

VULNERABILITÀ' DELLE AREE PORTUALI IN RELAZIONE AL TRASPORTO DI MERCI PERICOLOSE

Prof. Ing. S. Zanelli, Università di Pisa, Via Diotisalvi, 2, 56126 Pisa

Ing. L. Foschi, Istituto per la Sicurezza e le Tecnologie per l'Ambiente, L.no Buoizzi 20, 56124 Pisa

Ing. G. Francalanza, Istituto per la Sicurezza e le Tecnologie per l'Ambiente, L.no Buoizzi 20, 56124 Pisa

1. SOMMARIO

Lo studio ha esaminato due tipologie di porti con differente dislocazione degli attracchi: porto con banchine e attracchi in terra ferma; rada con attracchi su pontile distanziati dalla terra ferma.

Sono stati considerati scenari incidentali associati a sostanze infiammabili e esplosive, valutando le conseguenze determinate da pozze o nubi incendiate ed esplosioni.

Le cause iniziatrici (collisione, abbordi, arenamenti, ecc.) di tali scenari sono state assunte tenendo conto della natura delle aree portuali (profondità, dislocazione, ampiezza delle banchine), delle caratteristiche delle navi, delle regolamentazioni locali vigenti (velocità e manovre consentite).

L'analisi ha evidenziato situazioni in cui lo stesso tipo di incidente può provocare danni maggiori per la vicinanza di altri impianti e infrastrutture, insediamenti produttivi o abitativi.

I risultati mostrano la validità di disposizioni locali che, oltre a conformarsi a norme nazionali e internazionali, sono formulate in funzione della natura degli approdi, della vulnerabilità dei siti circostanti, in altre parole del rischio sociale.

2. INTRODUZIONE

L'incremento del trasporto di merci via mare ha determinato una crescente attenzione verso il rischio connesso con il transito e la movimentazione di sostanze pericolose nei porti.

Le Direttive, le raccomandazioni e i pareri emanati dalla Comunità Economica Europea in materia di sicurezza marittima hanno promosso l'acquisizione degli standard tecnici richiamati dalle norme e dalle convenzioni internazionali (Convenzione SOLAS, Convenzione MARPOL, Codice della IMO).

Il governo italiano ha recepito e messo in atto gli orientamenti comunitari emanando il *Regolamento di attuazione della direttiva 93/75/CEE* che prescrive le condizioni minime necessarie per le navi che transitano da porti marittimi della Comunità e che trasportano merci pericolose o inquinanti.

Nelle valutazioni del rischio associato al trasporto marittimo di merci pericolose, oltre a tener conto delle proprietà chimico-fisiche delle sostanze, delle modalità di trasporto, dell'affidabilità delle navi, bisogna considerare le caratteristiche del sito che ospita l'area portuale, sia in relazione alla configurazione degli attracchi, sia in relazione alle distanze rispetto a insediamenti produttivi e abitativi.

Per evidenziare l'influenza che la natura del sito portuale ha sulla sicurezza della movimentazione di merci pericolose lo studio ha considerato due tipologie di porti con differente disposizione degli attracchi:

- a) porto con banchine e attracchi in terra ferma; la situazione assunta come riferimento è quella di un "porto canale" del tipo del Canale Industriale di Livorno
- b) porto con attracchi in corrispondenza di pontile e distanziati dalla terra ferma; la situazione assunta come riferimento è un "porto in rada" quale quello di Gela.

Negli scenari incidentali ipotizzati si è assunto il coinvolgimento del GPL che è rappresentativo di sostanze infiammabili e sostanze soggette a rapide vaporizzazioni ed espansioni.

3. CARATTERISTICHE DEI DUE SITI PORTUALI

Il porto canale considerato è rappresentato in Figura 1.

Il canale penetra nella terraferma per circa 3 km ed ha un'ampiezza media di circa 100 m.

Gli approdi distribuiti lungo tutto il canale sono prossimi ad insediamenti industriali.

