



The project is co-funded by the European Union, Instrument for Pre-Accession Assistance.

Modello matematico e simulazioni per la valutazione di alternative di collegamento per il rispetto del decreto “anti inchini”

Autori: E. Canestrelli, M. Corazza, G. De Nadai, R. Pesenti - Università Ca' Foscari Venezia
Partner: Autorità Portuale di Venezia
Venezia, Febbraio-Marzo 2013



Sommario

Sommario	1
Introduzione	2
1 I dati e le modalità di organizzazione delle informazioni	4
2 Gestione, schedulazione e sviluppo di un prototipo ICT per il servizio degli arrivi e delle partenze delle navi	29
3 Le alternative per raggiungere Marittima	43
4 Sintesi dei risultati	63
5 Bibliografia	64

Introduzione

Nell'ottica di rispettare i vincoli imposti dal decreto "anti inchini" del dicembre 2012 che vieta il transito per il bacino S. Marco per le navi di stazza superiore alle 40.000 t, l'Autorità Portuale di Venezia ha intrapreso una serie di studi per verificare le possibili alternative.

Evidenziata l'impossibilità per ragioni fisiche e di spostare la stazione passeggeri nelle aree di Porto Marghera, l'analisi si è concentrata sulla possibilità di raggiungere l'attuale stazione Marittima attraverso la bocca di porto di Malamocco, ovvero tramite la realizzazione di un nuovo canale di collegamento tra il canale Malamocco-Marghera e la stazione Marittima.

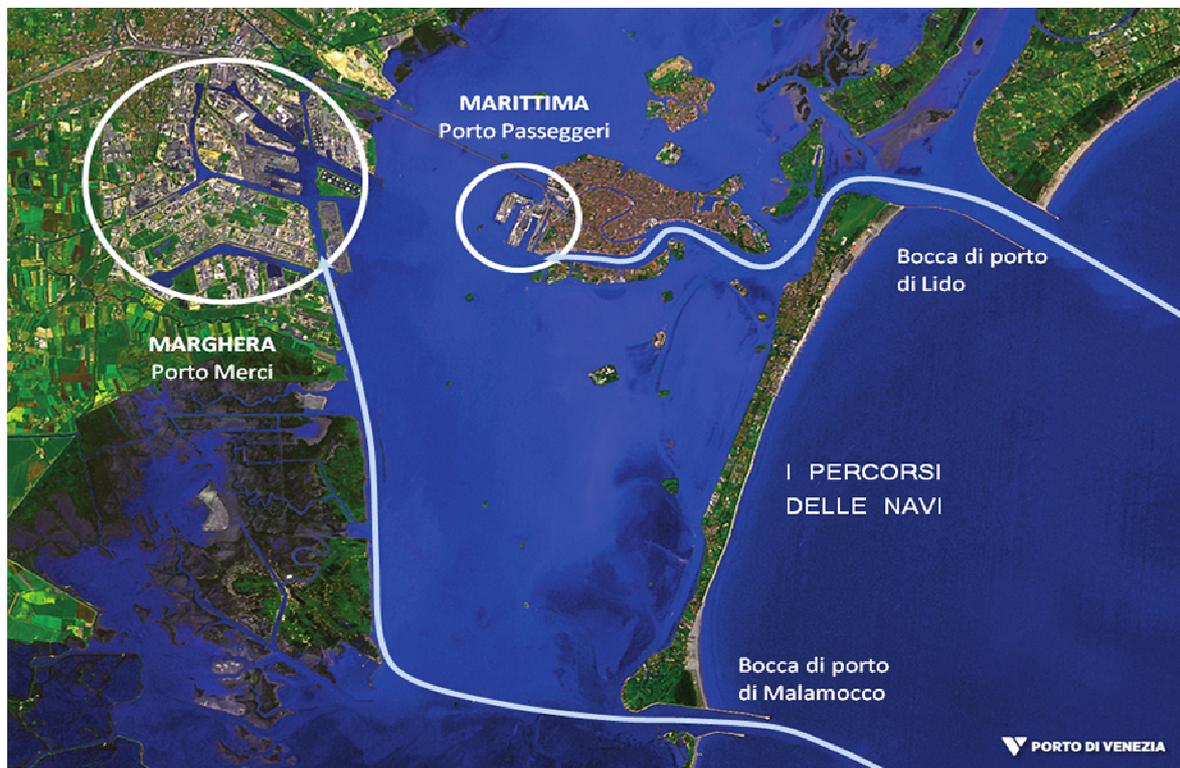


Figura 1: Attuali percorsi delle navi.

Per dar corso a tale proposito progettuale l'Autorità Portuale di Venezia ha preso in considerazione diverse soluzioni tecniche di collegamento (canale Vittorio Emanuele, canale Trezze, canale Contorta Sant'Angelo) e le ha confrontate sotto l'aspetto infrastrutturale, idraulico e della gestione del traffico marittimo al fine di evidenziare la miglior soluzione.

Nel contesto descritto sopra, il presente studio, redatto dai Proff. Elio Canestrelli, Marco Corazza, Giuseppe De Nadai e Raffaele Pesenti dell'Università Ca' Foscari Venezia, mira a valutare le soluzioni tecniche di collegamento preselezionate dall'Autorità Portuale di Venezia rispetto all'impatto del traffico marittimo. Per raggiungere tale scopo è stato creato un modello



matematico in grado di simulare le diverse alternative e calcolare in termini di congestione e ritardi le diverse ricadute sul traffico stesso.

Il presente documento descrive dapprima il modello utilizzato e riporta poi i risultati delle simulazioni effettuate. La soluzione ritenuta più idonea, da un punto di vista del traffico, sempre tra le soluzioni tecniche preselezionate dall'Autorità Portuale di Venezia, è quella lungo il canale Contorta Sant'Angelo, in quanto comporta una limitata sovrapposizione dei flussi passeggeri con i flussi commerciali.

Nota Bene: In ognuna delle sezioni di questo documento, la numerazione delle figure e delle tabelle inizia sempre con il numero 1.



1 I dati e le modalità di organizzazione delle informazioni

In questa sezione presentiamo:

- Il pacchetto software originale per l'analisi dei dati *Automatic Identification System* (indicati nel seguito con AIS) che è stato sviluppato per: individuare i percorsi spazio-temporali di ogni nave presente nel porto; misurare i tempi e le velocità di percorrenza relative a questi percorsi spazio-temporali; effettuare analisi sul traffico e sull'uso delle risorse scarse “rimorchiatori”;
- Il database originale che è stato implementato al fine di raccogliere e gestire i vari dati necessari per alimentare il prototipo ICT sviluppato per la schedulazione / simulazione del traffico navale nella zona del porto medesimo. A titolo di esempio, tra questi dati ricordiamo quelli relativi a: la struttura fisica del porto di Venezia; le richieste di movimenti delle navi; le caratteristiche fisiche delle navi e dei rimorchiatori; le ordinanze della Capitaneria di Porto; le condizioni meteo-marine. Prima dell'implementazione di questo database, le varie tipologie di dati erano gestite da Attori diversi senza, o con minimo, coordinamento tra di loro.

ANALISI DEI DATI AIS - Identificazione dei percorsi spazio-temporali

I dati AIS sono stati forniti in formato testo dalla compagnia di servizi portuali Nethun S.p.A. per conto dell'Autorità Portuale di Venezia. I dati non erano particolarmente omogenei. Quindi non erano direttamente utilizzabili ai fini dell'analisi. Ad esempio, di seguito si riporta una parte di uno di questi file è dato (il seguente esempio e quelli successivi si riferiscono al traffico del 30 Luglio 2011):

```
MMSI;LG;LT;SOG;COG;ETA;DEST;IMO;CALLSIGN;NAME_SHIP;SHIP_TYPE;LENGTH_SHIP;WIDTH;DRAUGHT;NAV_STATUS;TIMESTAMP_SHIP;ANTENNA
247146000;18.152883;40.686617;151;1420;522590;PIREO;9030864;ICSP;SPES;70;178;27;75;0;30/07/2011 00.00.12;1
247257700;12.993607;44.494798;0;1692;494016;OFF SHORE
GUENDALINA;8015831;IBJE;BUCCANEER;94;73;14;44;1;30/07/2011 00.02.31;1
247268900;12.254750;45.062233;0;2020;399872;GBS TERMINAL;9557939;IIPR2;MELANIE
B;52;40;10;25;0;30/07/2011 00.02.41;1
247004800;12.262233;45.467395;0;0;;0;ILTB;TITANUS;52;30;8;0;0;30/07/2011 00.02.54;1
248210000;13.760900;44.122950;118;1200;520320;CLARA N;8206985;9HA2248;BRODOSPAS
MOON;52;67;15;54;0;30/07/2011 00.02.55;1
247525000;12.715400;44.171367;0;510;519232;RIG KEY MANHATTAN;8100791;IVAQ;ASSO
DICIOTTO;52;65;14;52;0;30/07/2011 00.02.58;1
238201000;13.979608;43.850770;146;450;520414;ZADAR;9021485;9A9766;ZADAR;60;116;19;48;0;30/07/2011 00.02.58;1
247229400;13.502770;43.618203;0;2405;0;0;IZNQ;AD3;90;59;20;0;5;30/07/2011 00.03.23;1
```



```
247469000;12.262542;45.468077;1;1829;;;9170341;IFXZ;LOURDES C;52;32;12;0;0;30/07/2011
00.03.32;1
239806000;18.995853;40.412430;276;3102;520896;ANCONA;9216030;SYOA;HELLENIC
SPIRIT;60;204;26;65;0;30/07/2011 00.03.45;1
```

...

Pertanto, il pacchetto software è stato ideato in maniera tale da consentire, oltre le analisi di interesse dei dati AIS, anche la generazione di file omogenei e strutturati a partire da dati di tipo AIS. Il software è stato sviluppato e implementato utilizzando GAUSS-Versione 3.2.38.

In questa prima fase il software genera più file di output, tutti in formato testo. Nel seguito si descrive ognuno di questi file.

Il primo file che viene generato, «ais.txt», è la versione omogenea e strutturata del file fornito dalla compagnia di servizi portuali Nethun S.p.A.. Questo file è articolato in dodici colonne che nell'ordine riportano:

- il Maritime Mobile Service Identity (indicato nel seguito con MMSI) dell'imbarcazione considerata;
- la longitudine dell'imbarcazione al momento della rilevazione;
- la latitudine dell'imbarcazione al momento della rilevazione;
- la *Speed On Ground* dell'imbarcazione al momento della rilevazione;
- la *Cap On Ground* o *Course On Ground* dell'imbarcazione al momento della rilevazione;
- lo status dell'imbarcazione al momento della rilevazione;
- l'anno della rilevazione;
- il mese della rilevazione;
- il giorno della rilevazione;
- l'ora della rilevazione;
- il minuto della rilevazione;
- il secondo della rilevazione.

