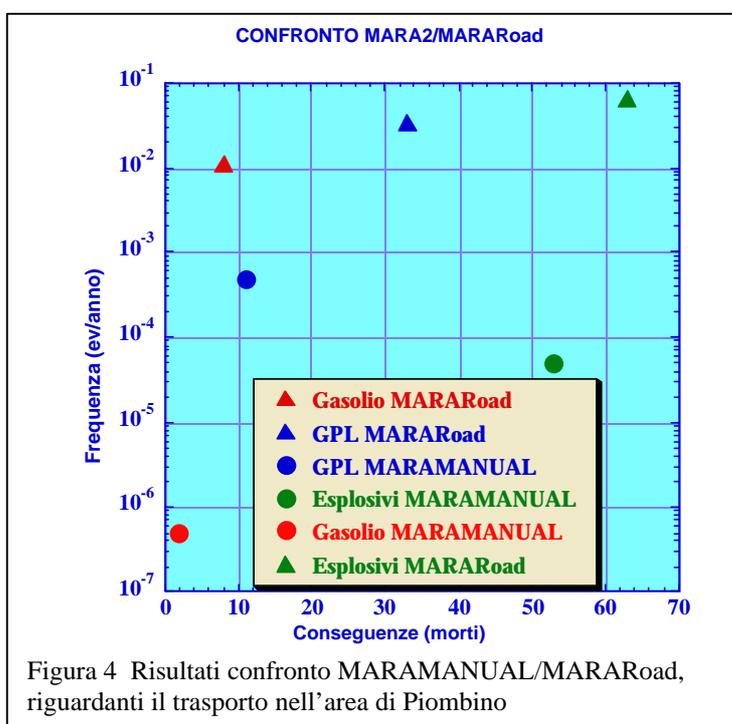


Figura 4 Risultati confronto MARAMANUAL/MARARoad, riguardanti il trasporto nell'area di Piombino

La Figura 4 illustra il confronto tra i risultati, relativi al solo trasporto, tra il MARA e il MaRARoad. (ricordiamo che il MaRA utilizza i modelli originali del Manual IAEA, mentre MaRARoad utilizza la nuova modellistica riguardante la stima delle probabilità di incidenti prima descritta; tutti e due utilizzano i modelli per le conseguenze desunti dal Manual IAEA).

La prima osservazione riguarda la notevole diversità nella stima delle frequenze fra i due codici. Tale effetto è dovuto al fatto che mentre MARA stima le probabilità di incidenti che danno luogo a fenomeni rilevanti,

MaRARoad stima le probabilità di incidente di un trasporto di materiale pericoloso. Ora non sempre l'incidente che coinvolge un trasporto pericoloso si evolve nella maniera più pessimistica, come ipotizza MaRARoad, anzi si dovrebbe moltiplicare la probabilità stimata da MaRARoad per una probabilità che tenga conto del fatto che dato un incidente questo evolve nelle condizioni peggiori. Tale fattore diminuirebbe di ordini di grandezza il dato MaRARoad e lo renderebbe confrontabile, anche in assoluto, con i risultati MARA.

Dato lo scopo di questo lavoro, ottenere una classificazione relativa e non assoluta, tale correzione non è stata apportata alla versione presente di MaRARoad; ulteriori studi potrebbero colmare tale lacuna.

Per quanto riguarda le conseguenze esse dovrebbero essere le stesse, avendo usato gli stessi modelli; la differenza che si ritrova, per quanto minima, è dovuta alle diverse routine e precisione di calcolo presenti in MARA (scritto in FORTRAN) e in MaRARoad (che sfrutta la piattaforma EXCEL).

Il confronto relativo tra i due codici mostra comunque la differenza di impostazione fra i due modelli; MARA riconosce a priori una diversità storica fra gli incidenti che coinvolgono le varie sostanze trasportate - da cui il maggior incidenza del GPL evidenziata nella figura -, al contrario MaRARoad non riconosce questa diversità, è solo l'entità di traffico che prevale nel determinare una maggior probabilità di incidente.

