



PIANO PROVINCIALE DI EMERGENZA

APPENDICE 7 "RISCHIO DA TRASPORTO DI SOSTANZE PERICOLOSE"

2008



Provincia di Venezia
Assessorato alla Protezione Civile

In collaborazione con:



**Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione
Ambientale del Veneto**
Servizio Prevenzione Industriale

RISCHIO DA TRASPORTO DI SOSTANZE PERICOLOSE

Maggio 2003

1.	IL TRASPORTO DI SOSTANZE PERICOLOSE: UNA BREVE INTRODUZIONE.....	5
1.1.	Rischio industriale: confronto tra impianti fissi e attività di trasporto	5
1.2.	Organismi e regolamenti relativi al trasporto delle materie pericolose	8
1.3.	Trasporto su strada.....	9
1.3.1.	Norme internazionali.....	9
1.3.2.	Norme nazionali.....	9
1.4	Classificazione delle materie pericolose	12
2.	MODELLO TEORICO PER L'ANALISI DEL RISCHIO	14
2.1.	Il concetto di rischio	14
2.2.	Frequenza attesa di incidente con rilascio di sostanze.....	15
2.3.	Analisi delle conseguenze di un incidente da trasporto.....	18
2.3.1.	Identificazione sostanze di riferimento e casi tipici.....	19
2.3.2.	Identificazione delle ipotesi incidentali	19
2.3.3.	Criteri e soglie di riferimento per la determinazione delle aree di interesse.....	21
2.3.4.	Modelli di calcolo utilizzati	23
2.3.5.	Condizioni meteorologiche	24
2.3.6.	Criteri di scelta degli scenari di riferimento.....	25
2.3.7.	Stima delle conseguenze	26
2.3.8.	Magnitudo: sintesi dei risultati.....	31
3.	APPLICAZIONE DEL MODELLO.....	32
3.1.	Raccolta dei dati in ingresso	32
3.1.1.	Trasporti di merci pericolose	32
3.1.2.	Grafo stradale.....	33
3.2.	Preparazione dei dati.....	33
3.2.1.	Sostanze	33
3.2.2.	Trasporti.....	35
3.3.	Risultati.....	36
4.	ANALISI DEI RISULTATI	37
5.	BIBLIOGRAFIA.....	40

1. IL TRASPORTO DI SOSTANZE PERICOLOSE: UNA BREVE INTRODUZIONE

1.1. Rischio industriale: confronto tra impianti fissi e attività di trasporto

L'emissione accidentale di sostanze pericolose può avvenire essenzialmente in due situazioni: durante la fase di produzione, utilizzo/deposito o durante il trasporto dal luogo di produzione ai siti di utilizzo e/o trasformazione.

Il primo caso è affrontato a livello comunitario dalla Direttiva 96/82/CE, cosiddetta Seveso II, recepita dal legislatore nazionale con D.Lgs. 334/99, per quanto riguarda invece il trasporto di merci pericolose non è presente un equivalente quadro normativo. Ci sono stati alcuni tentativi di parziale risoluzione del problema inserendo gli interporti e gli scali ferroviari tra le installazioni assoggettate a Direttiva Seveso, si è cercato di puntare su una più corretta gestione della difficile questione sicurezza nell'ambito dei trasporti (Direttiva 96/35/CE), ma non si è mai arrivati a prevedere un'effettiva analisi del rischio per le attività di trasporto. Le motivazioni possono essere identificate nell'estrema variabilità del contesto e delle modalità in cui quest'attività si realizza, dal numero considerevole di trasporti effettuati giornalmente, nel carattere trans-nazionale degli stessi.

Anche per questi motivi, la maggior parte delle volte, le informazioni reperite risultano essere scarse e frammentarie. Un altro aspetto riguarda la qualità dei dati raccolti, intesa come affidabilità degli stessi; una qualità elevata risulta di fondamentale importanza durante l'attività di valutazione del rischio poiché il procedimento prevede spesso di effettuare delle estrapolazioni da una quantità esigua di dati.

Il risultato di uno studio condotto al Centro Comune di Ricerca di Ispra mostra che spesso i dati storici relativi agli incidenti avvenuti durante il trasporto di prodotti chimici pericolosi sono poco affidabili. Da questa ricerca, che ha preso in esame alcuni incidenti riportati da diverse fonti autorevoli, è emerso che mentre le informazioni relative alla data e al luogo dell'incidente sono di "alta qualità", ossia mostrano una elevata corrispondenza, e quelle sulla modalità di accadimento e sul numero di morti di "media qualità", quelle riguardanti il nome e la quantità della sostanza coinvolta sono di "bassa qualità" e quindi troppo spesso non concordanti.

In Italia si stima che i prodotti petroliferi costituiscano circa il 7,5% del totale delle merci trasportate su strada, mentre i prodotti chimici pericolosi movimentati sono circa il 3% del totale. I prodotti infiammabili (liquidi o gas) risultano essere le sostanze più trasportate in assoluto. La situazione è illustrata nel grafico di Figura 1.

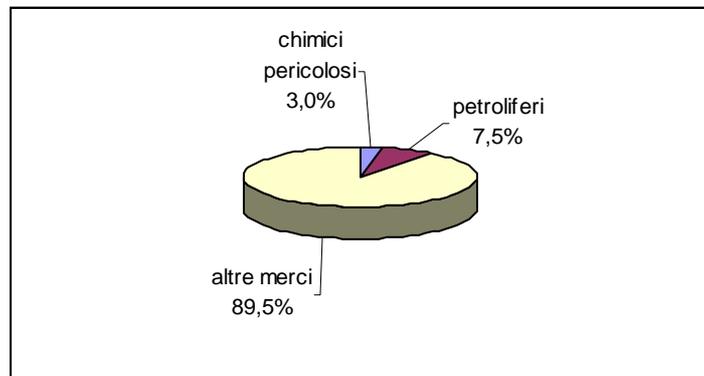


Fig. 1: incidenza merci pericolose sul totale delle merci trasportate su strada in Italia

Fonte: Bertelle A. Haasstrup P., *Trasporto di merci pericolose* (Cineas CCr, Il Sole 24 Ore Libri) 1996

Il trasporto su gomma di merci pericolose risulta essere quindi una realtà piuttosto sottovalutata sia in termini di entità che in termini di incidentalità: allo stato attuale anche se il 52% delle sostanze pericolose viaggia su strada, non esiste ancora un concreto monitoraggio quantitativo o qualitativo dell'attività, e soprattutto non esistono in questo settore valutazioni di rischio o analisi di sicurezza mirate così come sono invece per le installazioni fisse.

Eppure alcuni studi hanno dimostrato che l'entità del rischio da trasporto di merci pericolose è paragonabile a quello relativo agli impianti fissi; in Europa gli incidenti che avvengono durante il trasporto di prodotti chimici rappresentano un terzo degli incidenti che coinvolgono prodotti chimici in generale e sono responsabili per un terzo della perdita di vite umane.

Uno studio avente come scopo il confronto tra i rischi derivanti dal trasporto e quelli dall'impiego di sostanze pericolose in impianti fissi (Bertelle et al., 1996), ha comparato l'entità delle conseguenze derivate dagli incidenti esprimendole in numero di persone decedute. Considerando il corrispondente valore della frequenza di accadimento, si è ottenuto il seguente grafico (Fig.2) che riporta l'andamento della distribuzione degli incidenti in funzione dei parametri probabilità di accadimento - numero di morti. Si nota che l'andamento delle due "spezzate" è simile nonostante la probabilità di accadimento di incidenti negli impianti fissi sia in media pari al doppio di quella relativa al trasporto.

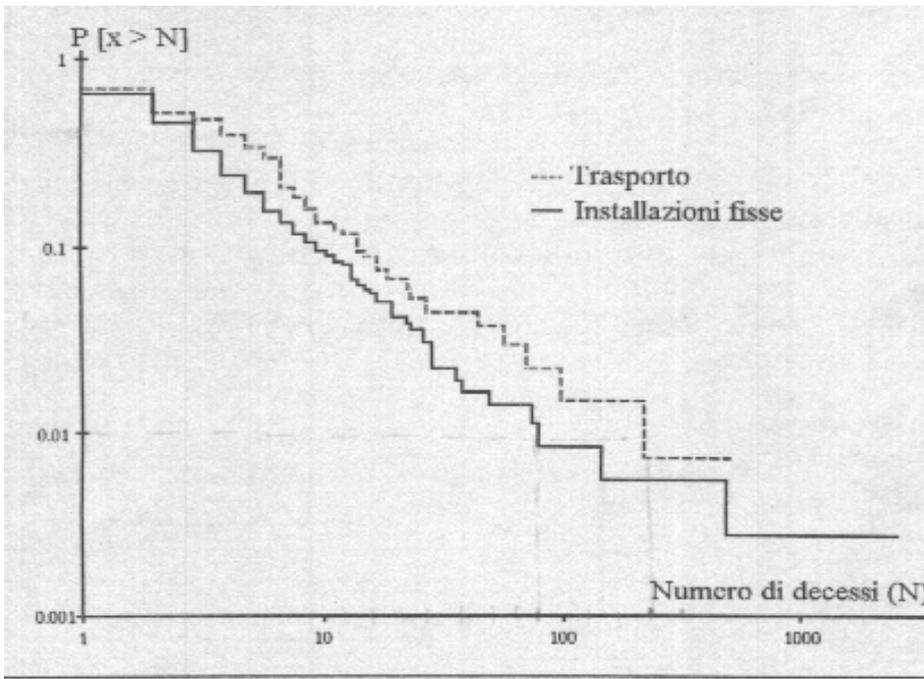


Fig. 2: andamento della distribuzione degli incidenti in funzione dei parametri probabilità di accadimento - numero di morti

Inoltre alcuni studi sul rischio a livello d'area, tra cui ARIPAR - 1992, hanno dimostrato che la frequenza di accadimento degli incidenti e l'entità delle conseguenze variano a seconda della sorgente. In figura 3 sono rappresentate le curve di rischio associate a varie sorgenti comprendenti sia gli impianti fissi sia le diverse modalità di trasporto. Risulta evidente il considerevole contributo al rischio d'area da parte del trasporto di merci pericolose.

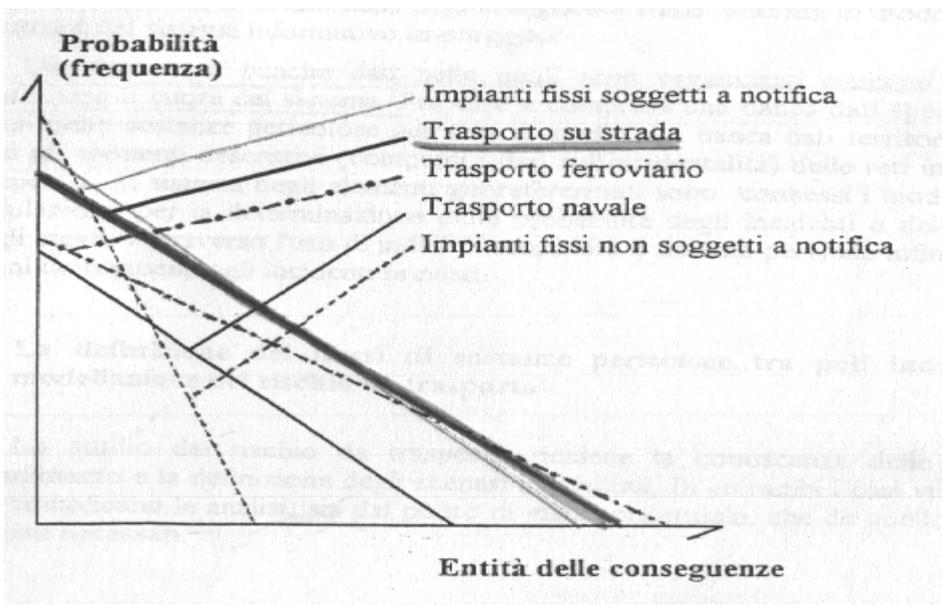


Fig. 3: curve di rischio associate a varie sorgenti

Se ne deduce che la gravità degli incidenti nel trasporto risulta di fatto assimilabile a quella negli impianti fissi ma più difficilmente controllabile. Ciò è evidente considerando alcuni aspetti della realtà che si va ad analizzare:

- il sistema trasporti risulta essere non “confinato” all’interno di una ben definita area,
- il veicolo è in continuo movimento e si sposta nell’ambito di un sistema (la strada) in cui gli stessi parametri caratteristici cambiano in continuazione;
- sulla strada possono verificarsi interferenze con l’esterno, non c’è un controllo dettagliato sugli accessi e sulla localizzazione.

Ne risulta quindi un sistema complesso e vulnerabile, in cui concorrono diverse problematiche: quelle connesse all’affidabilità del sistema veicolo (avaria degli apparati, rottura dei componenti) e quelle della sicurezza stradale.

1.2. Organismi e regolamenti relativi al trasporto delle materie pericolose

A livello internazionale l’attività di trasporto delle materie pericolose in generale è regolamentata da convenzioni e accordi che derivano dalle raccomandazioni di due organizzazioni internazionali quali:

- Organizzazione delle Nazioni Unite (O.N.U.);
- Agenzia Internazionale dell’Energia Atomica (I.A.E.A.), solo per le materie radioattive.

Altri organismi internazionali (Organizzazione Marittima Internazionale, Organizzazione dell’Aviazione Civile Internazionale, Comitato dei Trasporti Interni della Commissione Economica per l’Europa, Commissione Centrale per la Navigazione del Reno), hanno il compito di elaborare e aggiornare i regolamenti tecnici relativi alle diverse modalità di trasporto ogniqualvolta vi siano delle nuove indicazioni da parte delle due fonti sopra citate. Si elencano di seguito i diversi regolamenti:

- R.I.D.: regolamento internazionale relativo al trasporto ferroviario di merci pericolose;
- A.D.R.: Accord Europeen Relatif Au Transport International Des Merchandises Dangereuses Par Route, accordo europeo relativo al trasporto internazionale di merci pericolose;
- I.M.D.G.: codice internazionale marittimo per le merci pericolose;
- A.D.N.R.: accordo relativo al trasporto in acque interne di merci pericolose;

- I.C.A.O.: istruzioni tecniche allegate alla Convenzione di Chicago sull'aviazione civile.

Va precisato che tali regolamenti sono operanti solo a livello internazionale; necessitano quindi di essere ratificati o recepiti mediante disposizioni di legge nazionali per diventare operativi all'interno dei singoli Paesi contraenti.

1.3. Trasporto su strada

1.3.1. Norme internazionali

In Europa il trasporto stradale di materie pericolose è regolato dalle prescrizioni contenute nell'A.D.R., accordo che è stato adottato a Ginevra il 30 settembre 1957 e ratificato dall'Italia con la legge n. 1839 del 12.08.62. In seguito l'accordo è stato aggiornato più volte, l'ultima con la direttiva comunitaria 2001/7/CE recepita con D.M. 21.12.2001.