La regolamentazione del traffico all'interno del canale impone:

- velocità non superiori ai 3 nodi
- ingresso di poppa al traino dei rimorchiatori

Il porto in rada preso a riferimento è rappresentato in Figura 2; ha un basso fondale di tipo sabbioso e si trova all'interno di un complesso petrolchimico.

Gli approdi sono a grande distanza dalla terraferma. È presente un pontile principale che si estende per una lunghezza di 2800 m, dal quale si diparte, a 1100 m dalla costa, un pontileto interessato alla movimentazione di *chemicals*. Il GPL è movimentato presso la diga foranea a 3000 m dalla costa.

4. CAUSE INIZIATRICI E SCENARI INCIDENTALI

4.1. Cause iniziatrici

Per l'assunzione delle cause iniziatrici sono state utilizzati gli orientamenti forniti dalla HSC, *Health and Safety Committee*. Le cause che tale organizzazione indica sono le seguenti:

- Collisione tra navi in movimento;
- Abbordo contro nave ormeggiata;
- Impatto con struttura fissa;
- Arenamento;
- Incendio/esplosione a bordo;
- Spillamento;
- Affondamento per cause meteomarine o perdite di prodotto;
- Cedimento strutturale per sollecitazioni anomale;
- Cedimento spontaneo per difetto costruttivo;
- Avarie e malfunzionamento degli impianti di bordo;
- Effetto domino.

Per il "porto canale", tenendo conto della configurazione, dei regolamenti vigenti, delle manovre possibili, si è assunta come causa iniziatrice la collisione, che è stata considerata rappresentativa anche dell'urto con squarcio contro nave ormeggiata. L'impatto e l'arenamento, date le ridotte velocità imposte dai regolamenti locali, non appaiono in grado di provocare squarci negli scafi e nei sistemi di contenimento tali da comportare rilascio di prodotto.

Nel caso del porto in rada, anche alla luce di dati storici disponibili, le cause considerate sono state la collisione, l'urto con rottura delle tubazioni di carico/scarico, l'impatto contro strutture fisse, l'arenamento causato da condizioni meteomarine particolarmente gravose.

Per la tipologia di fondale del porto in rada, il rilascio di prodotto successivo all'arenamento è stato attribuito allo spostamento dei serbatoi determinato dall'inclinazione della nave e non alla rottura dello scafo.

La collisione e l'arenamento sono risultate che danno luogo ai rilasci delle maggiori quantità di prodotto.

4.2. Sequenze incidentali

In caso di massiccia fuoriuscita di GPL, una parte di prodotto andrà incontro ad evaporazione, la restante parte formerà una pozza galleggiante sulla superficie del mare. Le sequenze incidentali che si possono verificare dipendono dalla velocità di innesco del GPL.

L'innesco immediato provoca l'incendio della pozza galleggiante sulla superficie dell'acqua o, in altri termini, il *pool fire*. La probabilità che si verifichi innesco immediato è alta a causa delle scintille che possono essere provocate dal contatto tra gli scafi delle navi coinvolte.

In assenza di innesco immediato il GPL scambia energia termica con l'acqua sottostante e con l'atmosfera ed è interessato da evaporazione che limita lo spandimento della pozza; l'allargamento della pozza si arresta quando la portata evaporante della pozza eguaglia la portata di rilascio attraverso lo squarcio prodotto dalla collisione.

I vapori che passano in atmosfera si miscelano con essa e, nel caso che trovino una fonte di innesco danno origine ad un violento *flash fire*.

Nel caso che la quantità di vapori ed aria in miscela infiammabile siano rilevanti, la presenza di una fonte di innesco può provocare l'esplosione della nube formata, provocando un *UVCE*, *Unconfined Vapour Cloud Explosion*, tale scenario incidentale è favorito da condizioni di confinamento.

Quando il GPL è trasportato in navi gasiere di vecchia concezione, pressurizzate non refrigerate, non si può escludere la possibilità di *BLEVE*, *Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*.