## 7 - ANALISI SU UNA IPOTESI DI UNA NUOVA VIABILITÀ

Una ulteriore analisi, effettuata sull'area industriale di Piombino, è stata quella di valutare l'effetto che l'introduzione di nuova viabilità stradale produce in termini di rischio d'area.

Dalle analisi precedenti, infatti, è emerso che il trasporto di sostanze pericolose avviene, allo stato attuale, in una unica direttiva, quella verso il porto. Si è osservato, anche, che nella stessa traiettoria, ma con direzione opposta, non ci sono trasporti di sostanze pericolose.

La pericolosità del trasporto su strada, inoltre, è essenzialmente dovuto non tanto alle quantità movimentate, ma alla unità di collegamento verso il porto. Tale fatto obbliga gli autoarticolati con sostanze pericolose, a lambire il centro cittadino con pericolosa iterazione fra attività di trasporto e la popolazione residente.

Per questo motivo è stata ipotizzata una prima strategia di intervento - per limitare i danni attesi da un incidente stradale coinvolgente sostanze pericolose - pianificando la presenza di una seconda via di comunicazione verso il porto che eviti di passare dal centro abitato.

Per verificare la applicabilità dei modelli speditivi per la pianificazione territoriale, si è allora supposto la possibilità di trasformare parzialmente alcune delle linee ferroviarie Campiglia/Piombino in un strada ad senso unico di percorrenza nella direzione del porto, percorribile esclusivamente dagli autoarticolati che trasportano sostanze pericolose.

Nella Figura 1 (§3) sono riportate la strada attualmente in uso (in rosso) e la strada in ipotesi (in blu).

Per l'analisi di confronto fra la situazione attuale e la situazione ipotetica, si è utilizzato il codice MaRARoad; che era stato utilizzato per l'analisi della situazione attuale.

Per la nuova viabilità proposta si è effettuato una nuova simulazione nella quale la distribuzione della popolazione nell'area è uguale a quella già illustrata. Per quanto riguarda le attività sono state considerate le stesse attualmente presenti, cioè:

1. trasporto di esplosivi per la Sardegna
2. trasporto GPL per l'Elba
3. trasporto di gasolio per l'Elba

Tutte queste sostanze percorrono nella nuova viabilità proposta il medesimo tratto ed in una unica direzione. In particolare i tratti considerati nella analisi sono:

1. viale Unità di Italia (parte iniziale)
2. Nuova viabilità fino al porto

Nella Tabella 7.1 sono riportate le caratteristiche di ciascun tratto.

n°	Tratto	Tipologia	Numero di veicoli medio per giorno	% camion	Lunghezza (m)
1	Viale Unità di Italia (primo tratto)	Strada senza edifici, 4 corsie non autostrada	30000	11	250
2	Nuova viabilità	Strada senza edifici a 2 corsie 6 - 6,9 m	44	100	2850

Tabella 7.1 Caratteristiche dei tratti stradali considerati nell'applicazione di MaRARoad

Sono poi stati considerati in particolare un unico incrocio rappresentato dalla intersezione fra la nuova viabilità proposta e Viale Unità d'Italia:

Nella Tabella 7.2 sono riportate le caratteristiche considerate dell'incrocio in questione.

n°	Incrocio	Ammontare di traffico nella main road (numero di veicoli medio per giorno)	Ammontare di traffico nella crossing road (numero di veicoli medio per giorno)	Percentuale di camion sul tratto
1	U D'Italia/N. V. P. <sup>8</sup>	30000	44	11
n°	Nominativo	Tipologia		
1	U D'Italia/N. V. P.	No semaforo, canalizzato, area urbana		

Tabella 7.2 Caratteristiche degli incroci considerati nell'applicazione di MaRARoad

Per quanto riguarda la caratterizzazione delle attività trasportate si sono considerati i dati riportati nella Tabella 7.3:

n°	Sostanza	Lunghezza totale percorsa (m)	N° di tratti stradali percorsi	traffico (truk/days)
1	Esplosivi	3100	2	3,00E+01
2	GPL	3100	2	1,00E+01
3	Gasolio	3100	2	4,00E+00

Tabella 7.3 Caratteristiche delle attività di trasporto considerate

Con i dati considerati il modello ha effettuato il calcolo della frequenza di incidente complessiva per ciascun tratto ed incrocio coinvolgenti mezzi pesanti. Nelle seguenti Tabelle 7.4 e 7.5 sono riportati i risultati ottenuti.