Tale accordo, è composto di poche pagine (per un totale di 17 articoli) e un protocollo d'intesa, che demanda tutte le disposizioni a due corposi allegati. Il testo, denominato anche "libro arancione", risulta essere quindi strutturato in tre sezioni contenenti:

- la prima il testo dell'Accordo e il protocollo delle sottoscrizioni,
- la seconda (Allegato A) l'elenco delle materie pericolose a cui è consentito il trasporto e le prescrizioni di etichettatura e imballaggio dei materiali,
- la terza (Allegato B) i requisiti tecnici dei mezzi adibiti al trasporto di tali sostanze.

Questo regolamento, il cui scopo è quello di garantire che le merci pericolose siano trasportate in modo adeguato in condizioni di massima sicurezza, è applicato anche nei Paesi non aderenti all'Accordo se non soggetti ad altra normativa in materia; in ogni caso, in linea di principio, l'A.D.R. prevale sulle corrispondenti norme dei Paesi aderenti.

Ciascun Paese può tuttavia porre sul proprio territorio ulteriori condizioni per il trasporto di alcune materie ritenute particolarmente pericolose.

L'Accordo specifica inoltre le materie pericolose escluse dal trasporto internazionale e quelle il cui trasporto è ammesso solo sotto determinate condizioni.

1.3.2. Norme nazionali

In Italia la normativa di riferimento per la regolamentazione del trasporto di merci pericolose è composta da:

- il nuovo Codice della Strada (art. 168 del D.L. n.285 del 30.04.92) e relativo Regolamento di Esecuzione (artt. dal 364 al 370 del D.P.R. 16.12.92 n.495);
- il D.M. del 21.12.2001, Ministero dei Trasporti.

Attualmente tuttavia restano in vigore le norme emanate ai sensi della legge n. 579 del 10 luglio 1970 in quanto si è ancora in attesa dei decreti ministeriali previsti dall'art. 168 del C.d.S. e d'altra parte non sono state emanate le disposizioni per l'allineamento delle norme nazionali a quelle internazionali previste dall'art.2 del Decreto Ministeriale predetto. La normativa di riferimento pertanto è la seguente:

- Artt. dal 352 al 461 del Regolamento di Esecuzione del vecchio Codice della Strada;
- D.M. 5 giugno 1971;
- Decreti Ministeriali 8 e 9 agosto 1980 e successive modificazioni e integrazioni (trasporto delle merci pericolose in cisterna).

Tale impianto normativo fornisce essenzialmente elementi di prevenzione quali accorgimenti tecnici costruttivi per i recipienti ed i mezzi, procedure operative per le fasi di trasporto delle diverse sostanze e norme di comportamento per gli autisti. Le misure adottate sono quindi indirizzate al processo di "trasporto" per minimizzare gli effetti di un possibile incidente; una vera e propria prevenzione dell'evento non è stata ancora affrontata, né si intravede una possibile soluzione al problema. Come detto in precedenza, Il trasporto su strada è, per natura, soggetto ad una serie di fattori esterni che sfuggono alla possibilità di prevederne gli effetti e quindi impostare una misura preventiva; in effetti eventuali misure, in tale ottica, riguarderebbero la pianificazione urbanistica (creazione di percorsi "sicuri" cioè dedicati al trasporto merci e lontani dal tessuto urbano) o la gestione del traffico veicolare (orari prestabiliti per il trasporto, scorta dei mezzi pericolosi,...) che non si dimostrano, attualmente, praticabili a livello nazionale ma solamente, ed in casi sporadici, su scala locale. Tale dimensione, in effetti, appare la più idonea per interventi di questo tipo, fermo restando la necessità di un coordinamento che renda omogenee le misure adottate.

A queste considerazioni si aggiunge la peculiarità del sistema di trasporti nella Provincia di Venezia caratterizzato dalla concentrazione di aziende nel Polo di porto Marghera, e di un terminal portuale dove transitano notevoli quantità di merci pericolose.

Per una maggiore completezza del lavoro si è quindi scelto di inserire il Porto come polo di provenienza o di arrivo delle merci:

- nel primo caso il Porto funge da "sorgente": i mezzi caricano le merci trasportate dalle navi e le portano alle diverse destinazioni;

- nel secondo caso il Porto funge da “ricevitore” merci: accoglie i mezzi che scortano merci pericolose; queste verranno caricate su navi porta container per essere trasportate via mare.

Grazie alla collaborazione dell’Autorità Portuale, che ha fornito i documenti di autorizzazione allo sbarco di merci pericolose nel Porto di Venezia, è stato possibile identificare il tipo di merce (tramite il numero Onu), la provenienza e la destinazione della stessa: è emerso un dato interessante che registra, nel 2001, un traffico di 500 navi/anno trasportanti merci pericolose.

I dati sono stati raccolti tramite l’utilizzo di un database Access “dbPortoVenezia” a cura dell’Ufficio Protezione Civile.

1.4 Classificazione delle materie pericolose

Una definizione di sostanze pericolose riscontrata più volte in letteratura e ritenuta valida da molti autori è la seguente: per materie pericolose si intendono quelle sostanze solide, liquide o gassose che per la loro particolare natura fisico-chimica sono in grado di produrre danni alle persone, alle cose e all'ambiente.

L'A.D.R. suddivide tali sostanze in varie classi, di seguito riportate, a seconda del tipo di pericolo da esse presentato:

- **Classe 1 Materie ed oggetti esplosivi.** Si considera esplosiva la materia che, per reazione chimica, può emettere gas ad una temperatura, ad una pressione e ad una velocità tali da produrre danni all'ambiente circostante.
- **Classe 2 Gas compressi, liquefatti o disciolti sotto pressione.** Queste sono sostanze che hanno una temperatura critica inferiore a 50°C, oppure che a 50°C hanno una tensione di vapore superiore a 300 kPa (3 bar).
- **Classe 3 Materie liquide infiammabili.** Appartengono quelle sostanze che sono liquide o viscosi ad una temperatura non superiore ai 15°C, che hanno una tensione di vapore massima a 50°C di 300 kPa (3 bar) e un punto di infiammabilità fino a 100°C. In funzione del valore di questo ultimo parametro si identificano tre gruppi di diversa pericolosità.
- **Classe 4.1 Materie solide infiammabili.** In questo caso viene fornito un elenco delle sostanze e non un criterio di appartenenza (es. zolfo, gomma, naftalina).
- **Classe 4.2 Materie soggette ad accensione spontanea.** In questo caso viene fornito un elenco delle sostanze e non un criterio di appartenenza (es. fosforo e suoi composti, composti organometallici).
- **Classe 4.3 Materie che a contatto con l'acqua sviluppano gas infiammabili.** In questo caso viene fornito un elenco delle sostanze e non un criterio di appartenenza (metalli alcalini, polvere o trucioli di alluminio, di zinco, carburo di calcio, di alluminio).
- **Classe 5.1 Materie comburenti.** In questo caso viene fornito un elenco delle sostanze e non un criterio di appartenenza (es. perossido d'idrogeno stabilizzato, diserbanti inorganici contenenti clorati, cloriti di sodio e di potassio, concimi con nitrato di ammonio).
- **Classe 5.2 Perossidi organici.** In questo caso viene fornito un elenco delle sostanze e non un criterio di appartenenza.

- **Classe 6.1 Materie tossiche.** I parametri che distinguono le varie sostanze in base al loro grado di tossicità (molto tossiche, tossiche e nocive) sono la Ld50 (Ld = Letal dose) per ingestione e assorbimento cutaneo e di Lc50 (Lc = Letal concentration) per ingestione nel ratto.
- **Classe 6.2 Materie ripugnanti o suscettibili di produrre infezioni.** In questo caso viene fornito un elenco delle sostanze e non un criterio di appartenenza (es. pelli fresche, pezzi anatomici di animali, letame).
- **Classe 7 Materie radioattive.** Rientrano i materiali con attività specifica superiore a 0,002 microcurie per grammo.
- **Classe 8 Materie corrosive.** Vi appartengono quelle sostanze che, per la loro azione chimica, attaccano i tessuti epiteliali della pelle, delle mucose o degli occhi con le quali esse vengono a contatto o che, in caso di dispersione, possono causare danni ad altre merci o ai mezzi di trasporto; sono comprese anche le sostanze che formano un composto liquido corrosivo in presenza di acqua o vapori o nebbie corrosivi in presenza di umidità. Si suddividono in molto corrosive, corrosive, poco corrosive.
- **Classe 9 Materie ed oggetti pericolosi vari.** Rientrano in genere soluzioni e miscele (es. preparati, rifiuti) che non compaiono nelle classi precedenti

Si ritiene opportuno segnalare alcuni requisiti specifici riportate all'interno delle normativa A.D.R. Le classi 1, 2 e 7 sono "classi limitative" ossia solo i prodotti espressamente citati negli elenchi dell'A.D.R. possono essere trasportati rispettando determinate condizioni, mentre per quelli non citati è vietato il trasporto su strada. Per i prodotti appartenenti alle altre classi ("classi non limitative") non nominati singolarmente:

- se, considerato il loro pericolo, risultano riconducibili in gruppi o sottogruppi collettivi, è consentito il trasporto su strada a determinate condizioni;
- se non risultano riconducibili in gruppi o sottogruppi collettivi, è consentito il trasporto su strada senza speciali condizioni in quanto non sono considerati pericolosi.

Le materie per le quali è ammesso il trasporto in cisterne, regolamentato da specifiche norme, sono quelle appartenenti alle classi 2, 3, 4.1, 4.2, 4.3, 5.1, 5.2, 6.1, 8 e 9.

2. MODELLO TEORICO PER L'ANALISI DEL RISCHIO

2.1. Il concetto di rischio

Il termine “rischio” è associato ai concetti di incertezza e danno, a seconda del contesto in cui viene utilizzato; ne consegue che una definizione generale può essere “probabilità di danno”.

Le fonti di rischio per l'uomo e per l'ambiente si possono ricondurre ai fenomeni naturali e agli eventi connessi all'attività antropica. Questi ultimi possono essere a loro volta distinti in altre tipologie considerando:

- l'intervallo di tempo nel quale si verifica l'evento (rischi accidentali o gradual),
- l'arco di tempo entro il quale si riscontrano gli effetti (rischi immediati o differiti),
- i soggetti e i beni esposti (rischi individuali o collettivi),
- l'atteggiamento dei soggetti esposti (rischi volontari e involontari).

Si evidenzia che il rischio è definito dalla seguente espressione:

$$\text{RISCHIO} = \Psi (F, M, V)$$

dove:

F = **probabilità di accadimento**: termine che considera il rapporto tra gli eventi significativi per l'analisi in questione e gli eventi totali.

M = **conseguenze**: termine che considera il danno provocato; in genere si prende come riferimento il numero di persone coinvolte (morti, feriti, persone da evacuare, ecc.), ma non si escludono i danni alle cose e all'ambiente.

V = **vulnerabilità**: termine che descrive la debolezza intrinseca di un sistema nei confronti di eventi incidentali.

Tale equazione fornisce risultati sufficientemente attendibili per l'analisi di rischio applicata agli impianti fissi, dove la situazione è controllabile sia dal punto di vista impiantistico che gestionale ed, inoltre, le condizioni ed i punti di maggior pericolo sono individuabili con metodi basati su parametri numerici stimabili quali l'affidabilità, le caratteristiche chimico-fisiche di processo e simili.

L'applicazione di questa metodologia al trasporto di sostanze pericolose risulta, invece, notevolmente problematica sia per il calcolo della probabilità di accadimento che per la valutazione degli scenari incidentali e delle loro conseguenze.

Per quanto riguarda il primo fattore le maggiori difficoltà nascono dalla grande varietà di veicoli, metodi e condizioni di trasporto delle sostanze nonché dalla presenza di variabili non dipendenti dal “processo” di trasporto quali le condizioni della sede stradale (legate al clima) e il comportamento degli altri veicoli.

Relativamente al secondo fattore si incontrano grossi problemi nella valutazione del danneggiamento (tipologia ed entità) subito dal veicolo nell'incidente e, quindi, nel calcolo del termine sorgente cioè della quantità di sostanza rilasciata.; ha, inoltre, grande rilevanza la morfologia del terreno circostante (pendenze, rilievi, fossati, larghezza della sede stradale) poiché influisce pesantemente sulla previsione degli scenari incidentali.

Vi è, infine, un'oggettiva difficoltà nell'individuare parametri che definiscano correttamente la vulnerabilità e che permettano di ottenere una stima credibile del danno atteso in caso di evento incidentale. Per un impianto fisso, infatti, è relativamente semplice descrivere il territorio circostante (distribuzione della popolazione, caratteristiche geomorfologiche e naturali,..) ma si deve comunque ricorrere a rappresentazioni statistiche; nel caso del trasporto di sostanze pericolose quest'indeterminatezza si amplifica sia perché l'analisi deve essere estesa a tutto il territorio adiacente i percorsi interessati sia per l'estrema variabilità dei possibili effetti di un incidente e della sua interazione con l'ambiente circostante.

Alla luce di queste considerazioni, si è preferito limitare lo studio alle prime due variabili del modello, non considerando la vulnerabilità del territorio; per questo motivo, il modello che si è scelto di utilizzare per valutare il rischio considera solo le prime due variabili dell'equazione generale riportata all'inizio del presente paragrafo.

Nonostante quindi il modello si proponga di valutare il rischio da trasporto nella sua globalità, cioè includendo tutte le sostanze e tutti i percorsi relativi alle aziende comprese nel censimento, nel calcolo sono state adottate le necessarie semplificazioni assumendo ipotesi iniziali che hanno permesso di limitare il numero di variabili del problema.

Ne consegue indubbiamente una notevole diminuzione di precisione del modello; si ritiene comunque che lo scopo dello studio, cioè una prima analisi conoscitiva del fenomeno, giustifichi queste assunzioni e che il risultato ottenuto sia del tutto valido se considerato nei giusti termini.

2.2. Frequenza attesa di incidente con rilascio di sostanze

La prima fase di un'analisi del rischio per il trasporto di merci pericolose consiste nel calcolo della probabilità che si verifichi un incidente interessante mezzi adibiti a tale scopo e, in seconda battuta, nella valutazione della possibilità che l'incidente provochi un rilascio di sostanze in atmosfera o nell'ambiente circostante.

Il calcolo della probabilità di accadimento di un incidente deve necessariamente tener conto della morfologia della strada percorsa, nonché dell'esposizione al rischio che il percorso seguito implica; tali fattori sono stati tenuti in debito conto nello sviluppo del modello di calcolo delle frequenze suddividendo i valori secondo le 3 tipologie di strada considerate (Autostrade, Strade Statali e Strade Provinciali) ed inoltre considerando, per ciascuna di esse, il traffico medio annuo che le interessa.