Il *BLEVE* può manifestarsi in seguito al surriscaldamento del serbatoio del GPL causato dalla presenza di fiamme circostanti. Il surriscaldamento provoca il surriscaldamento e l'espansione violenta del gas contenuto fino al collasso del serbatoio. L'evoluzione del *BLEVE* conduce a:

- generazione di onde di pressione e proiezione dei frammenti del serbatoio;
- formazione di una nube a geometria sferica di vapori rilasciati repentinamente all'atmosfera a seguito del collasso del serbatoio; la superficie esterna della nube si incendia, *fire ball*, mentre l'intera massa di vapori si solleva per effetto della riduzione di densità provocata dal riscaldamento.

Le sequenze incidentali ipotizzate conducono a conseguenze che possono avere entità diverse a seconda delle quantità coinvolte, della localizzazione dell'incidente, delle circostanze che si presentano al momento dell'incidente stesso.

5. CALCOLO DELLE CONSEGUENZE

Gli eventi incidentali ipotizzati, pur tenendo conto di una sequenza di fenomeni di natura diversa, generano effetti fisici sulle persone e sulle strutture derivanti dalla radiazione termica causata da incendi e dall'onda di pressione provocata dall'esplosione di nube non confinata.

In generale la valutazione della esposizione delle persone e delle strutture è eseguita confrontando quella esposizione con "valori di soglia" che sono collegati alle conseguenze che si possono riscontrare sui soggetti esposti. La gravità di tali conseguenze aumenta avvicinandosi al punto ove si è verificato l'evento incidentale.

In tal modo l'indicazione sulle carte topografiche dei luoghi dove l'esposizione raggiunge uno dei valori di soglia prescelto consente di definire le zone territoriali interessate e le conseguenti azioni da intraprendere.

Adottando il metodo dei valori di soglia, sulla base delle indicazioni del Decreto del Ministero dell'Ambiente del 15 maggio 1996, si identificano quattro zone di riferimento:

- ZONA 1:** dove si hanno effetti sulle persone che possono comportare lesioni reversibili;
ZONA 2: dove si hanno effetti sulle persone che possono comportare lesioni gravi irreversibili;
ZONA 3: dove si possono avere effetti di inizio letalità;
ZONA 4: dove si possono avere effetti di elevata letalità e danni gravi alle strutture;

I valori di soglia di riferimento per la valutazione degli effetti di incidenti sono riportati nella seguente tabella ricavata dal Decreto Ministeriale sopracitato:

<i>Scenario</i>	SOGLIE DI DANNO			
	<i>Lesioni reversibili</i>	<i>Lesioni irreversibili</i>	<i>Inizio letalità</i>	<i>Elevata letalità e danni gravi alle strutture</i>
Incendio	3 kW/m ²	5 kW/m ²	7 kW/m ²	12,5 kW/m ²
BLEVE/Fireball	125 kJ/m ²	200 kJ/m ²	350 kJ/m ²	raggio fireball
Flash fire			½ del limite inferiore di infiammabilità	Limite inferiore infiammabilità
UVCE	0,03 bar	0,07 bar	0,14 bar	0,3 bar

La valutazione delle conseguenze sono riportate nel seguito dapprima in forma tabellare e successivamente, per ciascun incidente, le zone di danno sono riportate sulla carta topografica dell'area portuale di interesse.

Il calcolo delle conseguenze è stato effettuato con i modelli dell'EPA e del TNO.

5.1. Valutazione delle conseguenze nel porto canale

Ai fini del calcolo le assunzioni adottate sono state le seguenti: lo squarcio in seguito a collisione è stato ipotizzato avere una sezione pari a 1 m². I risultati che caratterizzano il rilascio sono stati i seguenti:

- tempo di rilascio pari a 180 secondi;
- portata volumetrica media 1.800 kg/sec;
- quantità fuoriuscita pari a 324.000 kg.

Nell'area portuale di Livorno sono ammesse soltanto gasiere refrigerate pertanto si può escludere la possibilità che si verifichi BLEVE. Tuttavia, per completezza l'evento è stato ugualmente considerato. In questo caso si è ipotizzato che venisse rilasciato l'intero carico trasportato. Ammettendo che si tratti di una nave di piccola stazza (tipica delle gasiere pressurizzate) la quantità di GPL rilasciata è pari 800.000 kg.