n°	Nominativo	Frequenza di incidente stradale annua	Frequenza di incidente annua coinvolgente camion
1	Viale Unità di Italia	1,30E+00	1,4E-01
2	Nuova Viabilità	4,28E+00	4,2E-02

Tabella 7.4 Frequenza complessiva e coinvolgente camion sui tratti stradali

n°	Nominativo	Tipologia	Frequenza di incidente annua coinvolgente camion
1	U D'Italia/N. V.	No semaforo, canalizzato, area urbana	4,1E-02

Tabella 7.5 Frequenza complessiva e coinvolgente camion negli incroci

In particolare considerando le massime conseguenze e le massime probabilità si ottiene la graduatoria riportata in Tabella 7.6.

Sostanza	Max conseguenze (morti/evento)	Max frequenze (eventi/anno)
Esplosivi	9	2,92E-02
GPL	5	2,92E-02
Gasolio	1	9,73E-03

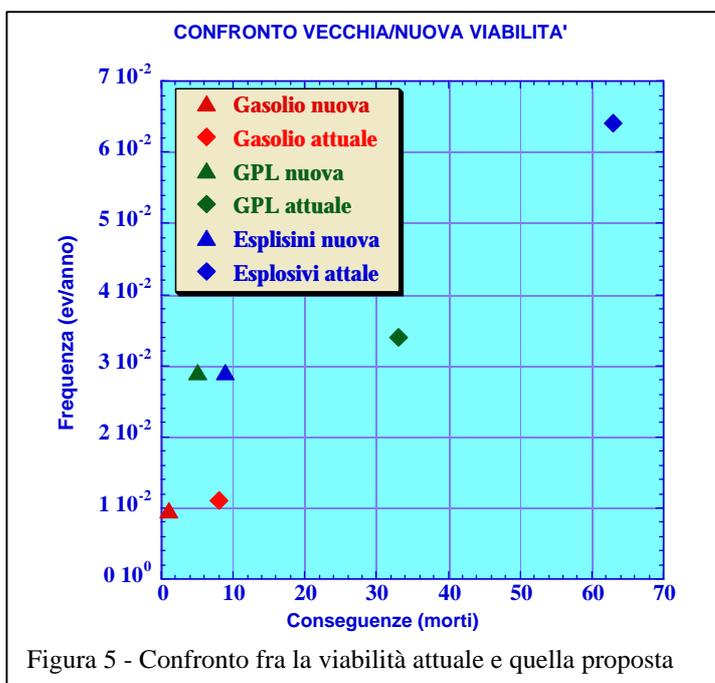
Tabella 7.6 Classificazione delle attività di trasporto nell'area piombinese

Si riporta di seguito la Tabella 7.7 (uguale alla Tabella 5.6) per confronto con la viabilità attualmente in uso:

<sup>8</sup> N. V. P. = nuova viabilità proposta

Sostanza	Max conseguenze (morti/evento)	Max frequenze (eventi/anno)
Esplosivi	63	6,38E-02
GPL	33	3,37E-02
Gasolio	8	1,12E-02

Tabella 7.7 - Classificazione delle attività di trasporto nell'area piombinese



Infine in Figura 5 è riportato il confronto, in forma grafica, fra i risultati dell'applicazione di MaRARoad sia alla nuova viabilità proposta che a quella attuale.

Come si può notare la nuova viabilità riduce sistematicamente il numero delle conseguenze attese, mentre la riduzione delle frequenze risulta essere modesta. Ciò è dovuto al fatto che per la nuova viabilità la presenza di un numero complessivo minore di passaggi al giorno non riesce - per il modello applicato - a contrastare l'alta percentuale dei camion circolanti sul nuovo tratto stradale (100%). Ciò si traduce nel fatto che l'effetto del minore numero di incidenti (dovuto al minore numero di veicoli) non prevale sulla maggiore percentuale di camion in transito.

## CONCLUSIONI

Alla fine del presente lavoro si possono trarre alcune conclusioni sia sui modelli utilizzati sia sulla specifica applicazione fatta per lo studio speditivo del rischio d'area in aree industriali complesse.