I dati di partenza consistono in:

$$T = n^{\circ} \text{ veicoli tot/anno}$$

$$I = n^{\circ} \text{ incidenti tot/anno}$$

$$L = \text{lunghezza totale del reticolo stradale (Km)}$$

Fissati poi, per ipotesi, i coefficienti:

$$K_1 = \text{incidenti da TSP/incidenti totali}$$

e

$$K_2 = \text{TSP/veicoli totali}$$

Si può calcolare la frequenza attesa media di incidente generico per la tipologia di strada considerata:

$$F_{m,n} = I_n * K_1 / (T_n * K_2 * L_n) \quad (\text{inc./ TSP * anno})$$

Per semplificare i calcoli successivi, si ricava una frequenza attesa generale come risultato della media pesata secondo la lunghezza delle tipologie di strada:

$$F_m = \sum [F_{m,n} * L_n / L] \quad (\text{inc./ TSP * anno})$$

Considerando i dati sul traffico e i dati incidentali, forniti dalla Provincia di Venezia e dalle società Autostrade di Venezia e Padova Spa e Autovie Venete Spa., possiamo costruire la seguente tabella:

	Veicoli tot / anno	Veic. > 35 q / anno	Incidenti tot / anno	Lungh. totale
Autostrade	15.876.090	4.800.000	992	116

S. Statali	129.458.200	20.394.375	678	427
S. Provinciali	300.020.510	61.045.155	366	277

Tab. 3.3.1 –

Per il calcolo dei coefficienti K_1 e K_2 si assume come ipotesi che il 5% degli automezzi di stazza superiore a 35 q.li sia adibito al trasporto di sostanze pericolose.

In base a questa assunzione:

1. Nel periodo 1995-1998 il numero di incidenti in cui sono stati coinvolti automezzi pesanti è pari al 6,22% degli incidenti totali; possiamo quindi calcolare:

$$K_1 = 0,0622 * 0,05 = 0,003$$

2. In base al numero di veicoli pesanti indicato in Tab. 3.3.1, il coefficiente K_2 si può calcolare come:

$$k_2 = (\text{Veic. } >35 \text{ q.li / anno}) * 0,05 / (\text{veicoli tot. / anno})$$

ottenendo i valori:

	K_2
Autostrade	0.015
S. Statali	0,008
S. Provinciali	0,01

Tab. 3.3.2

A questo punto siamo in possesso di tutti gli elementi necessari al calcolo delle frequenze attese medie di incidente:

	F_{m,n} (occ./TSP*Km)
Autostrade	1.08 e -7
S. Statali	4,6 e -9
S. Provinciali	1,32 e -9

Tab. 3.3.3

La frequenza attesa di incidente risulta pari a:

$$F_m = (1.08 \text{ e } -7 * 0.14 + 4.6 \text{ e } -9 * 0.52 + 1.32 \text{ e } -9 * 0.338) = \mathbf{1.796 \text{ e } -8}$$

Tale valore sarà poi applicato ai singoli tragitti preso il loro valore di lunghezza totale e numero di transiti annuali di Trasporti di sostanze pericolose per calcolare la frequenza attesa media di incidente per il singolo tragitto:

$$F_i = F_m * L_i * T_i \quad (\text{inc./anno})$$

2.3. Analisi delle conseguenze di un incidente da trasporto

La presente analisi riguarda il trasporto di sostanze pericolose su strada nella provincia di Venezia; in particolare, essa è finalizzata all'individuazione di casi incidentali tipici, rappresentativi (sotto il profilo delle conseguenze attese) di tutti gli eventi incidentali ragionevolmente credibili riferiti al trasporto su strada, la cui varietà dipende sia dal notevole numero di merci diverse movimentate sulle strade della provincia che dalla tipologia stessa di trasporto (autobotti, autocisterne, ferrocisterne carrellate, autotreni ecc.).

L'evoluzione di ogni caso tipico è stata successivamente studiata al fine di identificare tutti gli scenari incidentali credibili o verosimili e infine, tramite l'ausilio di modelli di simulazione, sono state stimate le distanze di danno associabili a ciascuno degli scenari individuati.

Il lavoro si è quindi composto essenzialmente di due fasi:

- I. Identificazione delle sostanze di riferimento (rappresentative di tutte le altre appartenenti alla stessa tipologia)

II. Valutazione delle ipotesi incidentali e stima delle conseguenze attese per ogni scenario individuato

2.3.1. Identificazione sostanze di riferimento e casi tipici

Si sono preliminarmente individuate le tipologie di sostanze che vengono trasportate nell'ambito del territorio della provincia di Venezia. La suddivisione si è basata essenzialmente sulla classificazione di legge delle sostanze pericolose in base alla normativa sui trasporti, distinguendo le sostanze in tossiche, infiammabili, esplosive, corrosive, comburenti ecc. e individuando quindi le classi di sostanze più pericolose, i cui effetti, in caso di rilascio a seguito di incidente stradale, potessero essere comprensivi di quelli derivanti da incidenti riferiti a tutte le altre classi di sostanze trasportate su strada.

Tale criterio ha portato ad individuare sostanzialmente due classi o tipologie di sostanze, quelle infiammabili (in fase gassosa liquefatta e in fase liquida) e quelle tossiche (anch'esse trasportate in fase gassosa liquefatta o in fase liquida): si è infine proceduto a scegliere alcune sostanze rappresentative di ogni classe, al fine di condurre le simulazioni evitando ripetizioni superflue.

In definitiva, i casi di studio si sono ridotti a 3, come risulta dalla seguente tabella:

CASO-TIPOLOGIA SOSTANZA	MEZZO DI TRASPORTO SU STRADA	SOSTANZE DI RIFERIMENTO
1. gas infiammabili (liquefatti)	Autobotte o botticella	GPL
2. liquidi infiammabili	Autocisterna	benzina
3. liquidi tossici	Autobotte	Oleum, ammoniaca

È importante notare che nella scelta delle sostanze "tipiche", oltre che della pericolosità intrinseca delle sostanze stesse, si è cercato di tener conto anche della frequenza con cui esse vengono trasportate sulle strade; sono state quindi privilegiate quelle maggiormente presenti nel traffico merci della provincia di Venezia.

2.3.2. Identificazione delle ipotesi incidentali

L'identificazione delle ipotesi incidentali di riferimento è stata effettuata sulla scorta di un criterio di credibilità, o di ragionevolezza, dei possibili scenari incidentali conseguenti ad un incidente stradale che veda coinvolto un automezzo che trasporti sostanze pericolose.

La scelta è stata supportata da un'indagine basata su una rassegna di casi storici tratti da banche dati internazionali, di seguito elencate:

- ↗ MHIDAS Major Hazard Incident Data Service (Health&Safety Executive – UK)
- ↗ FACTS Failure and Accidents Technical Information System (TNO – NL)

Inoltre, sono stati consultati anche:

- Loss Prevention Bulletin – I.Ch.E.UK
- F.P. Lees – Loss Prevention in the Process Industries

Nonostante l'incompletezza di alcune serie di dati, è stato possibile condurre un'analisi finalizzata all'identificazione del tipo di rottura (**catastrofica, significativa o minore**) dei mezzi coinvolti in incidenti, allo scopo di valutare i termini sorgente per i modelli di simulazione.

Dall'esame dei case-histoires selezionati, quello che traspare è che la rottura catastrofica sembra limitarsi ad un numero molto ristretto di casi, ed è legata a condizioni particolari (rottura per età, cadute da cavalcavia o strade sopraelevate ecc.). Più frequenti sono i danni minori (sono registrati anche vari casi in cui non vi è stato alcun danno a seguito dell'incidente) e le rotture significative, con rilascio del prodotto nell'arco di tempo che va da alcuni minuti fino ad un'ora o più.

Le conseguenze finali dipendono dall'evoluzione dello scenario e dalla sostanza coinvolta (nel caso di gas o liquidi infiammabili, l'innesco della perdita si è verificato con una certa frequenza).

Per quel che riguarda i recipienti per il **trasporto di gas infiammabili** in pressione (botticelle e bilici, con volumi variabili dai 20 ai 50 m³), caratterizzati da spessori delle lamiere dell'ordine dei 10 mm, si è riscontrato che le rotture sono dovute essenzialmente all'urto di parti sporgenti (valvole o bocchelli) contro un ostacolo fisso a seguito ad es. di ribaltamento. Per lo studio, ci si è quindi riferiti ad autobotti di non recente costruzione, poiché quelle più moderne sono tutte dotate di coperchio a protezione dei gruppi valvolari; si è ipotizzata una rottura a seguito di incidente con **foro equivalente pari a 50 mm**, dovuta ad esempio a urto con conseguente distacco di connessioni sporgenti dal mantello. Tale scenario ricomprende anche quello, meno verosimile e riguardante anche le autobotti di più recente costruzione, della rottura del mantello per collisione con oggetti appuntiti e penetrazione nella lamiera.

Riferendosi al **trasporto di liquidi infiammabili** mediante autocisterna (volumi compresi tra 20 e 40 m³), l'analisi storica evidenzia che non sono da escludersi rotture di dimensioni maggiori di quelle considerate per i gas infiammabili: le autocisterne, che non sono progettate per il trasporto in pressione, hanno spessori delle lamiere variabili dai 3 ai 4 mm e sono registrati casi in cui a seguito di collisione si sono avute rotture significative (squarcio della lamiera). È comunque importante sottolineare che le cisterne sono divise in compartimenti (da 5 a 10 taniche), per cui alla rottura di una parte della lamiera può venire associato lo svuotamento di 1 o 2 taniche al massimo: rotture

maggiori rientrerebbero nell'ambito degli scenari catastrofici che l'analisi storica appare collocare nel novero degli eventi improbabili. Sulla scorta di questi ragionamenti, si è stimato un foro equivalente a seguito di rottura con **diametro equivalente pari a 100 mm**.

Infine, con riguardo al **trasporto di liquidi tossici** (volumi dell'ordine dei 18-25 m³), è necessario sottolineare che solitamente i mezzi adibiti a tale scopo sono dotati di roll-bar di protezione in acciaio, sia sulla parte superiore (attacchi e connessioni) che sulle fasce laterali, che consentono di limitare i danni in caso di urto o ribaltamento. In virtù della protezione offerta dalle barre, si è ipotizzato un foro equivalente a seguito di rottura pari a **25 mm**.

Riassumendo, le dimensioni dei fori equivalenti che si ipotizzano a seguito di rottura per urto o ribaltamento dei vari mezzi stradali sono di seguito riportati:

Caso	Mezzo e sostanza coinvolti	Diametro equivalente rottura
1a	autobotte 50 m ³ gas infiammabili (rif. GPL)	0,05 m
1b	botticella 25 m ³ gas infiammabili (rif. GPL)	0,05 m
2	autobotte liquidi infiammabili (rif. benzina)	0,1 m
3a	autobotte liquidi tossici (rif. oleum)	0,025 m
3b	ferrocisterna liquidi tossici (rif. ammoniac)	0,005 m

2.3.3. Criteri e soglie di riferimento per la determinazione delle aree di interesse

Per fornire la sintesi delle conseguenze connesse con incidenti rilevanti si usa in genere il concetto delle aree di interesse, che possono avere varie forme in pianta (un ellissoide, un arco di cerchio, un cerchio, ecc.). Il parametro che più determina l'estensione di queste zone è la distanza, misurata rispetto al punto ove si verifica l'incidente, alla quale risulta presente un determinato valore (soglia) di concentrazione o di energia.

Considerando che si tratta della rappresentazione più cautelativa per eccesso, si definiscono solitamente zone di forma circolare, con centro sul luogo ipotizzato dell'incidente e raggio pari alla distanza relativa alla soglia di danno predefinita.

I riferimenti per la definizione delle zone di danno sono stati scelti tenendo conto delle indicazioni fornite dalle Linee Guida per la PIANIFICAZIONE DI EMERGENZA ESTERNA PER IMPIANTI INDUSTRIALI A RISCHIO DI INCIDENTE RILEVANTE (*Presidenza del Consiglio dei Ministri - Roma, 18/1/1994*), sulla base dei valori raccomandati o utilizzati da altre fonti ed istituzioni nazionali e internazionali (*ISPESL - DIPIA, Rapporto Rijnmond, Battelle-Institut E.V., AIChE, TNO, F.P. LEES - Loss Prevention in the Process Industries, Norme API RP521, Report SRD-HSE, ecc.*) e, dove applicabile, considerando anche quanto indicato dal Ministero dell’Ambiente con il D.M. 15/5/1996 (*Criteri di analisi e valutazione dei rapporti di sicurezza relativi ai depositi di gas e petrolio liquefatto*).

Le soglie di danno in genere adottate allo scopo di definire l’entità delle possibili conseguenze e l’estensione delle zone interessate da tali conseguenze, con la relativa definizione ed indicazione del valore di concentrazione o energia associato a ciascuna, sono riportate nella tabella seguente:

Fenomeno fisico	Soglia 1 (elevata probabilità di letalità)	Soglia 2 (danni gravi a popolazione sana)
Esplosioni UVCE	0,6 bar (0,3 bar)	0,07 bar
BLEVE (sovrapressione)	0,6 bar (0,3 bar)	0,07 bar
Fireball	raggio	250 kJ/m ²
Incendio (pool-fire e jet-fire)	12,5 kW/m ²	5 kW/m ²
Flash-fire	LFL	½ LFL
Dispersione tossici	LC50 _{30 min}	IDLH

I valori di concentrazione da correlare alla soglia **LC50** sono stati determinati per ciascuna sostanza utilizzando una funzione matematica di **probit** (probability unit), mediante la quale è possibile calcolare, con ragionevoli limiti di confidenza, la concentrazione corrispondente ad una determinata probabilità di danno (nella fattispecie la concentrazione letale per il 50 % degli esposti).

L’equazione generale è la seguente:

$$Pr = a + b \cdot \ln(C^n \cdot t)$$

I coefficienti **a**, **b** ed **n** sono determinati sulla base di correlazioni tra osservazioni sperimentali e conoscenza del metabolismo umano e sono specifici per ciascuna sostanza chimica.

C e **t** sono, rispettivamente, la concentrazione in ppm ed il tempo di esposizione in minuti.

Pr è il valore di unità probit pari a **5** per **LC50**.

Il valore corrispondente alla concentrazione di soglia per ciascuna sostanza considerata è stato determinato sulla base dei seguenti criteri.