Nei calcoli, inoltre, si sono assunte le seguenti condizioni meteo:

- classe D (neutrale) con velocità del vento pari a 5 m/sec;
- classe F (leggermente stabile) con velocità del vento pari a 2 m/sec;

Di seguito sono riportate le tabelle riassuntive del calcolo delle conseguenze e, successivamente la

mappatura delle conseguenze, Figura 3, nel caso di *BLEVE*. L'origine dell'incidente è collocata nel Bacino di Evoluzione.

Tabella 1: POOL FIRE Porto Canale lunghezza caratteristica della pozza = 100 m		
ZONA DI DANNO		DISTANZE
Zona IV	Danni alle strutture ed elevata letalità $I > 12,5 \text{ kW/m}^2$	< 65 m
Zona III	Inizio letalità $7 < I < 12,5 \text{ kW/m}^2$	tra 65 m e 90 m
Zona II	Lesioni irreversibili $7 < I < 5 \text{ kW/m}^2$	tra 90 m e 125 m
Zona I	Lesioni reversibili $I < 3 \text{ kW/m}^2$	tra 125 m e 175 m

Tabella 2: FLASH FIRE Porto Canale		
ZONA DI DANNO		DISTANZE
Zona I	Elevata letalità concentrazione pari a LFL	< 242 m
Zona II	Inizio letalità concentrazione pari a $\frac{1}{2}$ LFL	> 350 m

Tabella 3: UVCE Porto Canale		
ZONA DI DANNO		DISTANZE
Zona IV	Danni gravi ed elevata letalità $DP > 0,3 \text{ bar}$	< 90 m
Zona III	Inizio letalità $0,14 < DP < 0,3 \text{ bar}$	tra 90 m e 150 m
Zona II	Lesioni irreversibili $0,07 < DP < 0,14 \text{ bar}$	tra 150 m e 350 m
Zona I	Lesioni reversibili $0,03 < DP < 0,07 \text{ bar}$	tra 350 m e 980 m

Tabella 4: BLEVE Porto Canale quantità rilasciata = 800.000 kg altezza FIRE BALL = 403 m durata = 28,3 sec		
ZONA DI DANNO		DISTANZE
Zona IV	Danni gravi ed elevata letalità Raggio FIRE BALL	< 268 m
Zona III	Inizio letalità entro 350 kJ/m^2	tra 268 m e 800 m
Zona II	Lesioni irreversibili tra 350 e 200 kJ/m^2	tra 800 m e 1050 m
Zona I	Lesioni reversibili tra 200 e 125 kJ/m^2	tra 1050 m e 1300 m

5.2. Valutazione delle conseguenze nel porto in rada

Le conseguenze sono state considerate nel caso di collisione ed arenamento.

Ai fini del calcolo le assunzioni adottate sono state le seguenti: in base alla tipologia di navi coinvolte, si è ipotizzato che lo squarcio interessi soltanto una cisterna di capacità pari a 1.000 m³, contenente una quantità di GPL pari a 660.000 kg; allo squarcio è stato assegnato un diametro equivalente pari a 1 m. I risultati che caratterizzano il rilascio sono stati i seguenti:

- tempo di rilascio pari a 200 secondi;
- portata volumetrica media 1.978 kg/sec;
- quantità fuoriuscita pari a 395.000 kg, pari al 60% circa del quantitativo totale contenuto nella cisterna.

Nell'area portuale sono ammesse anche gasiere pressurizzate; pertanto si è considerato anche il BLEVE. In questo caso si è ipotizzato che venisse rilasciato l'intero carico trasportato. Ammettendo che si tratti di una nave di piccola stazza (tipica delle gasiere pressurizzate) la quantità di GPL rilasciata è pari 800.000 kg.

Le conseguenze ottenute nel caso della collisione sono state considerate valide anche nel caso dell'arenamento.