Il modello MaRA/MANUAL ha dato informazioni importanti per quanto riguarda essenzialmente le installazioni fisse.

Il modello implementato in MaRARoad, per analizzare speditivamente le attività di trasporto insistenti su un'area industriale - modello che ricordiamo deriva da un originale modello Danese - , ha dato risultati soddisfacenti.

Con i modelli di calcolo sviluppati si è analizzata l'area industriale di Piombino.

Si tratta del primo studio organico di rischio in tale area. Esso pur riflettendo la limitatezza delle risorse impiegate può essere considerato significativo rispetto alla complessità del problema sotto analisi.

In particolare l'analisi fatta con i programmi MaRA2 e MaRARoad ha permesso di ottenere in breve tempo, una volta ottenuti o estratti i dati necessari, una misura quantitativa delle frequenze di accadimento e relative conseguenze di incidenti rilevanti che potrebbero accadere nell'area industriale di Piombino sia in attività fisse sia nelle attività di trasporto. Tali risultati sono in linea con la valutazione qualitativa effettuata da alcuni Enti di controllo. In questa sede non si è composto il rischio mediante curve tipo FN o isorischio, questo in quanto tale composizione esula dal campo di applicazione di una analisi speditiva. Studi del genere saranno necessari laddove vengano intrapresi studi più dettagliati di tale area industriale.

MaRARoad è stato anche utilizzato come strumento di pianificazione territoriale; infatti si è studiata la variazione del rischio d'area nel caso si realizzino vie alternative al trasporto di materiale pericoloso entro l'area industriale. I primi risultati dimostrano quantitativamente (anche se in relativo) una discreta diminuzione delle conseguenze e una minore riduzione delle frequenze nel caso di realizzazione di una via alternativa che scorra parallelamente alla ferrovia in direzione del porto di Piombino. Tali risultati andranno comunque confermati da studi particolari che tengano anche conto di eventuali effetti domino oltre che di limitazione dovute alla pratica attuazione.

Il modello utilizzato per quest'ultimo studi soffre della limitazione dovuta all'utilizzo di coefficienti di regressione estratti da dati su incidenti Danesi. Un futuro lavoro di sviluppo di tale modello, che ha mostrato risultati soddisfacenti, dovrebbe prevedere una personalizzazione tramite statistiche di dati di incidenti stradali nel territorio Italiano, onde permettere un più corretto impiego anche in situazioni territoriali quali: le autostrade, strade di grande traffico industriale, etc. Tale mezzo sarebbe di validissimo aiuto nel lungo, multidisciplinare ed importante processo insito nella pianificazione territoriale.

#### Bibliografia

- [1] Carcassi M., Valutazione del Rischio in Aree suscettibili di Nuovi Insediamenti Industriali, DCMN RL 710(96)
- [2] Carcassi M., Valutazione del Rischio in Aree ad Elevata Concentrazione Industriale, DCMN RL 671(95).
- [3] Egidi D., Boattini A., ARIPAR: Analisi e Controllo dei rischi industriali e Portuali dell'Area di Ravenna, Sintesi della relazione sui risultati del progetto, Regione Emilia Romagna e Comune di Ravenna, 1993.
- [4] Haastrup P. and Brockhoff L; Severity of Accidents with Hazardous Materials. A Comparison between Transportation and Fixed Installations. *J. Loss Prev. Process Ind.* 3:395, October 1990.
- [5] IAEA , *Manual for the Classification and Prioritization of Risk due to Major Accidents in Process and Related Industries* , IAEA-TECDOC-727 (December 1993
- [6] Graziani R., L.Lepore e U.Poli, Metodo per l'Analisi e la Valutazione delle Conseguenze di Eventi Incidentali Connessi a Determinate Attività Industriali, Quaderno di Informazione ISPESL, 1° Supp. 1993.
- [7] Jørgensen N.O., Road Traffic Accident frequency Model, European Conference on Road Safety in Europe, Berlin September 30 - October 2, 1992, Berlin.
- [8] Summer M. e Della Lena L., Piano Urbano della Mobilità, Comune di Piombino, anno 1993.