⇒ LC50 mediante i coefficienti di probit forniti, in sequenza di scelta, dalle seguenti fonti:

- [i] “Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis” American Institute of Chemical Engineers – Center for Chemical Process Safety 1989 (ISBN 0-8169-0402-2).
- [iii] “Methods for the Determination of the Possible Damage to Humans and Goods by the Release of Hazardous Materials” (Green Book TNO), Dutch Ministry of Housing, Physical Planning and Environment, The Hague 1990.

Dove tali coefficienti non erano forniti si è provveduto a stimarli sulla base dei criteri riportati nella fonte [ii].

⇒ IDLH ricavato dalla pubblicazione

- [iii] “Pocket guide to chemical hazards” - National Institute for Occupational Safety and Health – USA.

Di seguito sono riassunti i valori corrispondenti alle soglie di interesse, per ciascuna sostanza tossica considerata e per tempi di esposizione di 30 minuti:

sostanza	LC50 _{30 min} ppm	IDLH ppm
oleum (anidride solforica)	123	3,7
ammoniaca	11525	520

Nella tabella di sintesi riportata al termine del paragrafo 2.3.8. viene riportata l'estensione delle zone di danno corrispondenti alle soglie citate, riferite al tempo di esposizione di 30 minuti.

2.3.4. Modelli di calcolo utilizzati

Per la stima delle conseguenze sono stati utilizzati i modelli **STAR** (Safety Techniques for Assessment of Risk), recensiti dall'**OCSE** (Organizzazione mondiale per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico) e da altre Istituzioni, come si evince dalla documentazione riportata in allegato, che contiene anche la bibliografia da cui sono stati tratti i modelli di calcolo.

In particolare, il calcolo della portata viene eseguito per flussi liquidi e gassosi con l'equazione di Bernoulli ed adottando un coefficiente di efflusso di 0,61.

Nel caso di rilasci bifase si adottano le equazioni del modello HEM (Fauske & Epstein 1987) riportate anche nei testi AICHe e DIERS e convalidate sulla base delle indicazioni fornite dal HSE (Health and Safety Executive – UK) per flussi bifase di propano e butano.

Per lo studio della dispersione di gas o vapori con densità maggiore dell'aria sono utilizzati due modelli:

- ⇒ il primo, di tipo box, tratto dalla teoria del SRD (Safety and Reliability Directorate - UKAEA) pubblicata ed adottata per analoghi modelli (DENZ per rilasci istantanei, CRUNCH per rilasci continui), si applica nel caso di aerosol a seguito di flusso bifase o di rilasci di gas liquefatti che comportano flash.
- ⇒ il secondo, non gaussiano, è tratto dalla teoria che supporta anche i modelli HEGADAS (Shell-API) e DEGADIS (US Coast Guard) e viene applicato per la dispersione di vapori emessi da pozze di liquidi evaporanti.

In considerazione delle caratteristiche delle sostanze coinvolte la scelta della simulazione istantanea o continua viene fatta sulla base della durata della fuoriuscita: con tempi inferiori a 4÷5 minuti si usano modelli istantanei, con tempi maggiori modelli continui.

L'eventuale evaporazione da pozza viene simulata con un modello che incorpora le equazioni del TNO e del modello SRD (SPILL) e calcola anche l'eventuale flash isoentalpico.

Per rilasci di gas ad alta velocità (con numero di Reynolds > 20000) si usa il modello jet di Ooms.

Per la valutazione dell'irraggiamento da pozze o serbatoi viene usato un modello basato sulle equazioni del SRD che tiene conto anche dell'eventuale formazione di fumo, mentre in caso di jet-fire o torce la simulazione si esegue con le equazioni di calcolo delle norme API.

Le ipotesi di esplosione di nubi di gas infiammabili vengono simulate con il modello UVCE che utilizza le equazioni del TNO, mentre per esplosioni o scoppi all'interno di recipienti si usa un modello ricavato dalla teoria pubblicata dalla US-NASA e sviluppata dal SwRI - Texas.

2.3.5. Condizioni meteorologiche

Le condizioni meteorologiche assunte per le simulazioni sono le seguenti:

classe di stabilità	velocità del vento	umidità dell'aria	irraggiamento solare	temperatura media
F	2 m/s	70%	0,85 kW/m ²	20°C
D	5 m/s	70%	0,85 kW/m ²	20°C

La scelta si è basata sulle indicazioni riportate nelle Linee Guida e nel D.M. Ambiente 15/05/1996 già citati al paragrafo 2.3.3.

Per tenere conto della conformazione orografica del sito, è stato inserito un valore del parametro di rugosità medio (0,6 m), senza considerare eventuali ostacoli o fabbricati che possono influenzare la dispersione di gas o vapori.

2.3.6. Criteri di scelta degli scenari di riferimento

Per i casi trattati, si è considerato che la perdita perduri per circa mezz'ora (coerentemente con il tempo di esposizione assunto per il rilascio di tossici) prima che essa subisca una riduzione sostanziale, per intervento dell'autista del mezzo o delle squadre di emergenza o per raggiungimento della superficie massima evaporante (nel caso di pozze di gas liquefatti o liquidi a seguito di rilascio per rottura significativa).

La stima delle conseguenze è basata sulla simulazione di scenari che rappresentano fenomeni fisici diversi (flusso bifase, evaporazione, flash, pool-fire, BLEVE); il verificarsi di codesti scenari nella realtà dipende da varie condizioni, quali la presenza e l'intervento di sistemi passivi o attivi di protezione, condizioni chimico-fisiche e termodinamiche che caratterizzano il rilascio, orografia e conformazione del sito ecc.

Per la presente analisi, a favore della sicurezza, si sono ipotizzati gli scenari più gravosi sotto il profilo delle conseguenze attese, valutandone la credibilità sulla base dell'analisi storica e dell'esperienza in casi analoghi.

Prima di proseguire con l'analisi, per chiarezza di esposizione, si riporta di seguito il significato attribuito ai termini succitati e ad altri utilizzati nel seguito (l'accezione è tratta dalle guide dell'AICHe - American Institute of Chemical Engineers).

FIRE BALL (*Palla di fuoco*): combustione veloce di una massa di vapori infiammabili rilasciata istantaneamente, in genere connessa con un BLEVE, senza sviluppo di sovrappressione, ma con irraggiamento intenso e breve.

JET IMPINGEMENT o FLAME ENGULFMENT: situazione in cui la fiamma di un jet fire colpisce ortogonalmente un apparecchio o una struttura. È una delle situazioni in cui risulta più probabile il BLEVE.

FLASH FIRE: combustione veloce di una nube di gas o vapori infiammabili; non comporta effetti significativi di sovrappressione in quanto la velocità di fiamma è abbastanza bassa (sotto ai valori che configurano la deflagrazione) o perché la massa di combustibile è limitata, o per una non omogenea distribuzione delle concentrazioni, o per la contenuta turbolenza che non favorisce accelerazione di fiamma.

INCENDIO: comprende tutti i fenomeni di combustione libera, quali il FLASH FIRE, il JET FIRE, il POOL FIRE (incendio di una pozza di liquido) ed il TANK FIRE (incendio di un serbatoio o recipiente che si verifica in genere dopo una rottura).

JET FIRE: è l'equivalente del dardo di fuoco e comporta, in genere, irraggiamento non elevato, se non in prossimità della fiamma, mentre risulta pericoloso il jet o flame-impingement.

RILASCIO: si riferisce ad eventi per i quali, a seguito di una fuoriuscita di sostanze pericolose, non sono stati registrati effetti in quanto non si è verificato un innesco o le concentrazioni erano sotto alla soglia di pericolo.

SCOPPIO/BLEVE: vengono associati due fenomeni che, pur generando effetti simili, derivano da cause e sequenze completamente differenti; infatti, nella voce SCOPPIO si comprende l'esplosione interna ad un recipiente o tubazione determinata da innesco di miscela infiammabile o da reazione anomala o da sovrappressione statica, mentre il termine BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion) considera specificatamente il collasso termico di un recipiente contenente un gas compresso e liquefatto a seguito di surriscaldamento dovuto a incendio. Il fenomeno si verifica quando la sostanza contenuta si trova in condizioni di surriscaldamento ed è soggetta ad una rapida depressurizzazione che origina il flash di una frazione del liquido.

UVCE: (Unconfined Vapour Cloud Explosion) esplosione di una nube di vapori o gas infiammabili in luogo aperto o parzialmente confinato. Viene spesso definita anche VCE (Vapour Cloud Explosion) perché nei siti industriali non sono in genere presenti ambienti completamente liberi da ostacoli o da strutture che determinano accelerazioni locali della fiamma e maggiori sovrappressioni.

I casi tipici esaminati, con la sintesi delle conseguenze attese per ciascuna sostanza considerata, sono riassunti nelle tabella riportate al termine del paragrafo 2.3.1.

2.3.7. Stima delle conseguenze

Vengono di seguito elencati e analizzati in dettaglio tutti i casi individuati e gli scenari conseguenti all'evoluzione degli incidenti ipotizzati, con le distanze di danno relative.

Caso 1: Rilascio da autobotte (caso 1a) o botticella (caso 1b) di gas infiammabile liquefatto

Caso 1a): rilascio da autobotte (50 m³ – 20 t) contenente GPL

Si ipotizza cautelativamente una rottura sulla fase liquida, sul mantello della cisterna o su connessione saldata o flangiata in prossimità del mantello stesso, con DN equivalente pari a 50 mm, fuoriuscita di gas liquefatto (senza instaurarsi di flusso bifase) e formazione di pozza evaporante. Gli scenari che possono verificarsi possono essere individuati come segue:

- ⊗ BLEVE e Fireball, nel caso di “flame-engulfment” o “jet-impingement” della cisterna a seguito di innesco immediato della perdita (per tempi >10 min di esposizione alle fiamme)
- ⊗ Flash fire, in caso di innesco immediato o quasi della nube di vapori, senza apprezzabili effetti di sovrappressione;
- ⊗ UVCE, nel caso di innesco ritardato della perdita (è necessario che fuoriesca o si accumuli una massa di miscela infiammabile tale da fornire energia sufficiente e possibilità di accelerazione della fiamma, in modo da generare quelli che sono comunemente definiti come "effetti esplosivi").
- ⊗ Jet-fire nel caso di perdita innescata in fase gas

I risultati delle simulazioni sono riportati nella tabella seguente, dalla quale si evince che lo scenario più gravoso sotto il profilo delle distanze di danno è rappresentato dal BLEVE e successivo fire-ball dell'autobotte per quanto riguarda la 2^a soglia (danni gravi a popolazione sana), mentre per la 1^a soglia la distanza maggiore è relativa al flash-fire.

Caso 1a) - GPL

Fenomeno fisico	Soglia 1 (elevata probabilità di letalità)	Soglia 2 (danni gravi a popolazione sana)
BLEVE (sovrappressione)	10 m (20 m)	60 m
Fireball	75 m	150
UVCE [F/2]	n.r. (70 m)	125 m
Flash fire [F/2]	82 m	125 m

Flash fire [D/5]	35 m	65 m
Jet-fire [F/2]	8 m	16 m
Jet-fire [D/5]	10 m	17 m

n.r.=non raggiunto

Caso 1b: Rilascio da botticella (25 m³ – 10 t) contenente GPL

Valgono le stesse considerazioni del caso precedente, l'unica differenza sta nella quantità totale di GPL coinvolta che passa da circa 20 t a circa 10 t.

I risultati sono riportati nella seguente tabella:

Caso 1b) - GPL

Fenomeno fisico	Soglia 1 (elevata probabilità di letalità)	Soglia 2 (danni gravi a popolazione sana)
BLEVE (sovrapressione)	5 m (10 m)	40 m
Fireball	60 m	125
UVCE [F/2]	n.r. (65 m)	120 m
Flash fire [F/2]	78 m	115 m
Flash fire [D/5]	34 m	65 m
Jet-fire [F/2]	8 m	16 m
Jet-fire [D/5]	10 m	17 m

n.r.=non raggiunto

Caso 2: Rilascio da autocisterna di liquido infiammabile (benzina)

Il presente caso tratta della rottura su autocisterna di benzina: il foro equivalente assunto è pari a DN 100 mm. La particolare conformazione delle autocisterne di questo tipo (suddivisione in 5, 6, 7, o più taniche separate da setti), consente di ipotizzare, cautelativamente, la rottura di due taniche (nel caso in cui il foro sia posizionato proprio all'altezza del setto divisorio), per un totale di circa 10 t di prodotto rilasciato. Il liquido viene supposto spandersi occupando tutta la carreggiata della strada (circa 12 m nel caso di una autostrada) per una lunghezza che è funzione dello spessore minimo raggiungibile dalla pozza (dipendente dalla rugosità e

conformazione del terreno). Ipotizzando uno spessore medio di circa 2 cm, la pozza si estende per circa 50 m in lunghezza.

Gli scenari conseguenti sono due: l'incendio della pozza (pool-fire) dopo un certo periodo di tempo, sufficiente a che la cisterna si svuoti, oppure incendio quasi immediato della pozza con "flame-engulfment" della cisterna e successivo scoppio per sovrappressione (senza BLEVE).

Le distanze di danno per entrambe le ipotesi sono riportate nella tabella che segue:

Caso 2) - Benzina

Fenomeno fisico	Soglia 1 (elevata probabilità di letalità)	Soglia 2 (danni gravi a popolazione sana)
Sovrapressione per scoppio atb	n.r. (5 m)	20 m
Incendio da pozza [F/2]	16 m	40 m
Incendio da pozza [D/5]	18 m	38 m

n.r.=non raggiunto

CASO 3a): Rilascio da autobotte (caso 4a) o ferrocisterna (caso 4b) di liquido tossico.

Caso 3a: rilascio da autobotte di Oleum 22 (H₂SO₄ 105%)

Si ipotizza una rottura sulla cisterna con DN equivalente pari a 25 mm. La portata di efflusso risulta di poco superiore ai 3 kg/s, mediata nell'arco di mezz'ora circa, tempo trascorso il quale si ipotizza l'intervento degli operatori o comunque una riduzione sostanziale della perdita o un confinamento della pozza evaporante.

In mezz'ora fuoriescono circa 10 t di prodotto, che spandendosi sul terreno possono formare una pozza estesa per circa 150 m². Sulla base della tensione di vapore dell'oleum 22, la portata di evaporazione da pozza risulta di 0,013 kg/s nella configurazione F/2 e di 0,026 kg/s nella configurazione D/5; tali dati, congiuntamente ai termini sorgente (altezza e larghezza iniziali della nube di gas che evapora) vengono utilizzati nel modello di dispersione HeGaDAS (adatto alla simulazione della

dispersione di gas/vapori pesanti rilasciati da pozza), che fornisce le distanze di danno di seguito riportate:

Caso 3a) - Oleum

Fenomeno fisico	Soglia 1 (elevata probabilità di letalità)	Soglia 2 (danni gravi a popolazione sana)
Dispersione tossici [F/2]	adiacenze pozza (150 m ²)	335 m
Dispersione tossici [D/5]	adiacenze pozza (150 m ²)	130 m

Caso 3b): Rilascio da autobotte di ammoniaca

Si ipotizza una rottura sulla cisterna con DN equivalente pari a 5 mm. La portata di efflusso risulta pari circa a 0.3 kg/s, della durata di mezz'ora circa.