Di seguito sono riportate le tabelle riassuntive del calcolo delle conseguenze e, successivamente la mappatura delle conseguenze nel caso di BLEVE, Figura 4. Si è ritenuto opportuno rappresentare lo scenario in corrispondenza del punto di arenamento, essendo, questo, il punto più prossimo al centro abitato.

Tabella 5: POOL FIRE		
Porto in rada		
diametro della pozza = 131 m		
ZONA DI DANNO		DISTANZE
Zona IV	Danni alle strutture ed elevata letalità $I > 12,5 \text{ kW/m}^2$	< 90 m
Zona III	Inizio letalità $7 < I < 12,5 \text{ kW/m}^2$	tra 90 m e 130 m
Zona II	Lesioni irreversibili $7 < I < 5 \text{ kW/m}^2$	tra 130 m e 165 m
Zona I	Lesioni reversibili $I < 3 \text{ kW/m}^2$	tra 165 m e 216 m

Tabella 6: FLASH FIRE		
Porto in rada		
ZONA DI DANNO		DISTANZE
Zona I	Elevata letalità concentrazione pari a LFL	< 180 m
Zona II	Inizio letalità concentrazione pari a ½ LFL	> 264 m

Tabella 7: UVCE		
Porto in rada		
massa di combustibile = 107.520 kg		
ZONA DI DANNO		DISTANZE
Zona IV	Danni gravi ed elevata letalità $DP > 0,3 \text{ bar}$	< 150 m
Zona III	Inizio letalità $0,14 < DP < 0,3 \text{ bar}$	tra 150 m e 280 m
Zona II	Lesioni irreversibili $0,07 < DP < 0,14 \text{ bar}$	tra 280 m e 660 m
Zona I	Lesioni reversibili $0,03 < DP < 0,07 \text{ bar}$	tra 660 m e 1150 m

Tabella 8: BLEVE Porto in rada Quantità rilasciata = 800.000 kg altezza FIRE BALL = 403 m durata = 28,3 sec		
ZONA DI DANNO		DISTANZE
Zona IV	Danni gravi ed elevata letalità Raggio FIRE BALL	< 268 m
Zona III	Inizio letalità entro 350 kJ/m ²	tra 268 m e 800 m
Zona II	Lesioni irreversibili tra 350 e 200 kJ/m ²	tra 800 m e 1050 m
Zona I	Lesioni reversibili tra 200 e 125 kJ/m ²	tra 1050 m e 1300 m

6. CONCLUSIONI

La tecnologia dei vettori per il trasporto di GPL in mare ha privilegiato negli ultimi cinquant'anni le navi di grossa stazza attrezzate per il contenimento del gas liquefatto in condizioni criogeniche, con sistemi di contenimento del carico in caso di falla.

Dal punto di vista della sicurezza il trasporto refrigerato a pressione atmosferica esclude l'evoluzione di rilasci incidentali in *BLEVE*, che costituisce la tipologia di incidenti con le conseguenze più gravi e le massime distanze di danno.

Il confronto tra le conseguenze derivanti da incidenti in porti di tipo diverso mostra che gli effetti del *BLEVE* risultano particolarmente gravi nel caso del porto canale con attracco ravvicinato alla terraferma mentre sono tollerabili per un porto costituito da un pontile in rada distante dalla terraferma. In tutti gli altri tipi di scenari incidentali considerati, qualunque sia la conformazione del porto, la popolazione residente non è interessata dalle zone di danno grave o irreversibile.

I risultati ottenuti confermano come sia opportuna l'adozione di regolamentazioni locali diverse a seconda del tipo di porto e della vulnerabilità del sito.

Nel caso di un Porto tipo canale vicino ad insediamenti industriali ed urbani, è appropriato limitare l'ingresso soltanto a navi di moderna concezione, dotate di doppio contenimento e che effettuano trasporto criogenico del GPL

Nel caso di un porto in rada con attracchi distanti dalla terraferma la presenza di gasiere pressurizzate non è ritenuto elemento di criticità per la sicurezza del sito e non è strettamente necessaria l'adozione di norme restrittive sul trasporto di merci pericolose quali quelle vigenti in porti tipo canale.