Ad esempio, di seguito si riporta una parte di questo file:

```
319451000 13.885000 44.808833 0 2460 1 2011 07 30 00 00 00
247300800 12.260000 44.457667 1 3560 15 2011 07 30 00 00 00
247107600 12.868350 44.573933 0 270 1 2011 07 30 00 00 00
247099500 12.271332 44.485430 0 2519 0 2011 07 30 00 00 00
247219100 12.876353 44.570552 0 2909 3 2011 07 30 00 00 00
215757000 12.738333 44.189333 0 1650 0 2011 07 30 00 00 01
356019000 13.018587 44.501150 0 3244 3 2011 07 30 00 00 01
247280800 13.198437 44.053237 0 2257 0 2011 07 30 00 00 01
247265900 12.263933 45.203383 0 480 0 2011 07 30 00 02 05
247242200 12.243500 44.438833 1 2232 5 2011 07 30 00 02 06
```

...

A partire da questo primo file, per ogni imbarcazione in esso presente viene prodotto un nuovo file, omogeneo e strutturato, contenente i dati relativi a tutte le rilevazioni relative a questa stessa imbarcazione. Ognuno dei file così prodotti è articolato nelle stesse dodici colonne in cui

è articolato il file «ais.txt». Il suo identificatore è dato da «[codice MMSI dell'imbarcazione considerata]_small», la sua estensione è «txt».

Ad esempio, di seguito si riporta una parte di uno di questi file:

```

203927000 12.310782 45.431207    0 2090  5 2011 07 30 00 10 43
203927000 12.310775 45.431187    0 2740  5 2011 07 30 00 19 31
203927000 12.310770 45.431195    0 3280  5 2011 07 30 00 22 42
203927000 12.310722 45.431193    0 2680  5 2011 07 30 00 25 29
203927000 12.310783 45.431200    0 3350  5 2011 07 30 00 49 33
203927000 12.310767 45.431205    0 3060  5 2011 07 30 00 52 42
203927000 12.310757 45.431205    0 3520  5 2011 07 30 00 55 32
203927000 12.310755 45.431200    0 1830  5 2011 07 30 01 07 29
203927000 12.310763 45.431202    0 2020  5 2011 07 30 01 10 40
203927000 12.310767 45.431213    0  380  5 2011 07 30 01 22 40

```

...

Nella figura 1 si utilizzano le rilevazioni spazio-temporali relative al rimorchiatore Marina M.C. (codice MMSI 247408000) per produrre una rappresentazione grafica della sua rotta nel porto di Venezia durante il 30 Luglio 2011. Si noti che:

- i segmenti rosa rappresentano opportune sezioni di riferimento all'interno della zona del porto della Marittima;
- i segmenti gialli rappresentano opportune sezioni di riferimento all'interno della zona del porto di Mrghera;
- la curva verde rappresenta la rotta del rimorchiatore.

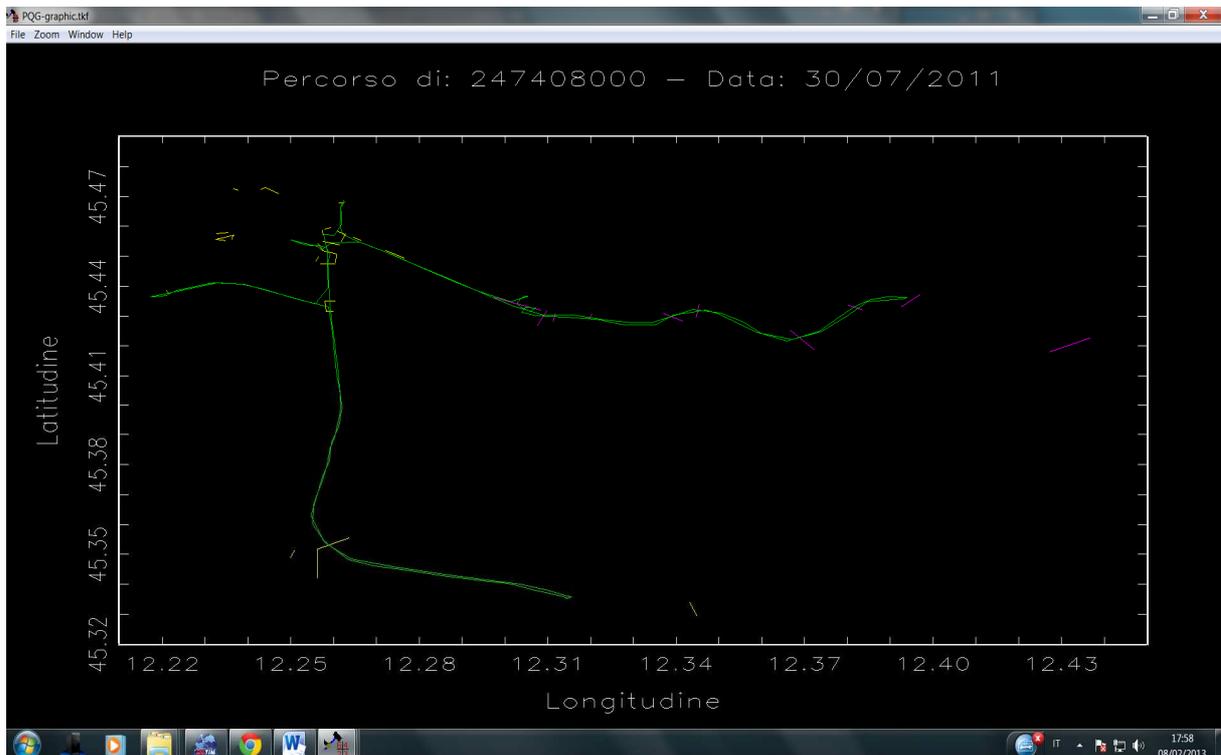


Figura 1: Rotta del rimorchiatore Marina M.C..

Nella tabella che segue, con riferimento ad ogni sezione di riferimento si riporta: 1) un semplice identificatore ispirato alla toponomastica italiana del luogo in cui viene posta la sezione di riferimento; 2) un codice mediante il quale la sezione è gestita dal software, dal database e dal prototipo ICT; 3) le coordinate in termini di latitudine e longitudine di entrambi gli estremi del segmento che rappresenta la sezione.

Identificatore	Codice	Longitudine e latitudine del primo estremo	Longitudine e latitudine del secondo estremo
Marittima	BDM01	12.308373, 45.432024	12.297443, 45.436262
Pre-Marittima	BEM01	12.309832, 45.431739	12.307442, 45.426574
S.ta Marta	VESMT	12.311748, 45.430906	12.311349, 45.428002
S. Basilio	VESBS	12.320377, 45.430574	12.319377, 45.428453
Punta della Salute	VESAL	12.337107, 45.430954	12.341696, 45.428326
Bacino S. Marco	BSM01	12.345340, 45.433825	12.344706, 45.429491
S.t'Elena	VESEL	12.366711, 45.425246	12.372269, 45.418633
S. Nicolò (O)	VENIC1	12.380269, 45.433760	12.383554, 45.432056
S. Nicolò (E)	VENIC2	12.396949, 45.437293	12.392600, 45.432914
Bocca di porto Lido	BOCCL	12.436671, 45.422708	12.427155, 45.417871
Canale industriale N (O, prima di FINA2)	PFIN2	12.244124, 45.472937	12.242846, 45.472292
Canale industriale N (O, prima di FINA1)	PFIN1	12.244124, 45.472937	12.247270, 45.470981
Canale industriale N (E)	BE1NW	12.259282, 45.459642	12.257829, 45.458881
Canale industriale Brentella (S)	BE1NN	12.260805, 45.458360	12.262792, 45.457346
Canale industriale Brentella (N, prima di ormeggio rimorchiatori)	TUG00	12.261233, 45.467746	12.262373, 45.467707
IROM2M e IROM3M (S)	DARI	12.264636, 45.456276	12.266496, 45.455287
Bacino di evoluzione 1 (E)	BE1EE	12.262854, 45.457401	12.261703, 45.454789
ESSO3M, IP1M, IP2M, IP3M, IPESSOM (S)	DARP	12.272235, 45.451996	12.276678, 45.449275
Canale con A1, A2, ... (E)	BE1WW	12.257441, 45.458619	12.257493, 45.457000
Bacino di evoluzione 1/2 (N/S)	BE2NN	12.257481, 45.455030	12.261570, 45.453645
Canale con A12, A13, ... (E)	BE2WW	12.256359, 45.454183	12.257527, 45.451980
Bacino di evoluzione 2/3 (N/S)	BE3NN	12.257423, 45.451925	12.260735, 45.450674
Canale industriale O (E)	BEWNW	12.236785, 45.456975	12.232580, 45.455723
Canale industriale O (O)/Bacino di evoluzione	BEWEE	12.236329, 45.455743	12.236465, 45.457159
Canale industriale O (S)/Bacino di evoluzione	NOUT	12.232731, 45.457516	12.235518, 45.458042
Canale industriale O (N, prima di	DARW	12.236682, 45.472392	12.237881, 45.472004

darsena)			
Da bacino di evoluzione a ME02W, ME03W, ... (inizio)	BEWSW	12.232580, 45.455723	12.234828, 45.455278
Da bacino di evoluzione 3 a canale industriale O	BE3WW	12.256525, 45.449830	12.255750, 45.448242
Da bacino di evoluzione 3 a canale delle Tresse	BE3EE	12.260706, 45.450646	12.260462, 45.447679
Bacino di evoluzione 3 (S)	BE3SS	12.256861, 45.447566	12.260515, 45.447566
Canale Malamocco-Marghera da bacino di evoluzione 4	BE4NN	12.258017, 45.435075	12.260588, 45.435147
Da bacino di evoluzione 4 a canale industriale S	BE4WW	12.258017, 45.435075	12.258337, 45.431550
Bacino di evoluzione 4 (S)	BE4SS	12.258254, 45.431543	12.260088, 45.431543
Da canale industriale S a darsena	DARS	12.220968, 45.438685	12.221836, 45.437305
Canale Malamocco-Marghera (inizio)	BESNN	12.263509, 45.355350	12.256183, 45.351701
Canale S. Leonardo (inizio)	BESWW	12.256183, 45.351701	12.256183, 45.341955
Bocca di porto di S. Leonardo	DARL	12.250845, 45.351158	12.249789, 45.348746
Bocca di porto Pellestrina	BOCCM	12.343118, 45.333900	12.344907, 45.329274

Tabella 1: Informazioni e dati relativi alle sezioni.

ANALISI DEI DATI AIS - Tempi di percorrenza e velocità di percorrenza

Una volta che il percorso spazio-temporale di ogni nave è stato definito, il software rileva, sempre per ogni nave, i sottopercorsi. Con il termine “sottopercorso” si intende la porzione del percorso spazio-temporale inizialmente identificato in cui due rilevazioni successive sono abbastanza vicine nel tempo. Per esemplificare, due rilevazioni successive sono considerate appartenenti allo stesso sottopercorso se la loro distanza nel tempo è minore od uguale ad una prefissata soglia. In particolare, per ogni sottopercorso il software permette di calcolare:

- la distanza percorsa espressa in miglia nautiche internazionali;
- il tempo di percorrenza espresso in ore.