La fuoriuscita totale è circa di 0,5 t di prodotto, che spandendosi sul terreno formano una pozza di limitata estensione. A causa della bassa tensione di vapore dell'ammoniaca, la portata di evaporazione risulta di 0,23 kg/s, cioè quasi pari alla fuoriuscita di liquido; tali dati, congiuntamente ai termini sorgente (altezza e larghezza iniziali della nube di gas che evapora) vengono utilizzati nel modello di dispersione Denz&Crunch (adatto alla simulazione della dispersione di gas/vapori pesanti rilasciati con flash), che fornisce le distanze di danno di seguito riportate:

Fenomeno fisico	Soglia 1 (elevata probabilità di letalità)	Soglia 2 (danni gravi a popolazione sana)
Dispersione tossici [F/2]	8 m	150 m
Dispersione tossici [D/5]	7 m	50 m

2.3.8. Magnitudo: sintesi dei risultati

Utilizzando appositi modelli matematici di calcolo è stata valutata la dimensione delle zone che possono essere interessate dalla presenza di concentrazioni superiori alle soglie predefinite di danno, in caso di incidente ragionevolmente ipotizzabile nelle fasi di trasporto di sostanze pericolose su strada nella provincia di Venezia.

Tali zone che, in genere, sono rappresentate in pianta con un'ellisse o un cono o (a favore della sicurezza) con un cerchio, la cui origine è posta sulla sorgente, sono riferite alle condizioni meteorologiche standardizzate F/2 e D/5.

I valori finali variano anche sensibilmente in base al tipo di scenario considerato: le distanze di danno maggiori associabili agli scenari analizzati sono riassunte nella seguente tabella:

Caso	Mezzo e sostanza coinvolti	1^a SOGLIA (letalità elevata)	2^a SOGLIA (danni gravi)
1a	autobotte 50 m³ gas infiammabili (rif. GPL)	75/82 m	150 m
1b	botticella 25 m³ gas infiammabili (rif. GPL)	60/78 m	125 m
2	autobotte liquidi infiammabili (rif. benzina)	18 m	40 m
3a	autobotte liquidi tossici (rif. oleum)	a.p.	335 m
3b	autobotte liquidi tossici (rif. ammoniaca)	8 m	150 m

a.p. = adiacenze pozza

3. APPLICAZIONE DEL MODELLO

3.1. *Raccolta dei dati in ingresso*

3.1.1. **Trasporti di merci pericolose**

I dati relativi alle sostanze pericolose trasportate su strada sono stati ottenuti in parte consultando banche dati di altri Enti, in parte raccolti con interviste ai responsabili delle aziende.

Il lavoro ha coinvolto solamente alcune tipologie di aziende tra tutte quelle interessate dal trasporto di merci in regime ADR; la scelta è stata fatta in base a considerazioni su quantità e pericolosità delle sostanze movimentate nonché sull'accessibilità delle informazioni relative, individuando infine le seguenti categorie:

- Industrie soggette a D.Lgs.334/99 (a rischio di incidente rilevante)
- Depositi di carburanti
- Distributori di carburanti

Tale elenco presenta indubbiamente notevoli lacune; in particolare, tenendo presente le realtà produttive della provincia di Venezia, non considera le vetrerie e calzaturifici che sono notevoli centri di ricezione di sostanze pericolose.

La raccolta di dati relativi a queste aziende, spesso di piccole dimensioni e di livello artigianale, avrebbe però richiesto un notevole impegno di risorse; tenendo inoltre presente che tali realtà movimentano una grande varietà di sostanze in quantitativi piuttosto piccoli il loro contributo, in termini di pericolo per la popolazione e l'ambiente, alla valutazione generale dei rischi sarebbe molto ridotto e pertanto ragionevolmente trascurabile.

Il set di informazioni da includere nel censimento è stato definito sulla base del modello teorico di analisi del rischio che verrà descritto in seguito; in prima battuta si è provveduto a definire puntualmente il formato dei dati richiesti, in seguito si è creata la struttura del database relazionale destinato ad accoglierli ed organizzarli.

Si è optato per una struttura ad albero su 3 livelli gerarchici:

- **Aziende e sedi:** dati anagrafici dell'azienda e delle sedi operative
- **Sostanze:** tipi di sostanze e movimentato annuo in entrata ed uscita
- **Trasporti:** provenienza e destinazione delle varie sostanze, modalità e frequenza di trasporto

Essa permette di associare ad ogni singola azienda tutti i record relativi alle sostanze movimentate ed a ognuna di queste i relativi tragitti abituali di trasporto.

Le sostanze sono state classificate secondo il numero ONU che funge da link con i trasporti; alle aziende è stato richiesto di specificare, per ogni sostanza trattata, il movimentato annuo in entrata ed in uscita nonché le modalità di trasporto preferenziali tra le seguenti categorie:

- Autobotte
- Tank-container
- Autoarticolato
- Colli
- Rinfusa

I record relativi ai trasporti contengono invece informazioni quali provenienza, destinazione ed, eventualmente, località intermedia di transito del tragitto abitualmente seguito dalla sostanza; per ognuno di questi si specificano tipo di trasporto e frequenza media (settimanale, mensile o annuale).

3.1.2. Grafo stradale

Parallelamente alla banca dati alfanumerica dei dati relativi ai trasporti si è costruito un applicativo in ambiente GIS mediante il quale è possibile visualizzare i tragitti percorsi sul grafo delle strade della Provincia ed, eventualmente, eseguire analisi spaziali sulla base delle informazioni raccolte.

Ai fini della costruzione del software è stato necessario creare una base dati georeferenziata; in primo luogo si è definita la rete stradale utilizzando il grafo della Provincia di Venezia: i tematismi considerati sono relativi alle Autostrade, alle Strade Statali, alle Strade Provinciali ed alle arterie di collegamento.

In connessione al grafo è stato costruito il tematismo dei centri urbani, coincidente con i Comuni, posizionati sempre al termine di una tratta stradale; essi fungono da punto di partenza e di arrivo per i trasporti delle aziende situate all'interno del territorio comunale. Il risultato è rappresentato in Tav.1.

3.2. Preparazione dei dati

3.2.1. Sostanze

Il modello teorico di analisi del rischio è stato applicato per step successivi di preparazione dei dati e, successivamente, di calcolo degli indici.

In prima battuta è stata analizzata la tabella relativa alle sostanze; innanzitutto è stato eseguito un controllo sull'esattezza dei numeri ONU; successivamente i record della tabella sono stati classificati assegnando a ciascuno, sulla base del numero ONU, la classe ADR di appartenenza:

NR. Kemler	Tipologia di pericolo
2	Gas non altrimenti specificati
2F	Gas infiammabili compressi
2TC	Gas liquefatti tossici e corrosivi
3	Liquidi infiammabili
4	Solidi infiammabili o tossici
5	Sostanza ossidante tossica o corrosiva
6	Liquido tossico o molto tossico (infiammabile o corrosivo)
8	Liquido corrosivo e tossico
9	Sostanze pericolose varie (ad es. per l'ambiente)
X	Sostanza molto corrosiva e/o tossica che reagisce con l'acqua

Tab. 3.2.1.1

I risultati di questa analisi preliminare sono riassunti in questa tabella:

Classe sostanza	Movimentato	%
2	79322 tonnellate/anno	0,7375
2F	307532 tonnellate/anno	2,8592
2TC	129 tonnellate/anno	0,0012
3	9184469 tonnellate/anno	85,3897
4	8428 tonnellate/anno	0,0784
5	22821 tonnellate/anno	0,2122
6	244111 tonnellate/anno	2,2695
8	836892 tonnellate/anno	7,7807
9	47222 tonnellate/anno	0,4390
X	25025 tonnellate/anno	0,2327

Tab. 3.2.1.2

È opportuno fare alcune considerazioni:

- Il movimentato annuo di carburanti liquidi (classe 3) è nettamente preponderante, di 2 ordini di grandezza, rispetto a tutte le altre sostanze; è necessario premettere che la grande quantità movimentata di questo tipo di sostanze, cui si associa una pericolosità medio-bassa, influirà pesantemente nell'analisi del rischio poiché la frequenza attesa è proporzionalmente diretta al numero di trasporti all'anno cioè al movimentato. È probabile quindi che questa classe “copra” l'influenza delle altre, di cui fanno parte sostanze molto più pericolose; per ovviare al problema verranno eseguiti anche calcoli della frequenza attesa per le singole classi.
- Il movimento annuo relativo ai gas tossici (classe 2TC), se rapportato al movimento totale, è molto esiguo, pari a 129 t/a; è da sottolineare comunque che l'utilizzo e la produzione di tali sostanze da parte delle aziende della Zona Industriale di Porto Marghera è molto più elevato. Tale squilibrio deriva dal fatto che l'ADR proibisce il trasporto su gomma di molte sostanze gassose tossiche o corrosive, per cui questo tipo di trasporti a Marghera viene solitamente eseguito via ferrovia.
- Poiché alcune sostanze sono commerciate all'interno della provincia, per i trasporti interessati si ha una sovrastima dei transiti dovuta al fatto che i movimentati annui sono considerati sia in uscita da un'azienda che in entrata da un'altra. D'altronde in questo modo la valutazione risulta cautelativa ed è quindi accettabile per gli scopi dello studio.

3.2.2. Trasporti

La tabella relativa ai trasporti è stata compilata in modo tale da contrassegnare tutti i trasporti la cui provenienza o destinazione è esterna alla provincia di Venezia, con una località intermedia posizionata in corrispondenza degli ingressi in provincia delle strade principali:

A27 NORD

A28 EST

A4 EST

A4 OVEST

SP32 Miranese

SS11 OVEST

SS13 NORD

SS14 EST

SS245 NORD

SS309 SUD

SS515

SS516 SUD

SS53 EST

In seguito i trasporti sono stati raggruppati in modo tale da creare un elenco di tutti i percorsi seguiti; in pratica, sono stati isolati 204 percorsi univoci a fronte di 4514 trasporti in totale.

I percorsi individuati sono stati poi georeferenziati su GIS individuando con una procedura automatica guidata dall'operatore i tragitti di collegamento tra le località di provenienza e destinazione seguendo i criteri del percorso più corto e fissando una gerarchia di utilizzo per i vari tipi di strada (1. Autostrada, 2. S.Statale, 3. S.Provinciale).

Al termine della procedura viene creato un tematismo GIS denominato "Percorsi" che costituisce la base dati per l'analisi successiva.

3.3. Risultati

L'analisi finale prevede il collegamento tra la tabella del movimentato annuo e quella dei trasporti; infine l'importazione della tabella generale nell'applicativo GIS per l'esecuzione dei calcoli finali e la creazione delle mappe tematiche.

Il primo passo è stato il calcolo del numero di transiti annui: è stata innanzitutto individuata la capacità media dei mezzi utilizzati nelle modalità di trasporto definite nella scheda di censimento compilata dalle aziende:

	2F [t]	2/2TC [t]	3 [t]	4 [t]	5/6/8/9 [t]	X [t]
Autobotte	15	30	24	24	24	25
Tank-container	6	6	6	15	15	12
Autoarticolato	3	3	3	2	3	-
Colli	-	-	15	15	15	15
Rinfusa	15	30	24	24	24	25

Tab. 3.3.1

In base ai valori fissati (espressi in t) si è calcolato il numero di trasporti annui effettuati da ogni azienda per ciascuna sostanza movimentata; con una procedura di calcolo i record sono poi stati raggruppati in base a classe di sostanza e località di partenza ed arrivo.

A questo punto si era giunti al completamento del tematismo GIS “Percorsi”: a ciascun oggetto grafico rappresentante un percorso era associato il numero totale annuo, diviso per classe ADR, di veicoli che trasportano sostanze pericolose.

Affinché il lavoro risultasse completo era necessario compiere un ulteriore passo: sommare i contributi dei vari percorsi che si sovrapponevano sulle singole tratte stradali in comune.

Con questo tipo di procedimento, infatti, ci si limita ad individuare il numero massimo di transiti per ogni singola tratta del grafo stradale; per ottenere una stima della situazione attuale il più possibile aderente al vero, invece, è indispensabile ottenere la somma dei transiti, quindi il numero totale di trasporti di sostanze pericolose all’anno.

A tal fine è stata predisposta una procedura di calcolo che, in ambiente GIS, fosse in grado di eseguire l’analisi spaziale necessaria al trasferimento dei dati da un tematismo (“Percorsi”) ad un altro (“Strade”).

L’ultima fase dello studio è consistita nel calcolo delle frequenze attese per ogni tratta del grafo stradale, anch’essa eseguita in ambiente GIS con procedura automatizzata, utilizzando l’equazione riportata al paragrafo 2.2.

4. ANALISI DEI RISULTATI

I risultati dell’applicazione del modello, rappresentati nelle tavole allegate, permettono di fare alcune valutazioni significative sulla situazione attuale del trasporto di sostanze pericolose e sui possibili sviluppi dell’attività pianificatoria da esso influenzata.

È doveroso innanzitutto effettuare alcune considerazioni sul metodo adottato per conseguire questi risultati:

- A causa della sinteticità dei dati relativi ai trasporti forniti dalle aziende non è stato possibile individuare i reali percorsi seguiti dalle sostanze; è stato quindi adottato il criterio che appariva più credibile: si è supposto che gli autisti seguissero sempre il tragitto più breve preferendo percorrere nell’ordine autostrade, strade statali ed, infine, strade provinciali. Chiaramente questa scelta fornisce, in alcuni casi, una rappresentazione errata della situazione reale e, nell’analisi spaziale, dà luogo ad un margine di errore significativo; poiché la realtà non può, ragionevolmente, discostarsi molto dall’ipotesi adottata i risultati possono comunque ritenersi attendibili.
- Ancora a causa del formato di raccolta dei dati sui trasporti (provenienza e destinazione all’interno della Provincia) vengono a mancare tutte le informazioni relative ai transiti di attraversamento del territorio provinciale.
- La precisione dello studio è ulteriormente inficiata dalle particolarità della rete stradale veneziana: in particolar modo dalla presenza della tangenziale di Mestre che catalizza un gran numero di mezzi pesanti svolgendo una funzione di “collo di bottiglia” per la viabilità

anche a breve termine (anche per percorsi brevi i mezzi sono praticamente obbligati a percorrerla).