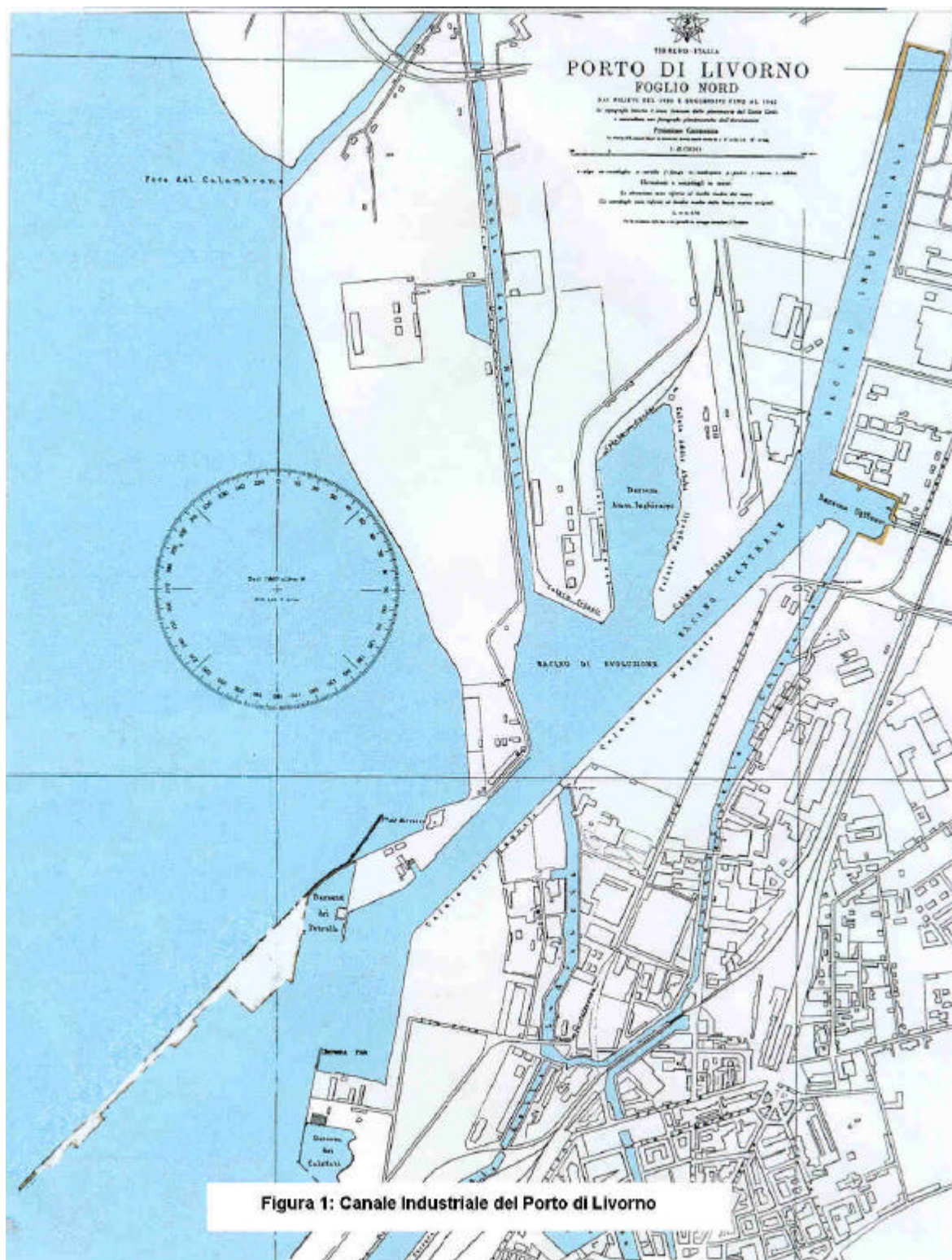


Figura 1: Canale Industriale del Porto di Livorno