I risultati così ottenuti sono memorizzati in nuovi file omogenei e strutturati, uno per ogni nave, i cui identificatori sono «[MMSI code] _plus.txt». Ognuno di questi file si articola in diciannove colonne. Le prime dodici sono le stesse presenti in «ais.txt»; le ultime sette riportano:

- un simbolo, rispettivamente “?” o “*” o “#”; se questo simbolo è uguale a “?” allora sta ad indicare che la nave non sta navigando, invece se il simbolo è diverso da “?” ed è uguale al simbolo associato alla precedente rilevazione allora sta ad indicare che entrambe le rilevazioni appartengono allo stesso sottopercorso;
- la distanza parziale - calcolata utilizzando una prima procedura numerica - percorsa dall'imbarcazione considerata nell'intervallo di tempo intercorso tra il momento della rilevazione attuale ed il momento della rilevazione immediatamente precedente se entrambe le rilevazioni risultano appartenenti allo stesso sottopercorso;

- la distanza totale - calcolata utilizzando una prima procedura numerica - percorsa dall'imbarcazione dall'inizio del sottopercorso in essere;
- il tempo di percorrenza relativo alla precedente distanza totale;
- la distanza parziale - calcolata utilizzando una seconda procedura numerica - percorsa dall'imbarcazione considerata nell'intervallo di tempo intercorso tra il momento della rilevazione attuale ed il momento della rilevazione immediatamente precedente se entrambe le rilevazioni risultano appartenenti allo stesso sottopercorso;
- la distanza totale - calcolata utilizzando una seconda procedura numerica - percorsa dall'imbarcazione dall'inizio del sottopercorso in essere;
- il tempo di percorrenza relativo alla precedente distanza totale.

Ad esempio, di seguito si riporta una parte di uno di questi file (in quest'esempio si considera che due rilevazioni successive appartengano allo stesso sottopercorso se la loro distanza temporale è minore od uguale a 15 minuti):

```

238110140 12.354800 45.428283 75 3149 0 2011 07 30 10 44 38 * 0.221139 18.174602
0.221139 18.174602 6.579 16.781
238110140 12.345800 45.432150 57 2836 0 2011 07 30 10 48 57 * 0.444807 18.619410
0.444807 18.619410 6.183 16.121
238110140 12.342750 45.431567 61 2400 0 2011 07 30 10 50 28 * 0.133238 18.752648
0.133238 18.752648 5.271 15.888
238110140 12.332533 45.427433 74 2565 0 2011 07 30 10 54 38 * 0.497107 19.249755
0.497107 19.249755 7.158 15.403
238110140 12.326817 45.428283 64 2958 0 2011 07 30 10 56 49 * 0.246291 19.496046
0.246291 19.496046 6.768 15.159
238110140 12.320183 45.429967 45 2861 0 2011 07 30 10 59 49 * 0.297361 19.793407
0.297361 19.793407 5.947 14.814
238110140 12.319917 45.430517 0 3148 0 2011 07 30 11 02 27 * 0.034885 19.828292
0.034885 19.828292 0.795 14.368
238110140 12.319967 45.430533 0 1558 0 2011 07 30 11 06 48 * 0.002316 19.830608
0.002316 19.830609 0.032 13.653
238110140 12.319967 45.430567 0 457 5 2011 07 30 11 09 57 ? 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.000 0.000
238110140 12.319983 45.430567 0 950 5 2011 07 30 11 10 57 ? 0.000000 0.000000
0.000000 0.000000 0.000 0.000

```

...

Oltre a questi sottopercorsi, il software è anche in grado di individuare un'altra tipologia di sottocammini per ogni nave, che chiamiamo sottorotte. Con il termine sottorotta intendiamo la parte del percorso spazio-temporale compreso tra due sezioni di riferimento (i segmenti rosa e gialli nella figura 1). Per ogni sottorotta, il software permette di calcolare:

- la distanza percorsa espressa in miglia nautiche internazionali;
- il tempo di percorrenza espresso in ore;
- la velocità media espressa in miglia nautiche internazionali/ora.

In particolare, date le sezioni di riferimento specificate nel porto di Venezia (si veda la figura 1), la nave investigata può percorrere una o più sottorotte dei seguenti tipi:



- attraversamento di due sezioni di riferimento consecutive;
- doppio attraversamento della stessa sezione di riferimento.

L'identificatore del file contenente i risultati così ottenuti relativi ad una data nave è «speedglobal_ [MMSI code].txt». Questo file si articola nelle seguenti nove colonne:

- il codice che identifica la prima sezione di riferimento;
- il codice che identifica la seconda sezione di riferimento;
- l'anno, il mese ed il giorno in cui viene attraversata la prima sezione di riferimento;
- l'ora il minuto ed il secondo in cui viene attraversata la prima sezione di riferimento;
- l'anno, il mese ed il giorno in cui viene attraversata la seconda sezione di riferimento;
- l'ora il minuto ed il secondo in cui viene attraversata la seconda sezione di riferimento;
- la distanza totale percorsa dalla nave dall'inizio della sottorotta;
- il tempo di percorrenza relativo alla precedente distanza totale percorsa;
- la velocità media della nave dall'inizio della sottorotta considerata.

Ad esempio, di seguito si riporta una parte di uno di questi file:

```
DARI;BE1EE;2011/07/30;08:44:22;2011/07/30;08:57:09;0.075;00:12:46;0.353
DARI;BE1EE;2011/07/30;08:44:22;2011/07/30;08:57:09;0.075;00:12:46;0.353
BE1EE;BE2NN;2011/07/30;08:57:09;2011/07/30;09:00:48;0.166;00:03:39;2.735
BE1EE;BE2NN;2011/07/30;08:57:09;2011/07/30;09:00:48;0.166;00:03:39;2.735
BE2NN;BE3NN;2011/07/30;09:00:48;2011/07/30;09:00:48;0.000;00:00:00;0.000
BE2NN;BE3NN;2011/07/30;09:00:48;2011/07/30;09:00:48;0.000;00:00:00;0.000
BE3NN;BE3SS;2011/07/30;09:00:48;2011/07/30;09:03:57;0.245;00:03:08;4.671
BE3NN;BE3SS;2011/07/30;09:00:48;2011/07/30;09:03:57;0.245;00:03:08;4.671
BE3SS;BE4NN;2011/07/30;09:03:57;2011/07/30;09:12:57;0.882;00:09:00;5.883
BE3SS;BE4NN;2011/07/30;09:03:57;2011/07/30;09:12:57;0.882;00:09:00;5.883
```

...

ANALISI DEI DATI AIS - Analisi sul traffico e sull'utilizzo della risorsa scarsa "rimorchiatori"

Al fine di effettuare analisi sul traffico e sull'uso della risorsa scarsa "rimorchiatori", e quindi di rilevare eventuali criticità, il software sviluppato permette di effettuare misurazioni sui seguenti aspetti:

- la vicinanza tra le navi;
- l'utilizzo da parte delle navi della risorsa scarsa "rimorchiatori".

Per quanto riguarda la vicinanza, per ogni nave viene generato un file omogeneo e strutturato. Questo file contiene informazioni relative alle navi che, nel periodo di riferimento, sono passate vicino alla nave considerata. In questo contesto una nave è considerata vicina a quella considerata se le loro rispettive rilevazioni sono vicine nello spazio e nel tempo. L'identificatore di questo file è «[MMSI code] _close.txt».

Le informazioni riportate in ognuno di questi file si articolano in un paio di righe. La prima riga riporta:

- il codice MMSI della nave investigata;
- la longitudine della nave investigata all'istante della rilevazione;
- la latitudine della nave investigata all'istante della rilevazione;
- lo *Speed On Ground* della nave investigata all'istante della rilevazione;
- lo *Cap On Ground* o *Course On Ground* della nave investigata all'istante della rilevazione;
- lo status della nave investigata all'istante della rilevazione;
- l'anno della rilevazione della nave investigata;
- il mese della rilevazione della nave investigata;
- il giorno della rilevazione della nave investigata;
- l'ora della rilevazione della nave investigata;
- il minuto della rilevazione della nave investigata;
- il secondo della rilevazione della nave investigata.

La seconda riga riporta le stesse informazioni riportate nella prima riga ma con riferimento alla nave che è passata vicino a quella investigata.

Ad esempio, di seguito si riporta una parte del file relativo alla nave avente codice MMSI 239593000 (in quest'esempio si considera che due navi siano vicine se la loro distanza nello spazio è minore o uguale ad 1/4 di miglia nautiche internazionali e se la loro distanza nel tempo è minore o uguale a 5 minuti):

```

239593000 12.417880 45.427930 102 3039 0 2011 07 30 07 12 56
247301200 12.421547 45.428355 17 1450 15 2011 07 30 07 09 47

239593000 12.417880 45.427930 102 3039 0 2011 07 30 07 12 56
247301200 12.422758 45.427430 11 1390 15 2011 07 30 07 12 28

239593000 12.417880 45.427930 102 3039 0 2011 07 30 07 12 56
247301200 12.423255 45.427097 6 1340 15 2011 07 30 07 14 36

239593000 12.396803 45.435008 107 2885 0 2011 07 30 07 18 46
247469000 12.397885 45.434183 14 957 0 2011 07 30 07 15 52

239593000 12.396803 45.435008 107 2885 0 2011 07 30 07 18 46
247469000 12.401795 45.433643 56 863 0 2011 07 30 07 18 32

```

...

Per quanto riguarda l'utilizzo da parte delle navi della risorsa scarsa "rimorchiatori", per ogni nave viene generato un file omogeneo e strutturato. Questo file contiene informazioni relative ai rimorchiatori che, nel periodo di riferimento, sono passati vicini alla nave analizzata. Anche in questo contesto un rimorchiatore è considerato vicino alla nave considerata se le loro rilevazioni sono vicine sia nel tempo sia nello spazio. L'identificatore di questo file è «[MMSI code] _tug.txt».

Le informazioni riportate in ognuno di questi file si articolano in un paio di righe. La prima riga riporta:

- il codice MMSI del rimorchiatore che è passato vicino alla nave investigata;



- un simbolo, “R”, per ricordare che la nave che è passata vicina alla nave investigata è un rimorchiatore;
- l’anno della rilevazione della nave investigata;
- il mese della rilevazione della nave investigata;
- il giorno della rilevazione della nave investigata;
- l’ora della rilevazione della nave investigata;
- il minuto della rilevazione della nave investigata;
- il secondo della rilevazione della nave investigata.
- la longitudine della nave investigata all’istante della rilevazione;
- la latitudine della nave investigata all’istante della rilevazione.

La seconda riga riporta le stesse informazioni riportate nella prima riga ma con riferimento al rimorchiatore che è passato vicino alla nave investigata.