Passando all'analisi delle mappe tematiche, emergono alcuni aspetti che meritano di essere sottolineati:

- **Tavole Generali** : si nota che i transiti e, di conseguenza, le frequenze attese di incidente hanno una elevata diffusione sul territorio provinciale; si distingue, però, una parte della rete stradale caratterizzata da frequenza attesa di incidente decisamente più alta: essa è costituita dal tratto autostradale e dalla tangenziale e dalle Strade Statali disposte a raggiera a partire dalla Zona Industriale di Porto Marghera verso l'esterno della Provincia.
- **Classe 2 (gas compressi refrigerati n.a.s.)**: la distribuzione dei transiti è differenziata in due zone: il tratto autostradale in uscita da Porto Marghera verso est e la zona ovest della Provincia; in particolare la prima è la direttrice di uscita di gas tecnici (ossigeno, azoto) da Marghera, la seconda di ingresso da Padova a Mira.
- **Classe 2F (gas infiammabili)**: la distribuzione dei transiti è abbastanza omogenea, in ragione della presenza di molti depositi di medio-piccole dimensioni; è altresì distinguibile un'alta quantità di transiti lungo le Statali della zona Ovest della Provincia.
- **Classe 2TC (gas tossici)**: le sole tratte interessate sono l'autostrada A4 fino a Porto Marghera e il percorso che giunge a Pramaggiore dove è situata un'azienda che commercia gas tossico in bombola;
- **Classe 3 (liquidi infiammabili)**: le considerazioni fatte in precedenza sulla preponderanza dei quantitativi relativi a questa classe trovano pieno riscontro in queste mappe: i valori sono generalmente alti e la distribuzione dei percorsi, seppure insista maggiormente sulle arterie radiali della Provincia, è molto ampia. Di conseguenza, anche la frequenza attesa di incidente ad essi collegata è molto alta ma la limitata pericolosità delle sostanze coinvolte deve indurre a mitigare l'influenza di questa classe nelle valutazioni pianificatorie.
- **Classe 4 (Solidi infiammabili)**: i percorsi interessano quasi esclusivamente i tratti autostradali e l'ingresso a Porto Marghera; le sostanze trasportate sono prevalentemente scorie di alluminio in uscita e ferro-silicio in ingresso;
- **Classe 5 (Sostanze ossidanti)**: risulta evidente l'importanza del trasporto su gomma di prodotti ossidanti sul percorso A4 ovest-Mira; tali prodotti sono utilizzati nella produzione di detersivi e detergenti;
- **Classe 6 (sostanze tossiche)**: è evidente come il trasporto di queste sostanze riguardi percorsi di medio-lungo raggio, infatti le tratte interessate sono le autostrade e la statale "Romea" in

uscita da Porto Marghera; le sostanze trasportate in maggior quantità sono acetone, cianidrina, Toluene, Diisocianato, solventi e rifiuti tossici.

- **Classe 8 (sostanze corrosive):** tali sostanze hanno una discreta diffusione sul territorio, interessando anche la rete viaria secondaria; le sostanze trasportate in maggior quantità sono il Policloruro di alluminio (PAC), l'idrossido di sodio e alcuni tipi di acidi (acetico, nitrico, cloridrico,...) perlopiù in autobotte;
- **Classe 9 (sostanze pericolose varie):** questa classe comprende quasi esclusivamente le sostanze pericolose per l'ambiente non altrimenti specificate, i percorsi seguiti sono quelli autostradali da e per Porto Marghera, oltre che alcuni percorsi secondari in uscita dall'autostrada verso alcuni stabilimenti industriali;
- **Classe 8 (sostanze molto corrosive):** in pratica riguarda solamente il trasporto di Acido Solforico fumante (oleum) dal Nord Ovest Italia a Porto Marghera, i transiti sono circa 2000 all'anno ed interessano solo l'autostrada A4 ma è importante considerarli perché l'oleum è una sostanza molto pericolosa.

5. BIBLIOGRAFIA

Riferimenti normativi:

- D.M. 15/5/1996 (*Criteria di analisi e valutazione dei rapporti di sicurezza relativi ai depositi di gas e petrolio liquefatto*).
- A.D.R.: Accord European Relatif Au Transport International Des Merchandises Dangereuses Par Route, accordo europeo relativo al trasporto internazionale di merci pericolose

Linee guida studi e rapporti:

- Bertelle A. Haasstrup P., Trasporto di merci pericolose (Cineas CCr, Il Sole 24 Ore Libri), 1996
- Studi sul rischio ARIPAR-1992
- Linee Guida per la pianificazione di emergenza esterna per impianti industriali a rischio di incidente rilevante (Presidenza del Consiglio dei Ministri - Roma, 18/1/1994)
- ISPESL - dipia, Rapporto Rijnmond
- Battelle-Institut e.v., AIChE, TNO, F.P. Lees - Loss Prevention in the Process Industries
- Norme API RP521, Report SRD-HSE
- "Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis" American Institute of Chemical Engineers – Center for Chemical Process Safety 1989 (ISBN 0-8169-0402-2).
- "Methods for the Determination of the Possible Damage to Humans and Goods by the Release of Hazardous Materials" (Green Book TNO), Dutch Ministry of Housing, Physical Planning and Environment, The Hague 1990.
- "Pocket guide to chemical hazards" - National Institute for Occupational Safety and Health – USA.

Modelli di calcolo:

- "Loss Prevention in the Process Industries - Vol 1÷3" - Frank P. Lees – 2nd Edition 1996;
- "A comparison of the risk of the bulk transport of chlorine by road or rail in the United Kingdom" - ICI Mond Division 1974;
- "Banca dati ARTES" - Chemical Engineering 1979;
- "Risk Analysis of Six Potentially Hazardous Industrial Objects in the Rijnmond Area, A Pilot Study. Report to Public Authority" - D. Reidel Editor (1982), Rapporto Rijnmond;
- "Pocket Guide to Chemical Hazards" - National Institute for Occupational Safety and Health - USA (NIOSH publications: Mail stop C-13, 4676 Columbia Parkway, Cincinnati - Ohio 45226-1998);

- “Guidelines for Use of Vapor Cloud Dispersion Models” CCPS - AIChE (Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers) 1987;
- TNO “Methods for the Determination of the Possible Damage to Humans and Goods by the Release of Hazardous Materials” (Green Book), Dutch Ministry of Housing, Physical Planning and Environment, The Hague 1990;
- “A New Method for the Calculation of the Plume Path of Gases Emitted by a Stack” G. Ooms (1972);
- “The Plume Path of Vent Gases Heavier than Air” - G. Ooms, A.P. Mathieu, F. Zelis - e - “On the Spreading of a Heavy Gas Released Near the Ground” - A.P. van Ulden - Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries - Elsevier Ed. (1974);
- “Atmospheric Dispersion of Heavy Gases Emitted at or near Ground Level” - P.H.M. Te Riele - Loss Prevention and Safety Promotion in the Process Industries (1977);
- “Workbook of Test Cases for Vapor Cloud Source Dispersion Models” CCPS - AIChE (Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers) 1989;



**Provincia
di Venezia**

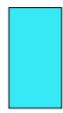
Assessorato
alla

Protezione Civile

**Rischio da trasporto
di merci pericolose**

TAV: 1
Grafo stradale

Legenda



Laguna



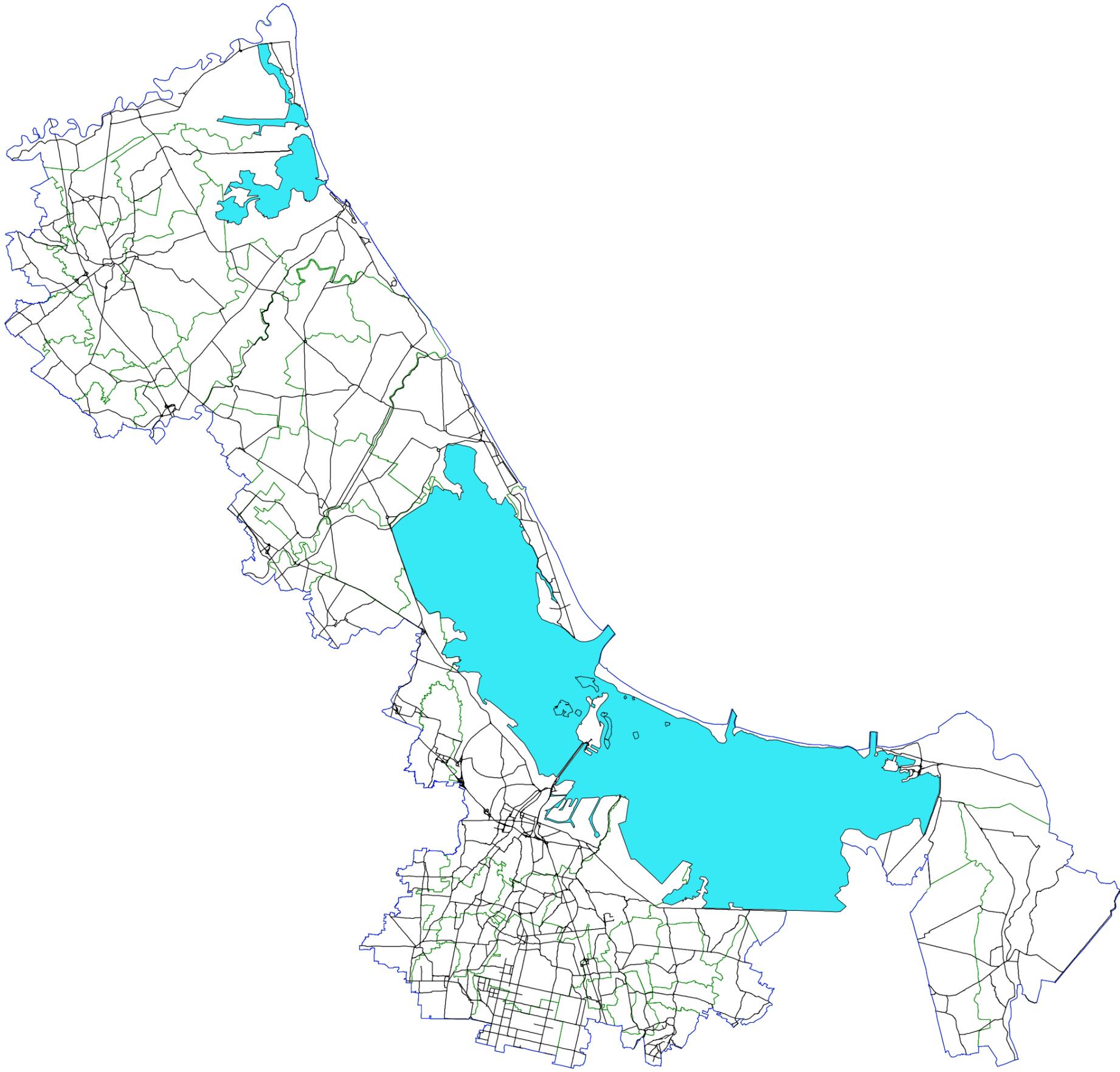
Rete stradale



Provincia



Comuni



4000 0 4000 8000 Metri





**Provincia
di Venezia**

Assessorato
alla
Protezione Civile

Rischio da trasporto di merci pericolose

TAV. 2

Transiti medi annui
Tavola globale

Legenda



Laguna



Rete stradale



Provincia



Comuni

Transiti (veic/anno)



1 - 14820



14821 - 59010



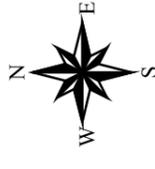
59011 - 134006



134007 - 493547



493548 - 1343171



4000 0 4000 8000 Metri





**Provincia
di Venezia**
Assessorato
alla
Protezione Civile

Rischio da trasporto di merci pericolose

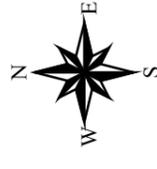
TAV. 3
Frequenza attesa
di incidente

Legenda

- Laguna
- Rete stradale
- Provincia
- Comuni

Frequenza attesa (inc/anno)

- 0.000001 - 0.000572
- 0.000572 - 0.002356
- 0.002356 - 0.010896
- 0.010896 - 0.02423
- 0.02423 - 0.064404



4000 0 4000 8000 Metri



Rischio da trasporto di merci pericolose

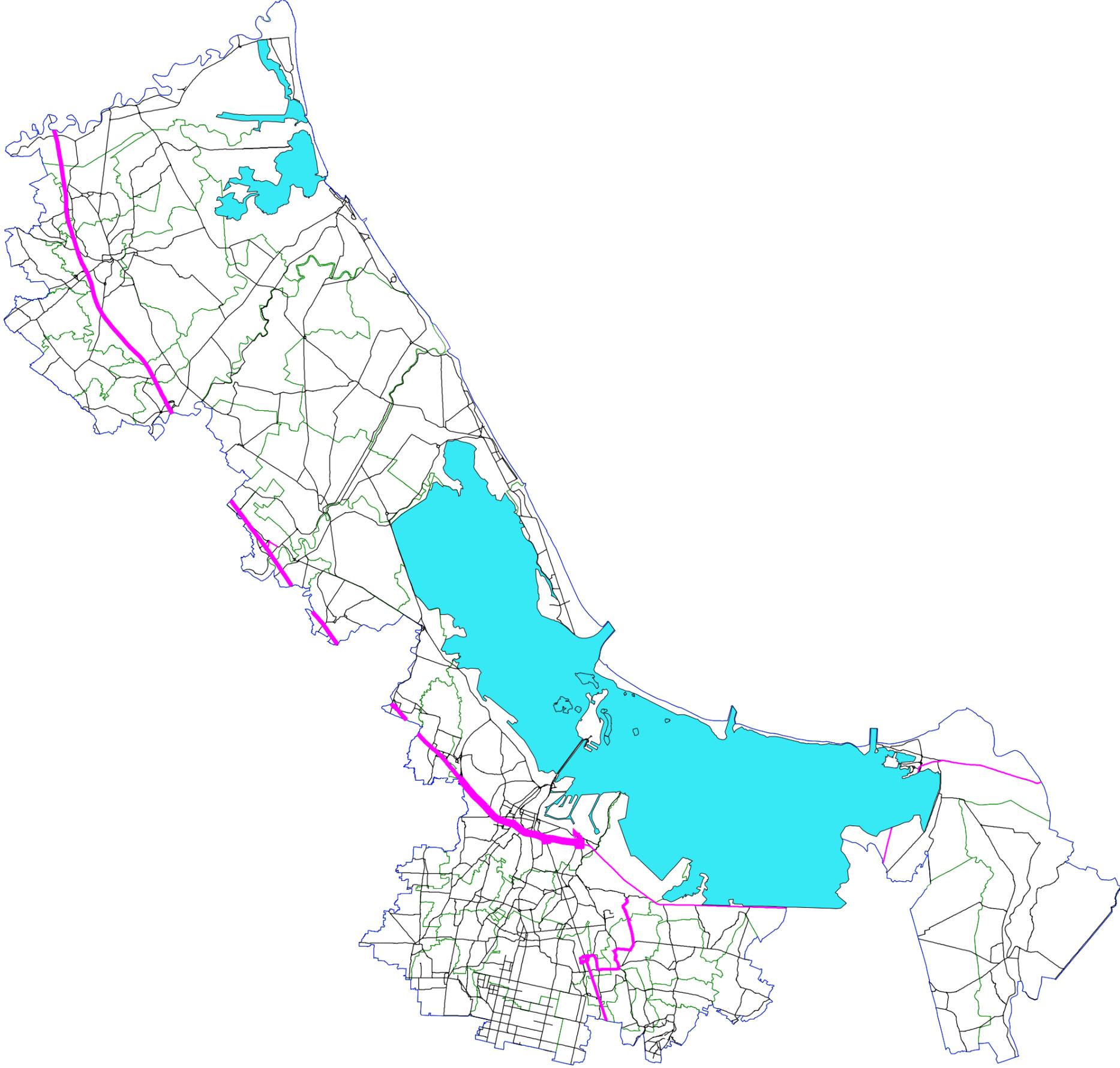
TAV. 4
Transiti medi annui cl. 2
Gas
non altrimenti specificati