Figura 2 Porto di Gela

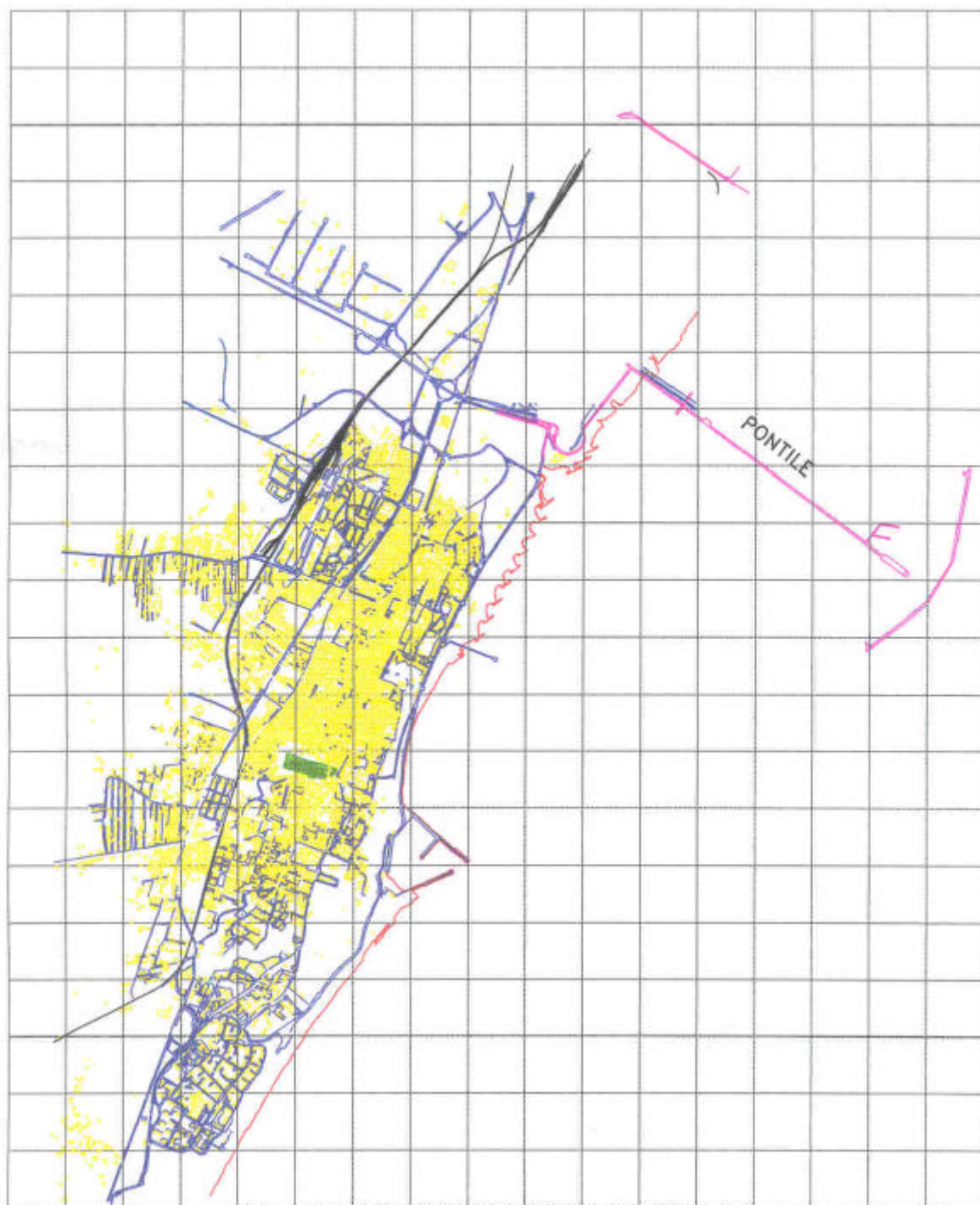


Figura 3