Ad esempio, di seguito si riporta una parte del file relativo alla nave avente codice MMSI 239593000 (in quest’esempio si considera che una nave ed un rimorchiatore siano vicini se la loro distanza nello spazio è minore o uguale ad 1/4 di miglia nautiche internazionali e se la loro distanza nel tempo è minore o uguale a 5 minuti):

```
247469000 - R: 2011 7 30 7 18 46 12.396803 45.435008
                2011 7 30 7 18 46 12.396803 45.435008
247469000 - R: 2011 7 30 8 18 46 12.304825 45.435970
                2011 7 30 12 15 39 12.308328 45.430720
247056600 - R: 2011 7 30 7 18 46 12.396803 45.435008
                2011 7 30 7 21 56 12.385433 45.434722
247056600 - R: 2011 7 30 11 9 6 12.304852 45.435938
                2011 7 30 11 18 56 12.304860 45.435963
247221300 - R: 2011 7 30 7 21 56 12.385433 45.434722
                2011 7 30 7 24 25 12.380110 45.430510
```

...

Nella figura 2 si utilizzano i rilevamenti relativi al cargo Daio Azalea (codice MMSI: 355594000) per produrre una rappresentazione grafica dei percorsi di questa nave e dei rimorchiatori che le sono passati vicini durante il periodo di riferimento. Si noti che: 1) le sezioni di riferimento sono rappresentate dagli stessi segmenti rosa e gialli considerati nella figura 1; 2) il percorso del cargo è rappresentato dalla curva tratteggiata verde; 3) i percorsi dei rimorchiatori sono rappresentati da curve tratteggiate aventi altri colori.

DATABASE - Software da implementare ed utilizzo del database relativo al porto di Venezia

Il sistema operativo utilizzato come piattaforma per realizzare il database è Linux, nella distribuzione Ubuntu 11.10. Il software utilizzato per la realizzazione e la gestione del database relazionale è PostgreSQL 9.1. Entrambi, sistema operativo e RDBMS, sono soluzioni *open source*. Si pone in evidenza che esistono pacchetti binari pre-compilati di PostgreSQL anche per altri sistemi operativi quali BSD, Mac OSX, Windows e Solaris.

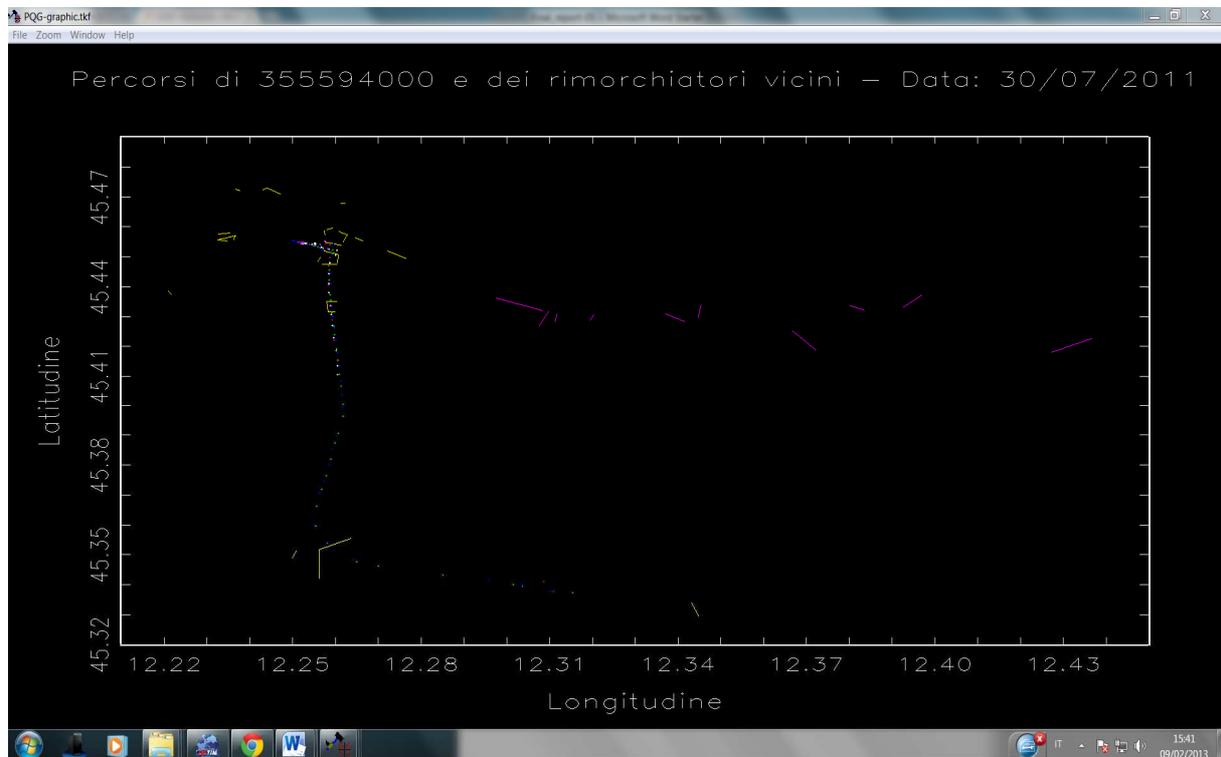


Figura 2: Percorsi del cargo Daio Azalea e dei rimorchiatori ad esso vicini.

Le interfacce *mock-up* sono state sviluppate con:

- pgAdmin III GUI, disponibile per i sistemi operativi sopra indicati;
- Microsoft Access, disponibile solo per Microsoft Windows 32/64 bit con ODBC 32 bit;
- GlassFishEsb-v2.2 disponibile per Linux, Mac OsX, Solaris, AIX, Windows e Glassfish v3 Final (Java EE 6); in particolare, è stata utilizzata la versione per Windows, Mac OsX e Linux. GlassFishEsb-v2.2 contiene Netbeans 6.7.1;
- Le librerie Java utilizzate dal programma sono commons-lang3-3.1, postgresql-9.1-901.jdbc4, eclipselink-2.2.0 ed eclipselink-javax.persistence-2.0.

In sintesi, per utilizzare congiuntamente il software ed il database si devono eseguire necessari i seguenti passi:

1. Installare il software JDK 1.6, GlassfishESB v 2.2 (con Netbeans 6.7.1), Glassfish v3 e PostgreSQL;
2. Configurare NetBeans, installare i *plugins* richiesti ed aggiornare quelli presenti, utilizzando la medesima versione 6.7.1 di NetBeans (non effettuare l'aggiornamento di NetBeans alla versione success);
3. Configurare ed aggiornare Glassfish v3;
4. Configurare PostgreSQL e poi importare il database;
5. Connettere l'applicazione server GlassFish al database mediante il driver JDBC;
6. Personalizzare secondo le richieste dell'operatore umano l'input del database mediante pgAdmin III;



7. Importare il pacchetto applicativo in NetBeans 6.7.1, configurare la connessione al database, personalizzare le librerie;
8. Lanciare il pacchetto applicativo;
9. Osservare l'output.

DATABASE - Regole: il *naming*

Il nome di ogni tabella è al singolare. La chiave primaria è il nome della tabella più il suffisso “_id”; ciò rende più facile la lettura e la comprensione delle *join*, oltre a permettere l'uso delle *equi-join* e delle *natural-join*.

I vincoli di integrità referenziale sono “ON UPDATE CASCADE ON DELETE RESTRICT” in tutte le tabelle coinvolte per permettere un controllo più fine nei casi di cancellazione di record. Questa regola non viene applicata per le tabelle “output” in cui i vincoli sono “ON UPDATE CASCADE ON DELETE CASCADE” per consentire la modifica delle tabelle che determinano i diversi output con la cancellazione automatica dei valori precedenti. Le tabelle sono raggruppate secondo il loro campo di riferimento:

- *i_* indica le tabelle che rappresentano l'infrastruttura del porto;
- *c_* indica le tabelle che contengono i vincoli imposti da limiti fisici e da ordinanze;
- *l_* indica le tabelle che contengono i dati LogIS o che si aspettano dei dati derivanti dalla piattaforma LogIS;
- *r_* indica le tabelle che contengono gli elementi relativi alle rotte, sottorotte, *leg*;
- *s_* indica le tabelle che contengono i dati delle imbarcazioni che transitano nel porto di Venezia: tipi di navi, la loro nazionalità, le loro caratteristiche fisiche, la loro situazione attuale;
- *t_* indica le tabelle che contengono i dati temporali quali i tempi di percorrenza, gli orari delle albe e dei tramonti, le maree astronomiche.

DATABASE - Tabelle riassuntive della categoria I (infrastrutture)

Di seguito elenchiamo i nomi delle tabelle relative alle infrastrutture:

- *i_berth*: riepiloga tutti gli ormeggi fisici attuali e previsti nel porto commerciale e passeggeri;
- *i_bollard*: contiene le bitte numerate presenti in ogni ormeggio (da definire);
- *i_node*: tabella che contiene i nodi della rete del porto di Venezia e che rappresentano la navigazione nel porto;
- *i_edge*: *waterway* logici, rappresentano gli archi che compongono le *waterway* fisiche;
- *i_quay*: sono le banchine;
- *i_terminal*: sono i terminali e le relative agenzie di riferimento;
- *i_tug_point*: punti logico-fisici in cui i rimorchiatori possono trovarsi nella loro navigazione;
- *i_waterway*: elenco dei canali di navigazione con limiti imposti alle navi nella loro navigazione.

Nella figura che segue rappresentiamo graficamente le tabelle delle infrastrutture e le loro relazioni.

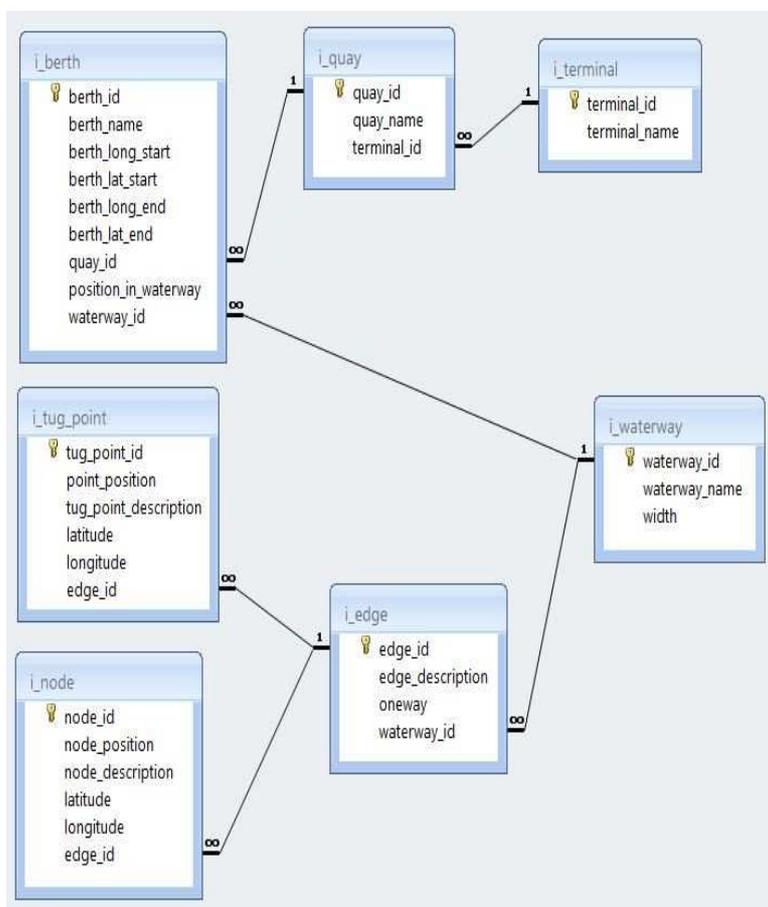


Figura 3: Tabelle relative alle infrastrutture e loro relazioni.