Legenda

-  Laguna
 -  Rete stradale
 -  Provincia
 -  Comuni
- Transiti cl. 2 (veic/anno)**
-  1 - 108
 -  109 - 1612
 -  1613 - 10164
 -  10165 - 10272
 -  10273 - 13111



4000 0 4000 8000 Metri





**Provincia
di Venezia**

Assessorato

alla

Protezione Civile

Rischio da trasporto di merci pericolose

TAV. 5

Transiti medi annui cl. 2F
Gas infiammabili compressi

Legenda



Laguna



Rete stradale



Provincia

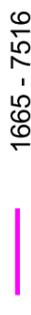


Comuni

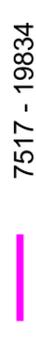
Transiti cl. 2F (veic/anno)



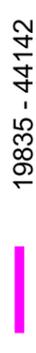
1 - 1664



1665 - 7516



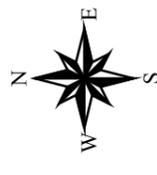
7517 - 19834



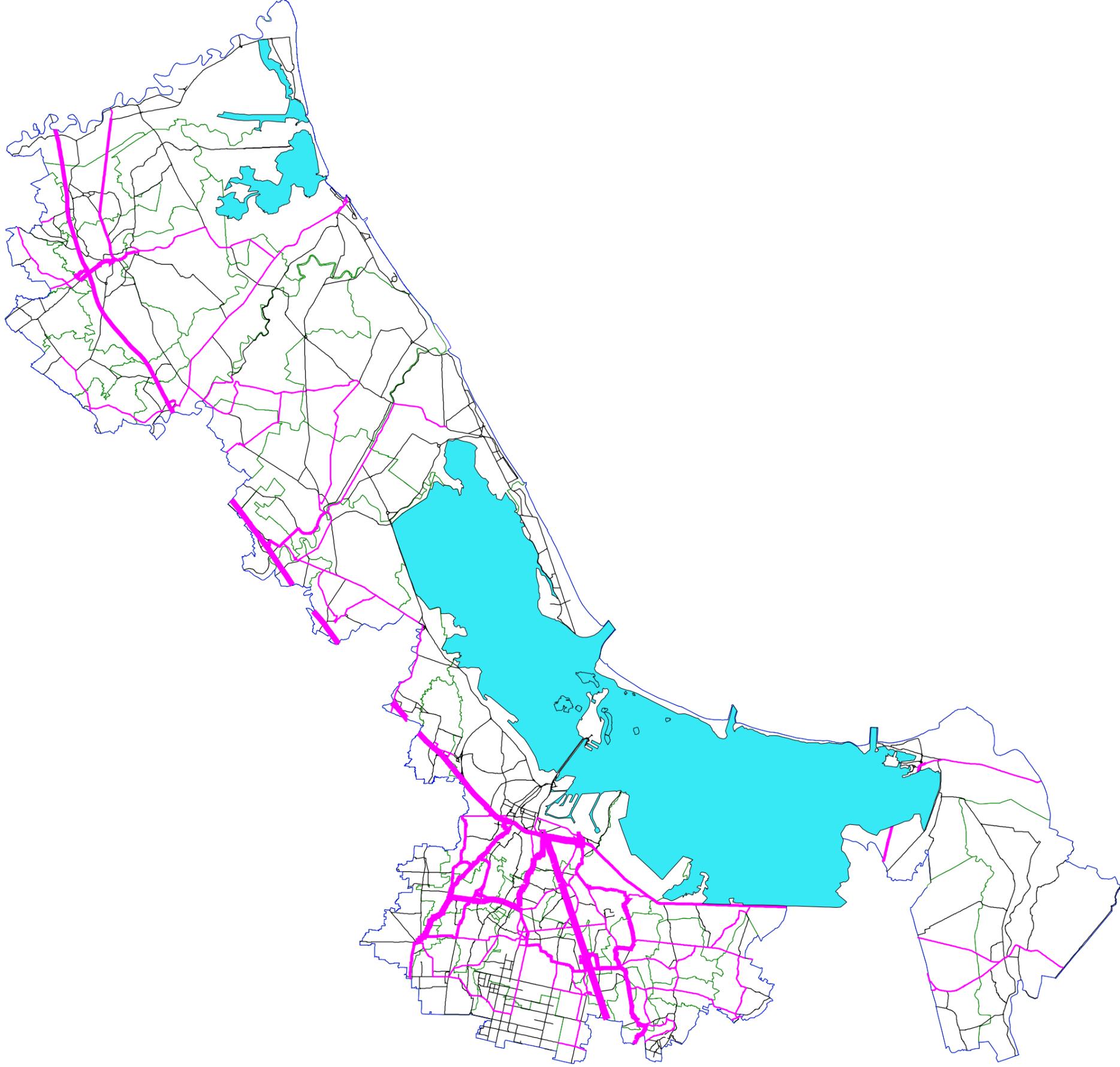
19835 - 44142



44143 - 82276



4000 0 4000 8000 Metri





**Provincia
di Venezia**

Assessorato
alla
Protezione Civile

Rischio da trasporto di merci pericolose

TAV. 6

Transiti medi annui Cl. 2TC
Gas liquefatti
tossici e corrosivi

Legenda



Laguna



Rete stradale



Provincia



Comuni

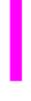
Transiti cl. 2TC (veic/anno)



1 - 16



17 - 24



25 - 40



4000 0 4000 8000 Metri

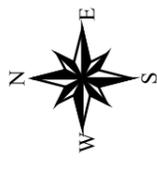


Rischio da trasporto di merci pericolose

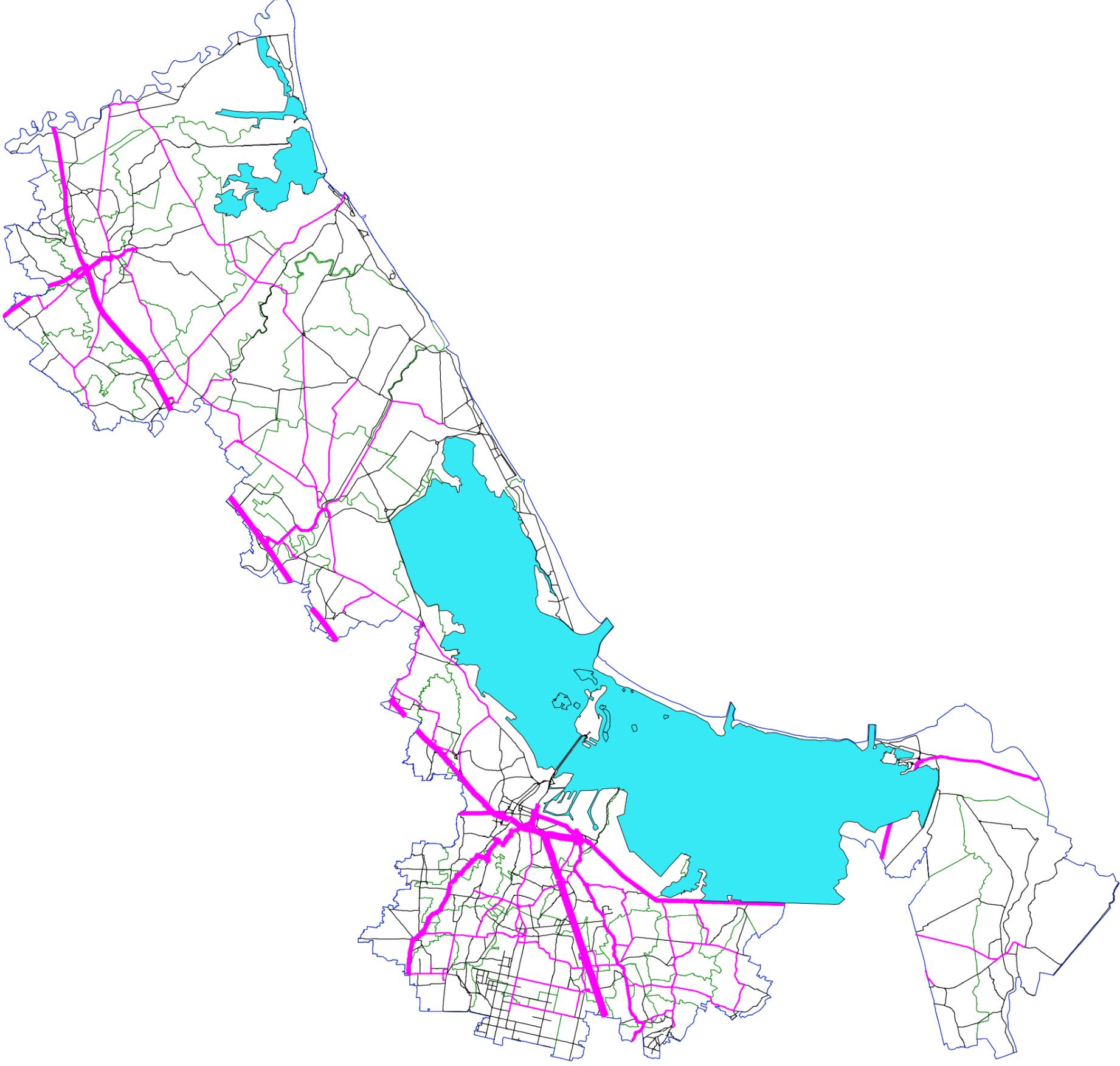
TAV. 7
Transiti medi annui Cl. 3
Liquidi infiammabili

Legenda

-  Laguna
-  Rete stradale
-  Provincia
-  Comuni
- Transiti cl. 3 (veic./anno)**
-  1 - 4336
-  4337 - 19492
-  19493 - 114660
-  114661 - 321870
-  321871 - 912122



4000 0 4000 8000 Metri



**Provincia
di Venezia**

Assessorato

alla

Protezione Civile

Rischio da trasporto di merci pericolose

TAV. 8

Transiti medi annui Cl. 4
Solidi infiammabili o tossici

Legenda



Laguna



Rete stradale



Provincia



Comuni

Transiti cl. 4 (veic./anno)

1 - 126



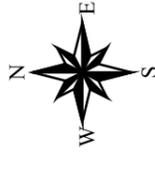
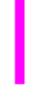
127 - 156