DATABASE - Tabelle riassuntive della categoria c (vincoli)

Di seguito elenchiamo i nomi delle tabelle relative ai vincoli:

- **c_ordinance**: contiene l'elenco ed i riferimenti delle ordinanze relative al porto commerciale e passeggeri;
- **c_draft**: elenca i vincoli collegati al pescaggio delle imbarcazioni;
- **c_mooring**: elenco dei vincoli collegati alle modalità di ormeggio delle imbarcazioni;
- **c_load_type**: contiene i tipi di carichi che possono portare le navi e ne indica la pericolosità;
- **c_navigation**: contiene le informazioni relative ai vincoli imposti alle navi a seconda delle loro caratteristiche fisiche ed alla loro manovrabilità;
- **c_priority**: contiene le priorità che le imbarcazioni possono avere per quanto riguarda l'entrata e l'uscita nei porti commerciali e passeggeri.

Le tabelle che seguono sono di collegamento tra quelle indicate precedentemente:

- **c_draft_berth**: tabella di collegamento tra i vincoli relativi al draft in relazione ai *berth*;
- **c_mooring_berth**: vincoli posti alle operazioni di ormeggio relativamente ai *berth*;
- **c_navigation_berth**: vincoli posti alla navigazione in relazione alle operazioni di navigazione;
- **c_mooring_constraining_berth**: vincoli determinati dallo stato dei berth per le operazioni di ormeggio / disormeggio;
- **c_mooring_or_constraint**: verifica della soddisfazione di almeno uno (OR) dei vincoli imposti nelle procedure di ormeggio;
- **ac_draft_waterway**: vincoli di pescaggio durante la navigazione;
- **c_navigation_constraining_berth**: vincoli imposti alla navigazione dallo stato dei *berth*;
- **c_navigation_diagram**: tabella che contiene i valori dei diagrammi di navigazione;
- **c_navigation_or_constraint**: tabella di collegamento tra le *waterway* ed i vincoli di navigazione;
- **c_navigation_r_diagram**: tabella di collegamento tra i vincoli di navigazione ed i diagrammi;
- **c_navigation_waterway**: imposizione dei vincoli di navigazione alle *waterway*.

Nella figura che segue rappresentiamo graficamente le tabelle dei vincoli e le loro relazioni.

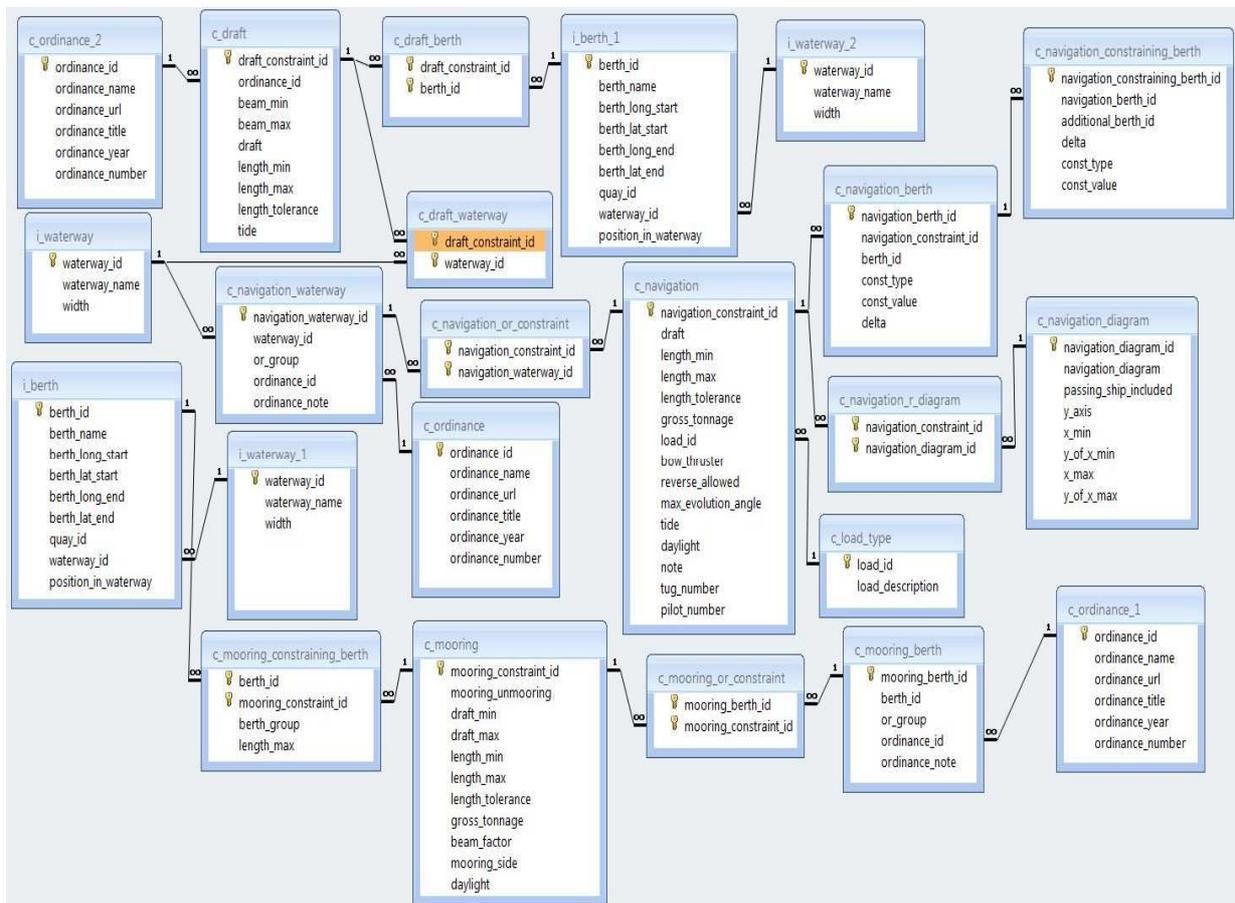


Figura 4: Tabelle dei vincoli e le loro relazioni.

DATABASE - Tabelle riassuntive della categoria r (rotte)

Di seguito elenchiamo i nomi delle tabelle relative alle rotte:

- **r_leg**: percorso diretto tra due punti fisici (*berth*) o logici (bacini di evoluzione);
- **r_route**: percorso composto da sottorotte e da *leg* che uniscono punti fisici lontani tra loro e che sono interessati da più vincoli;
- **r_route_leg_backward**: percorsi in cui le imbarcazioni possono navigare in retromarcia;
- **r_subroute**: sottorotte;
- **r_route_subroute**: collegamento tra le rotte e le sottorotte;
- **r_subroute_leg**: collegamento tra sottorotte e *leg*.

Nella figura che segue rappresentiamo graficamente le tabelle delle rotte e le loro relazioni.

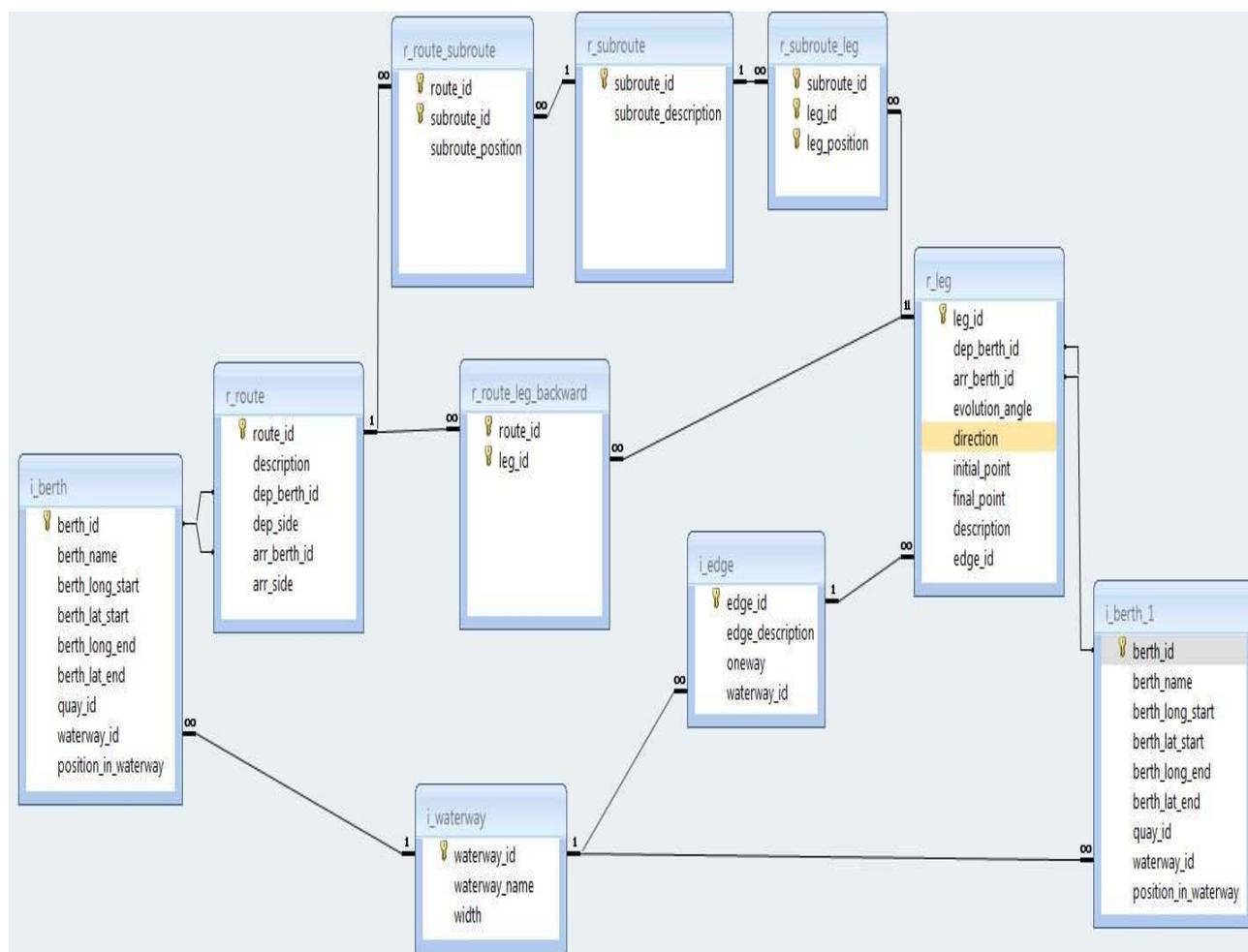


Figura 5: Tabelle delle rotte e le loro relazioni.

DATABASE - Tabelle riassuntive della categoria s (navi)

Di seguito elenchiamo i nomi delle tabelle relative alle navi:

- s_ship: elenco delle imbarcazioni con le loro caratteristiche principali quali *International Maritime Organization* (nel seguito indicato con *IMO*) *number*, *MMSI* (*Maritime Mobile Service Identity*), *call sign*, categoria e nazionalità di appartenenza, anno di costruzione e le caratteristiche fisiche;
- s_ship_previous_name: elenco delle imbarcazioni che hanno cambiato nome mantenendo lo stesso *IMO number*;
- s_ship_type: il tipo di nave;
- s_tug: lo stato dei rimorchiatori nel porto in un determinato istante temporale;
- s_flag: elenco delle nazioni a cui possono appartenere le navi.

Nella figura che segue rappresentiamo graficamente le tabelle delle navi e le loro relazioni.

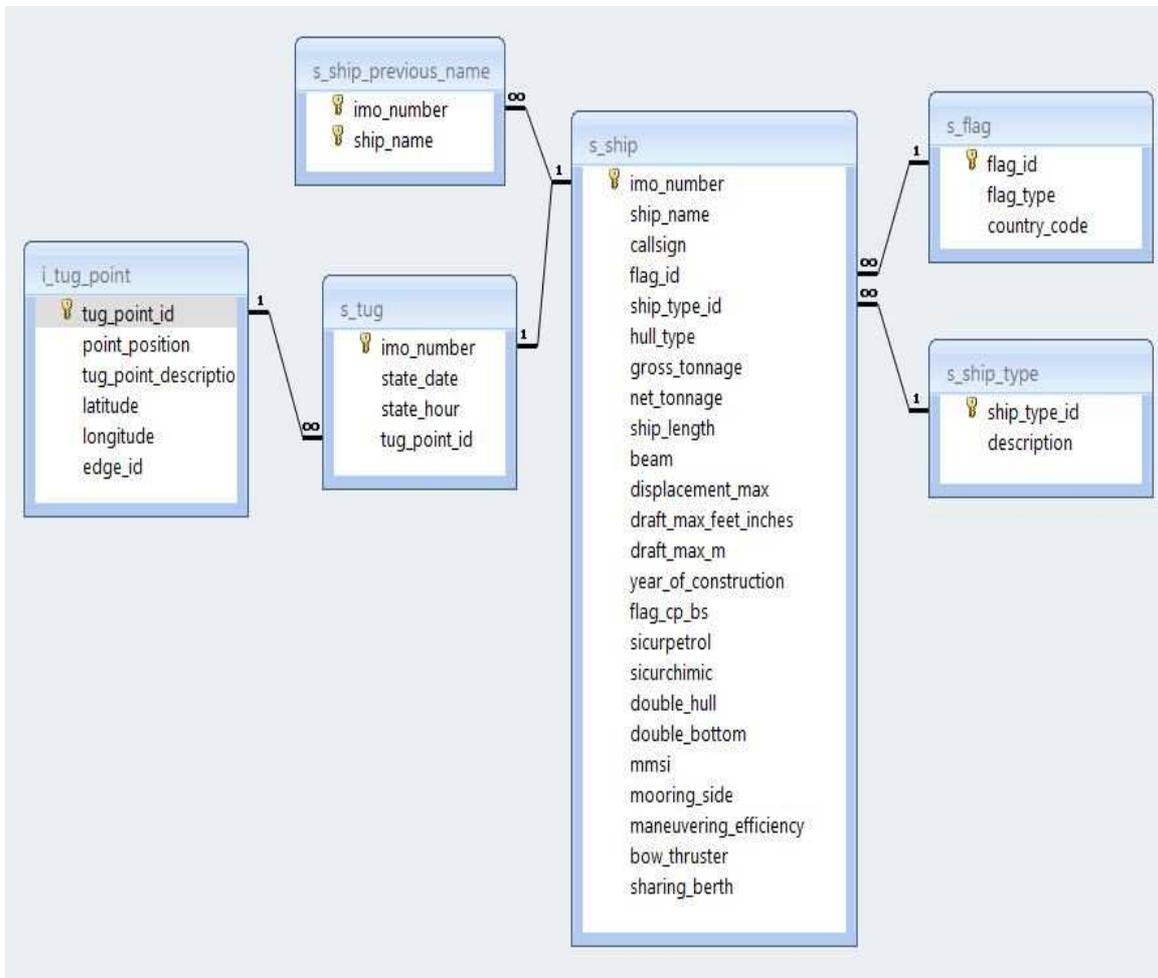


Figura 6: Tabelle delle navi e le loro relazioni.

DATABASE - Tabelle riassuntive della categoria t (tempi)

Di seguito elenchiamo i nomi delle tabelle relative ai tempi:

- t_arc: registra i tempi per percorrere ogni arco definito da nodi, distanza fisica, temporale e velocità media di percorrenza;
- t_daylight: registra gli istanti in cui il sole sorge e tramonta dal 2011 alla fine del 2014;
- t_ship_leg: tempo che impiega una nave per percorrere un dato leg;
- t_tide: marea astronomica calcolata negli anni 2011-2012;
- t_tug_point: tempo di percorrenza di un rimorchiatore tra due punti del porto di Venezia.

Si noti che t_daylight e t_tide vengono utilizzate direttamente dall'applicativo e non compaiono nelle relazioni tra tabelle.

Nella figura che segue rappresentiamo graficamente le tabelle dei tempi e le loro relazioni.

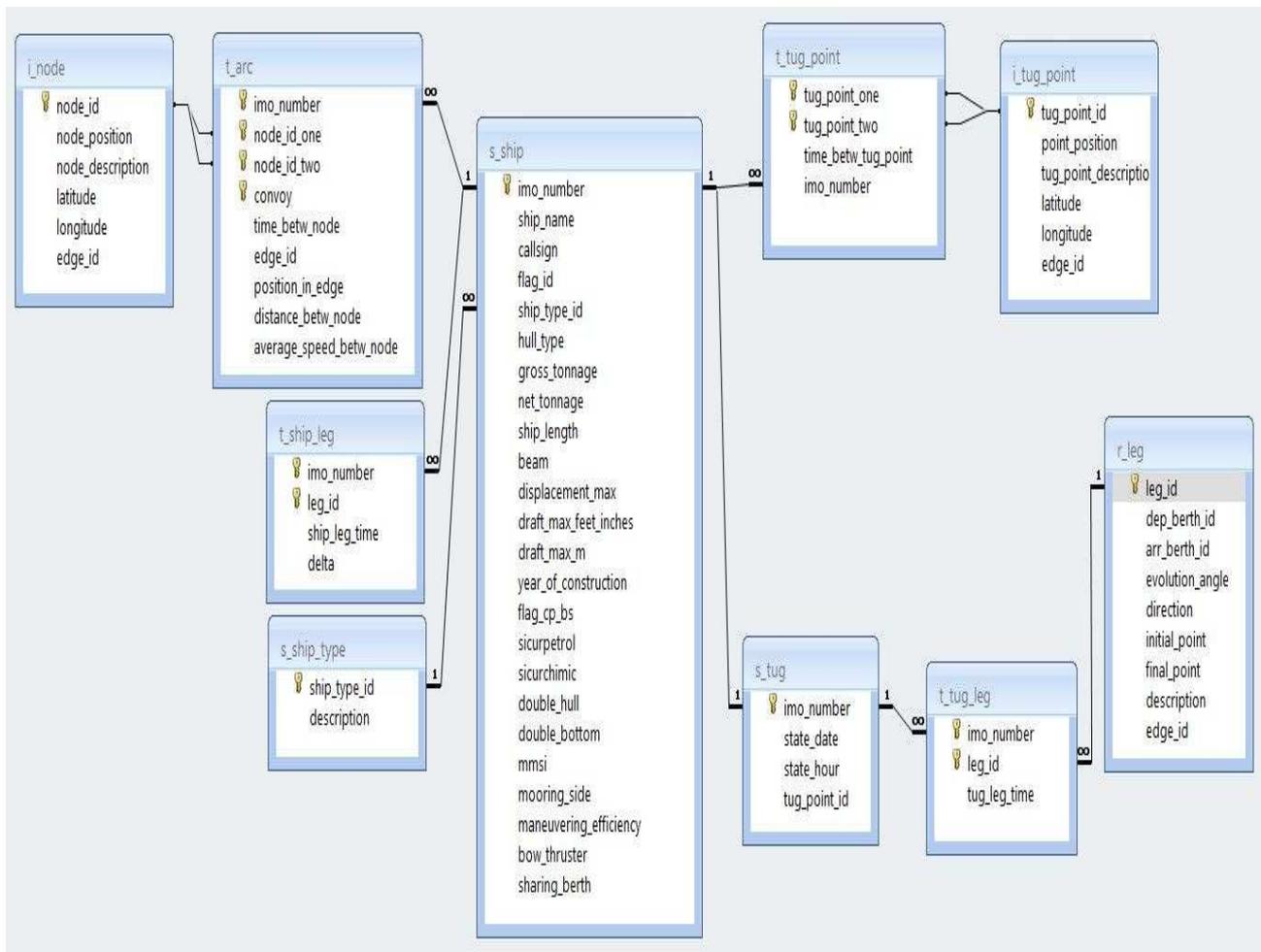


Figura 7: Tabelle dei tempi e le loro relazioni.

DATABASE - Tabelle riassuntive della categoria I (LogIS)

Di seguito elenchiamo i nomi delle tabelle relative a LogIS:

- l_input: tabella che contiene i dati con i quali si calcolano le rotte ed il rispetto delle ordinanze;

- `L_input_precedence`: tabella con cui si gestiscono le precedenze tra le navi;
- `L_input_tug`: contiene le indicazioni di quanti rimorchiatori e dei punti in cui essi devono prendere e lasciare le navi;
- `L_state`: contiene lo stato dei diversi berth all'inizio del servizio di ogni giornata.

Nella figura che segue rappresentiamo graficamente le tabelle relative a LogIS e le loro relazioni.