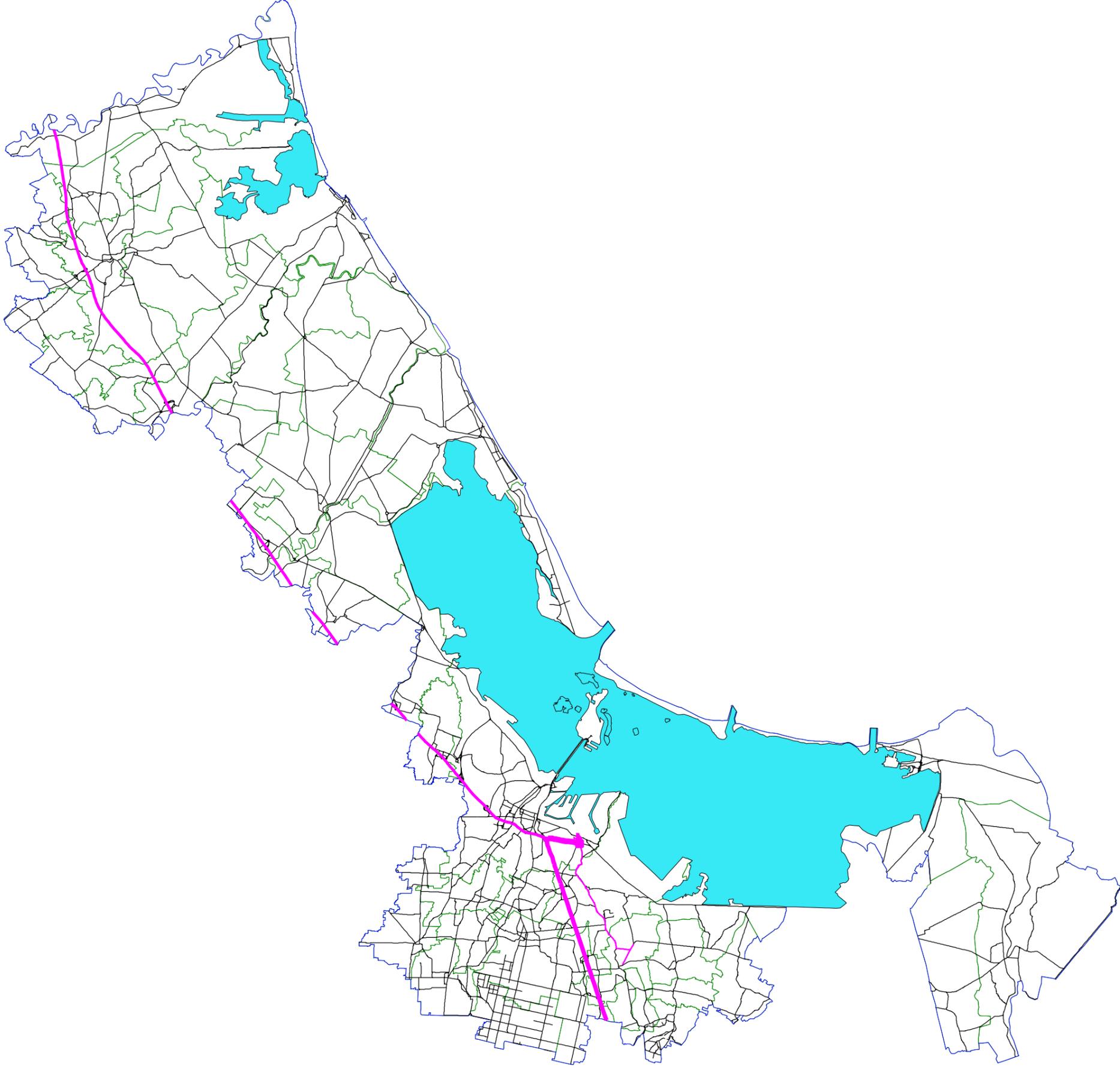
157 - 1994



1995 - 2276



4000 0 4000 8000 Metri

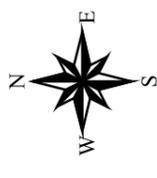


Rischio da trasporto di merci pericolose

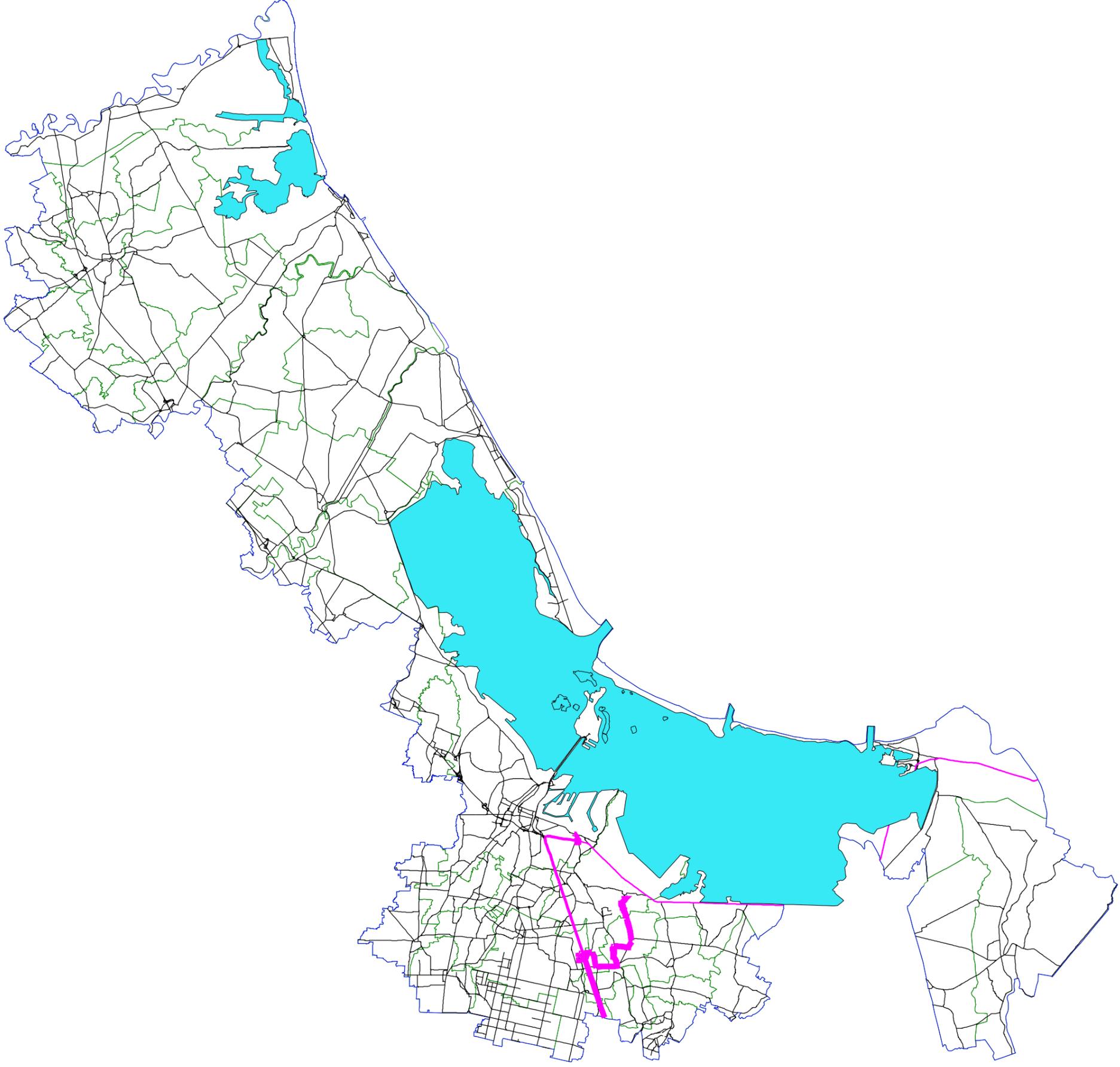
TAV. 9
Transiti medi annui Cl. 5
Sostanza ossidante
tossica o corrosiva

Legenda

-  Laguna
-  Rete stradale
-  Provincia
-  Comuni
- Transiti cl. 5 (veic./anno)
 -  1 - 4
 -  5 - 742
 -  743 - 746
 -  747 - 3390



4000 0 4000 8000 Metri





**Provincia
di Venezia**

Assessorato

alla

Protezione Civile

Rischio da trasporto di merci pericolose

TAV. 10

Transiti medi annui Cl. 6

Liquido tossico

o molto tossico

(infiammabile o corrosivo)

Legenda



Laguna



Rete stradale



Provincia



Comuni

Transiti cl. 6 (veic./anno)



1 - 88



89 - 946



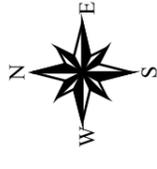
947 - 2666



2667 - 50988



50989 - 54500



4000 0 4000 8000 Metri





**Provincia
di Venezia**

Assessorato
alla
Protezione Civile

Rischio da trasporto di merci pericolose

TAV. 11

Transiti medi annui Cl. 8
Liquido corrosivo e tossico

Legenda



Laguna



Rete stradale



Provincia

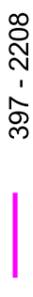


Comuni

Transiti cl. 8 (veic./anno)



1 - 396



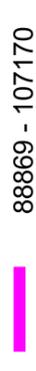
397 - 2208



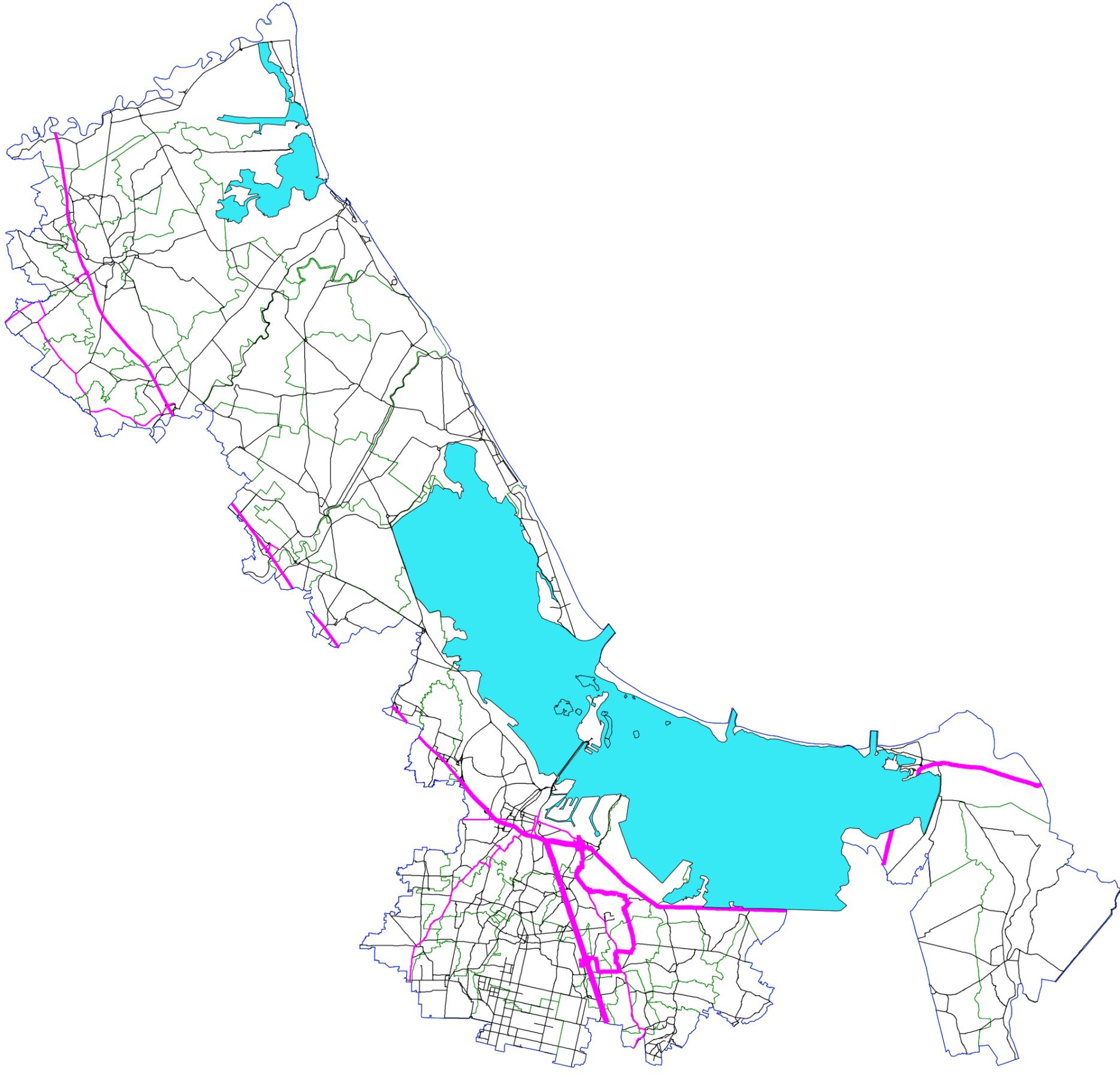
2209 - 21546



21547 - 88868



88869 - 107170



4000 0 4000 8000 Metri





**Provincia
di Venezia**

Assessorato

alla

Protezione Civile

Rischio da trasporto di merci pericolose

TAV. 12

Transiti medi annui Cl. 9
Sostanze pericolose varie

Legenda



Laguna



Rete stradale



Provincia



Comuni

Transiti cl. 9 (veic./anno)

1 - 3720



3721 - 62734



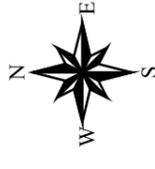
62735 - 65956



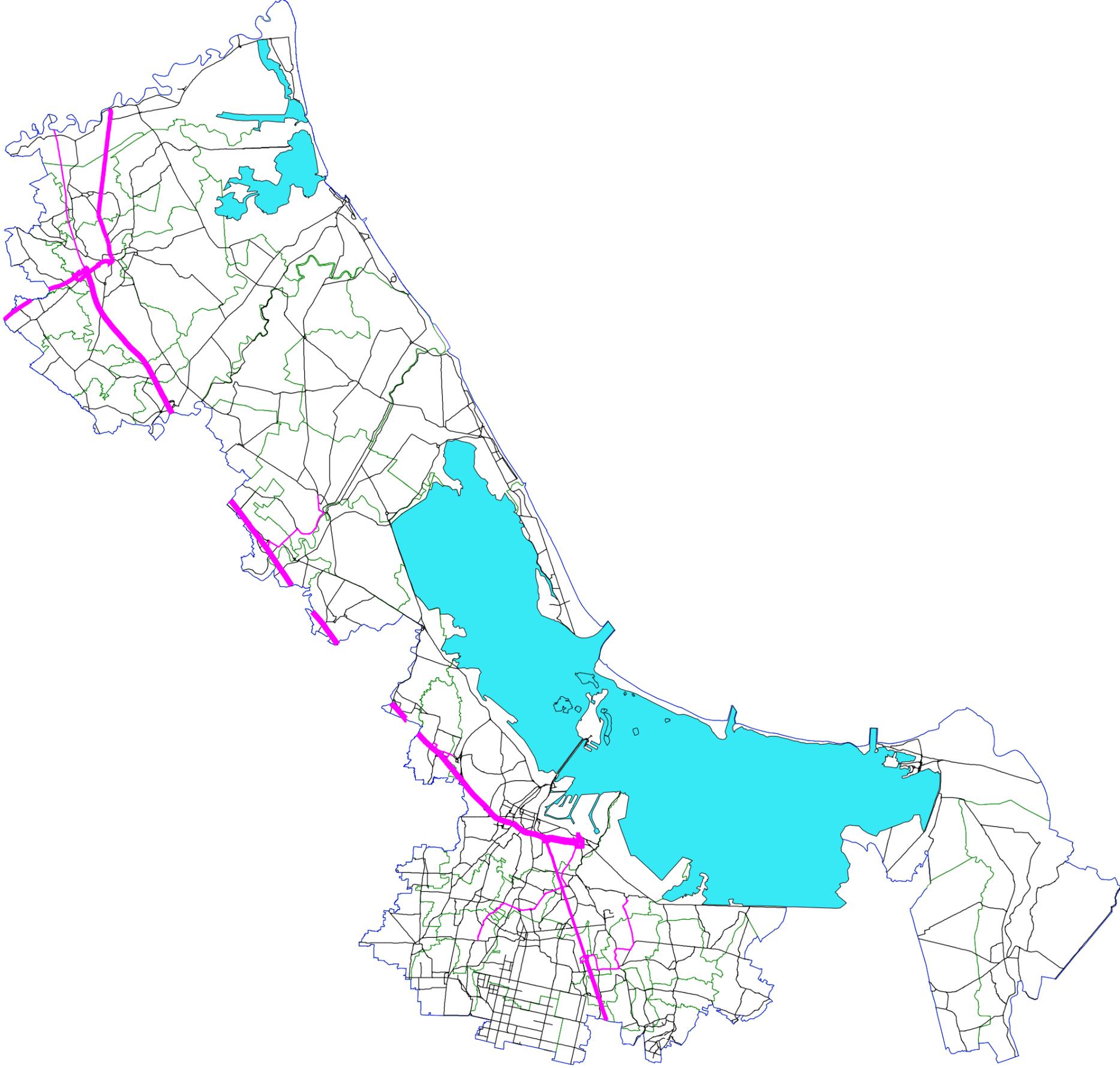
65957 - 129102



129103 - 191484



4000 0 4000 8000 Metri



Rischio da trasporto di merci pericolose

TAV. 13
Transiti medi annui Cl. X
Sostanza molto corrosiva
e/o tossica
che reagisce con l'acqua

Legenda

Transiti cl. X (veic./anno)

1 - 2085

Laguna

Rete stradale

Provincia

Comuni



4000 0 4000 8000 Metri