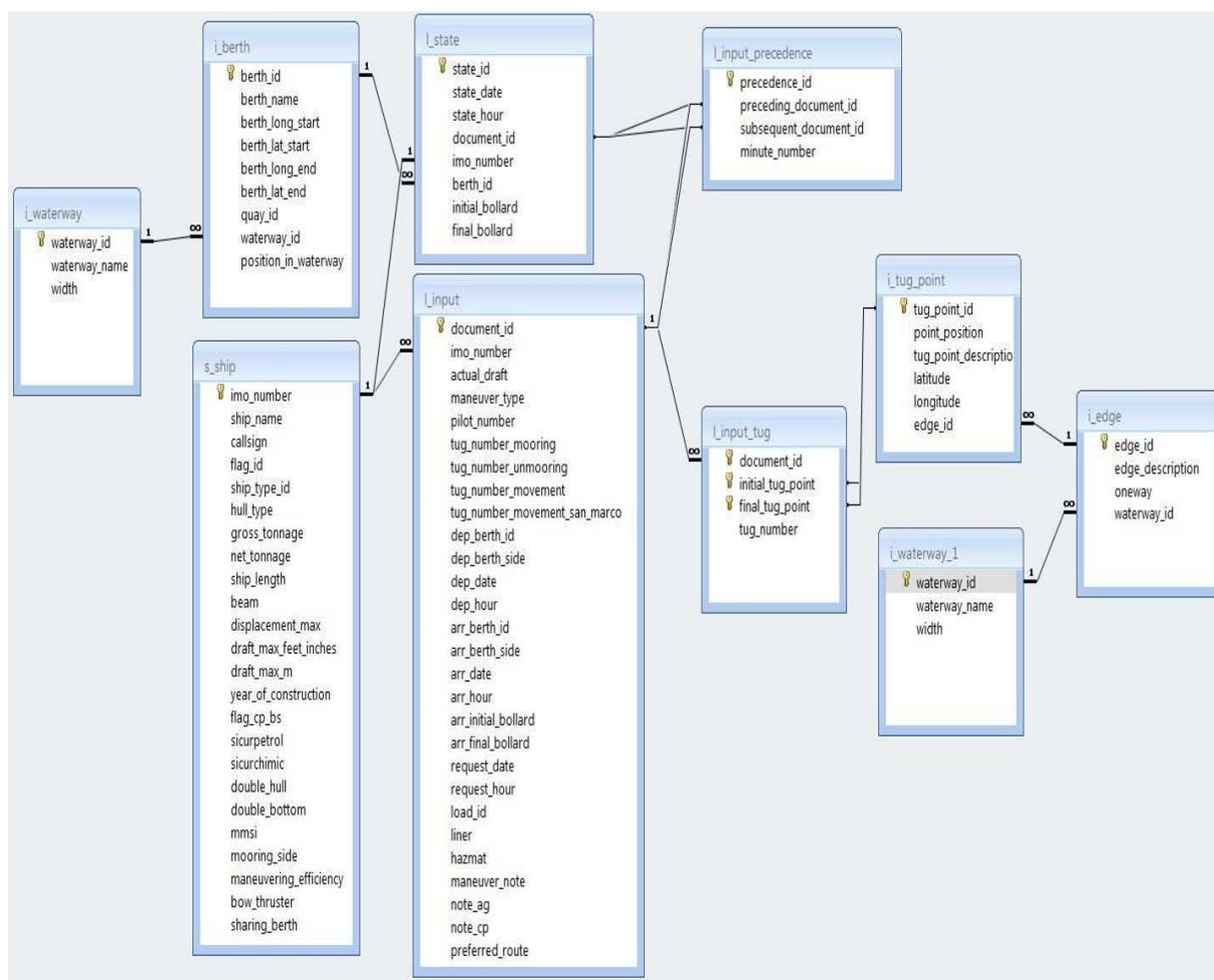


Figura 8: Tabelle relative a LogIS e le loro relazioni.

DATABASE - Tabelle riassuntive della categoria l (output)

Di seguito elenchiamo i nomi delle tabelle relative agli output:

- `L_output`: contiene i percorsi individuati dal programma;
- `L_output_movements`: riporta il timing dei movimenti delle navi nel porto per ogni arrivo e partenza;
- `L_output_times`: indica i tempi necessari per percorrere un leg componente le rotte seguite dalle navi in arrivo ed in partenza;

- **L_output_tug**: contiene i movimenti dei rimorchiatori in base alle rotte calcolate.

La figura che segue illustra quali sono gli output del prototipo ICT e da quali elementi si ottengono.

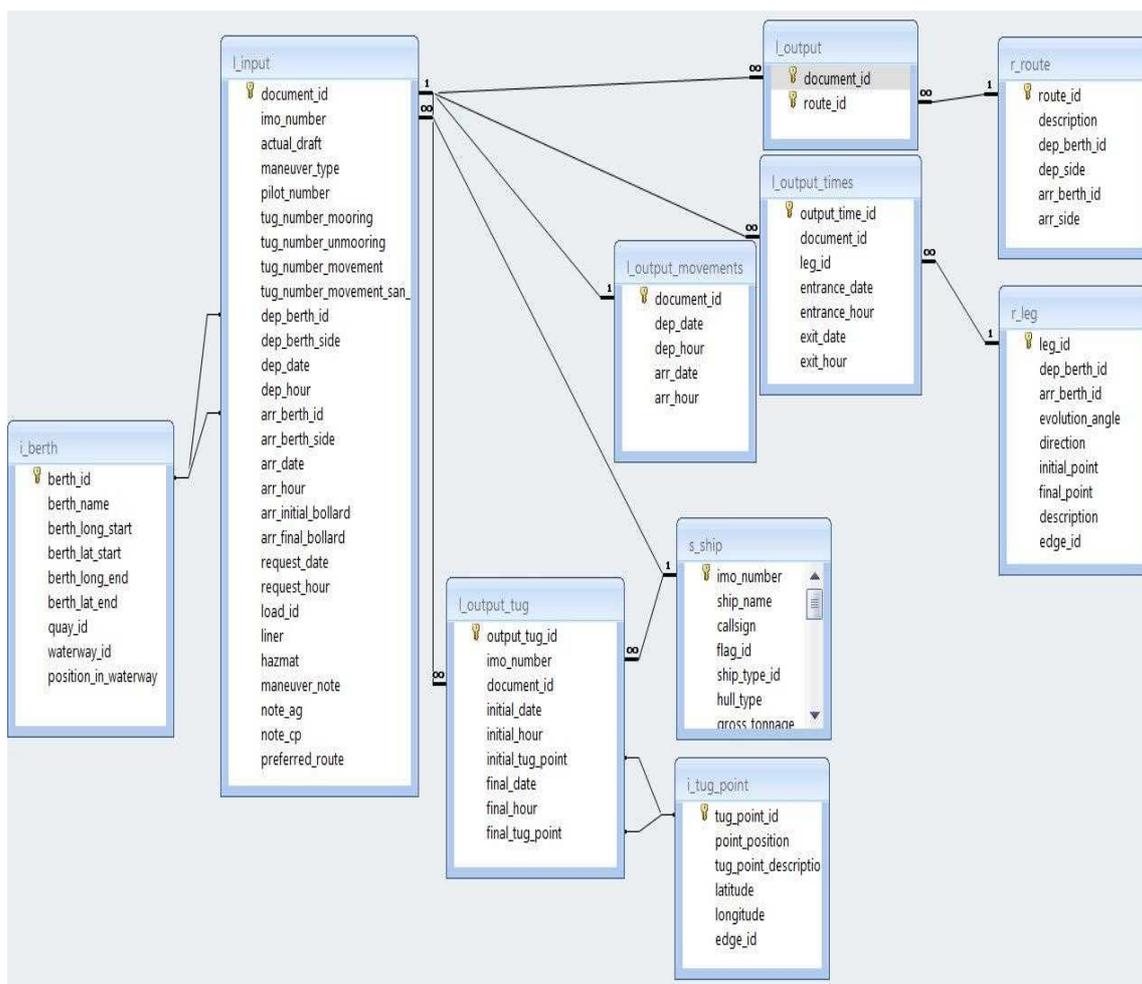


Figura 9: Tabelle relative agli outputs ed alle loro relazioni.

DATABASE - Interfaccia *mock-up* con il database

Esistono diverse soluzioni attraverso le quali è possibile interfacciarsi con il database. Abbiamo concentrato la nostra attenzione sulle seguenti tre:

1. pgAdmin III GUI;
2. Microsoft Access via ODBC;
3. Accesso via web mediante l'applicazione *server open source* Glassfish.

Per ognuna di queste soluzioni noi diamo: una sintetica descrizione; alcuni *screenshot* che illustrano come inserire, modificare, recuperare, ... i dati. Si noti che la scelta di non descrivere in modo dettagliato tali soluzioni è semplicemente dovuta al fatto che esse sono o diffuse

applicazioni *open source* o diffuso software commerciale. Pertanto, in generale, sono ben note o, comunque, informazioni complete ad esse relative sono disponibili nel *web*.

- 1) Utilizzo di pgAdmin III GUI per interfacciare PostgreSQL: questa soluzione ha accesso diretto sia alle proprietà del database sia ai dati. L'utente può gestire tutti gli elementi costituenti il database.

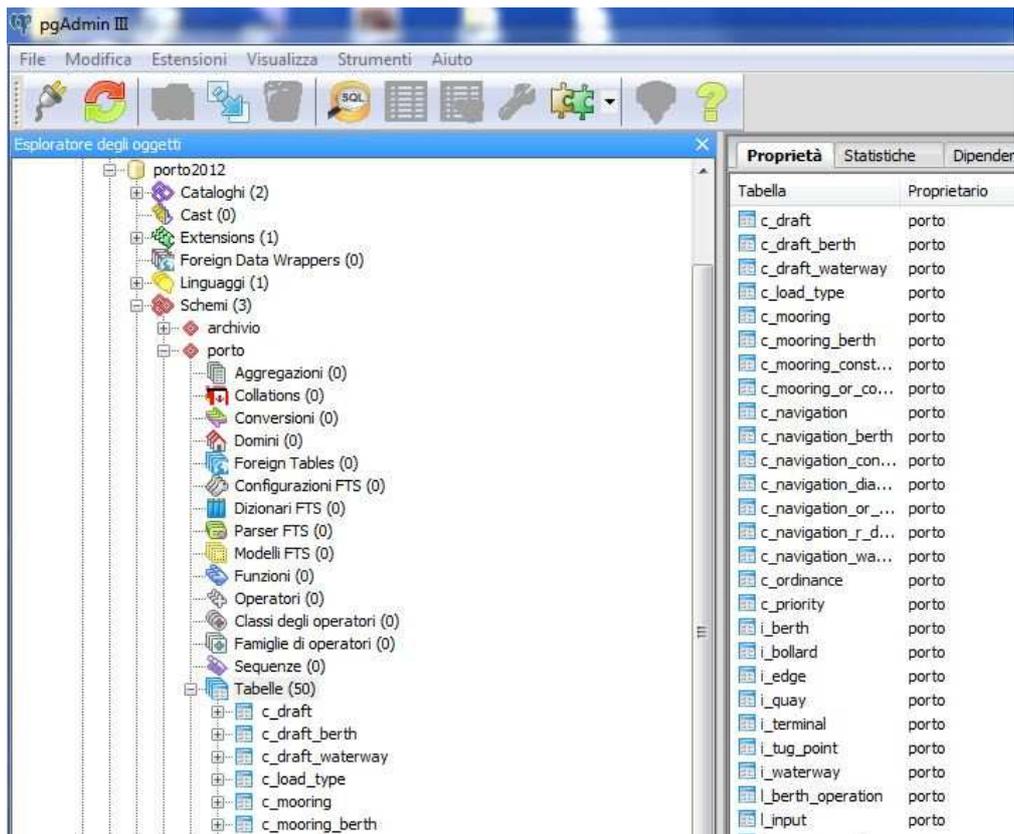
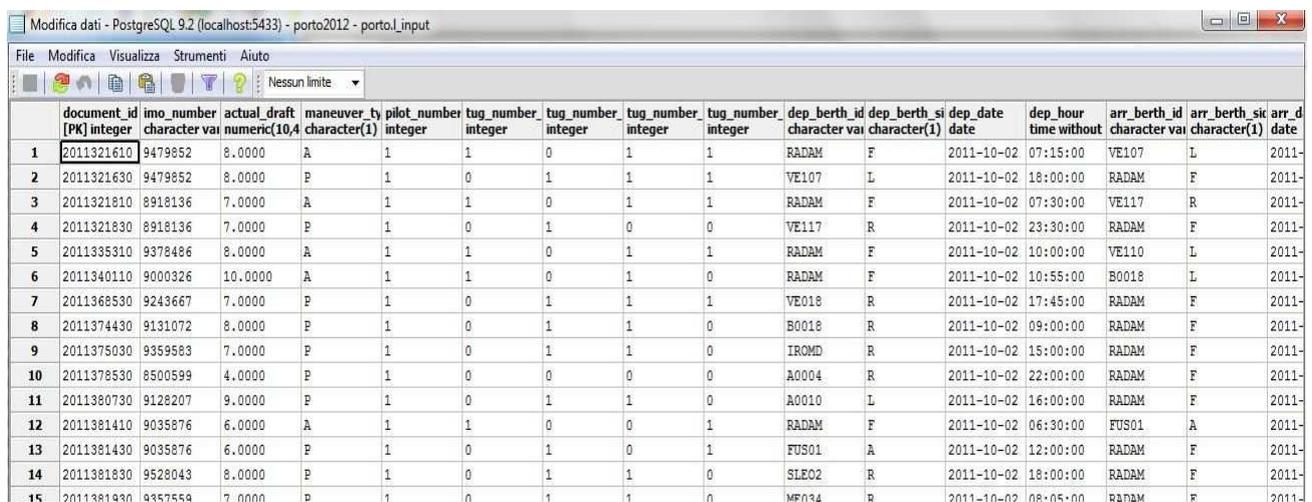


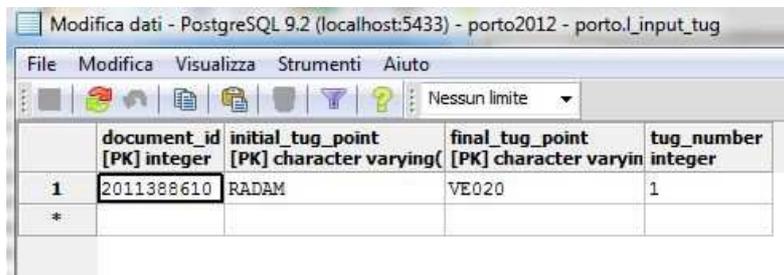
Figura 10: pgAdmin III GUI per la gestione del database.



The screenshot shows the 'Modifica dati - PostgreSQL 9.2 (localhost:5433) - porto2012 - porto.i_input' window. The table contains 15 rows of data representing ship movements.

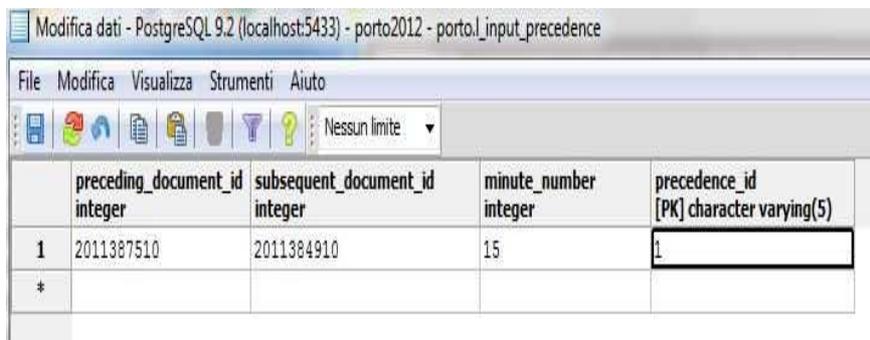
	document_id [PK] integer	imo_number character vai	actual_draft numeric(10,4)	maneuver_ty character(1)	pilot_number integer	tug_number integer	dep_berth_id character vai	dep_berth_si character(1)	dep_date date	dep_hour time without	arr_berth_id character vai	arr_berth_si character(1)	arr_d date				
1	2011321610	9479852	8.0000	A	1	1	0	1	1	1	RADAM	F	2011-10-02	07:15:00	VE107	L	2011-
2	2011321630	9479852	8.0000	P	1	0	1	1	1	1	VE107	L	2011-10-02	18:00:00	RADAM	F	2011-
3	2011321810	8918136	7.0000	A	1	1	0	1	1	1	RADAM	F	2011-10-02	07:30:00	VE117	R	2011-
4	2011321830	8918136	7.0000	P	1	0	1	0	0	0	VE117	R	2011-10-02	23:30:00	RADAM	F	2011-
5	2011335310	9378486	8.0000	A	1	1	0	1	1	1	RADAM	F	2011-10-02	10:00:00	VE110	L	2011-
6	2011340110	9000326	10.0000	A	1	1	0	1	1	0	RADAM	F	2011-10-02	10:55:00	B0018	L	2011-
7	2011368530	9243667	7.0000	P	1	0	1	1	1	1	VE018	R	2011-10-02	17:45:00	RADAM	F	2011-
8	2011374430	9131072	8.0000	P	1	0	1	1	1	0	B0018	R	2011-10-02	09:00:00	RADAM	F	2011-
9	2011375030	9359583	7.0000	P	1	0	1	1	0	0	IROMD	R	2011-10-02	15:00:00	RADAM	F	2011-
10	2011378530	8500599	4.0000	P	1	0	0	0	0	0	A0004	R	2011-10-02	22:00:00	RADAM	F	2011-
11	2011380730	9128207	9.0000	P	1	0	1	1	1	0	A0010	L	2011-10-02	16:00:00	RADAM	F	2011-
12	2011381410	9035876	6.0000	A	1	1	0	0	0	1	RADAM	F	2011-10-02	06:30:00	FUS01	A	2011-
13	2011381430	9035876	6.0000	P	1	0	1	0	1	1	FUS01	A	2011-10-02	12:00:00	RADAM	F	2011-
14	2011381830	9528043	8.0000	P	1	0	1	1	1	0	SLE02	R	2011-10-02	18:00:00	RADAM	F	2011-
15	2011381830	9357550	7.0000	P	1	0	1	1	1	0	VE018	R	2011-10-02	08:05:00	RADAM	F	2011-

Figura 11: pgAdmin III GUI per l'inserimento dei movimenti delle navi.



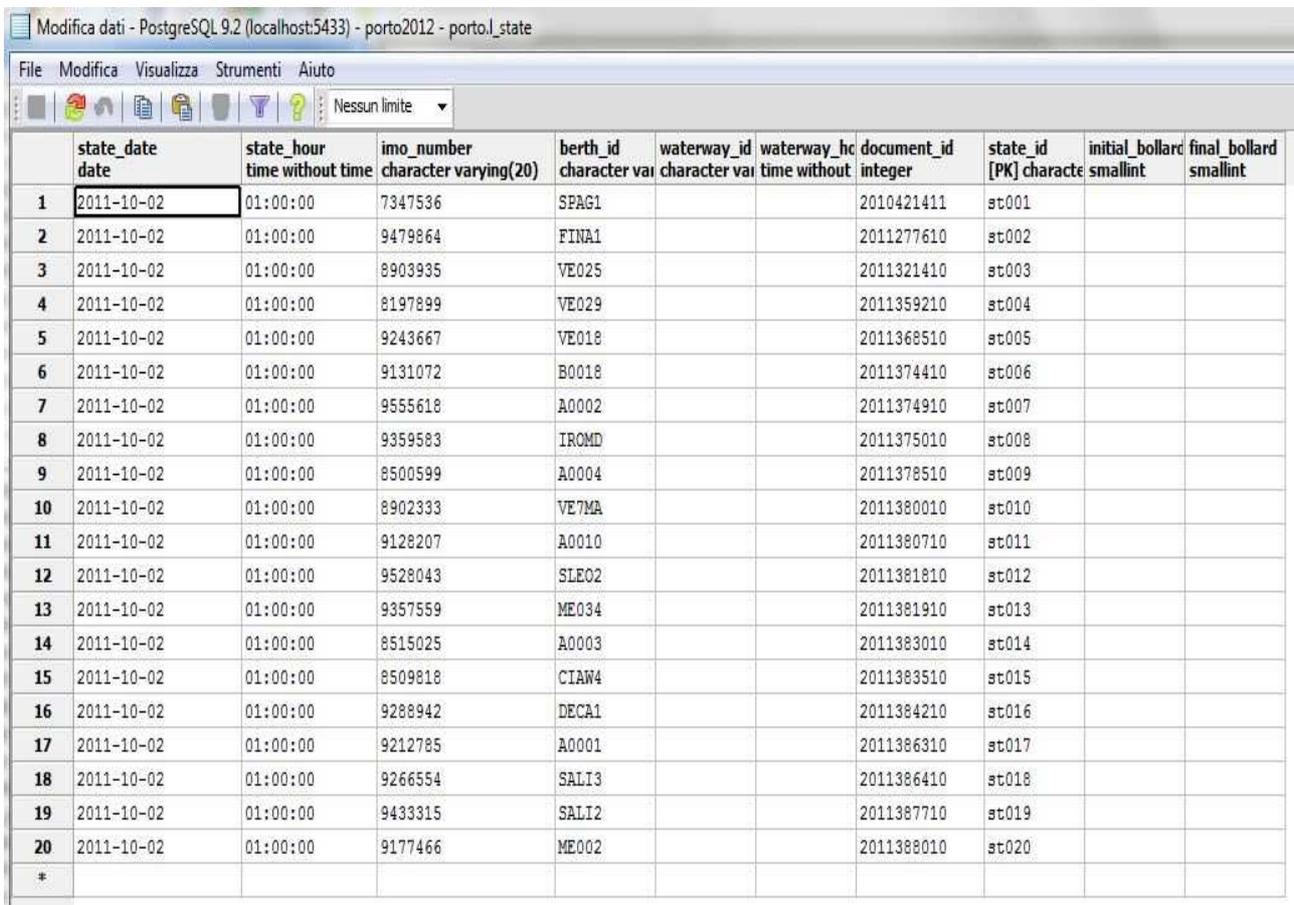
	document_id [PK] integer	initial_tug_point [PK] character varying(final_tug_point [PK] character varyin	tug_number integer
1	2011388610	RADAM	VE020	1
*				

Figura 12: pgAdmin III GUI per l’inserimento dei movimenti dei rimorchiatori.



	preceding_document_id integer	subsequent_document_id integer	minute_number integer	precedence_id [PK] character varying(5)
1	2011387510	2011384910	15	1
*				

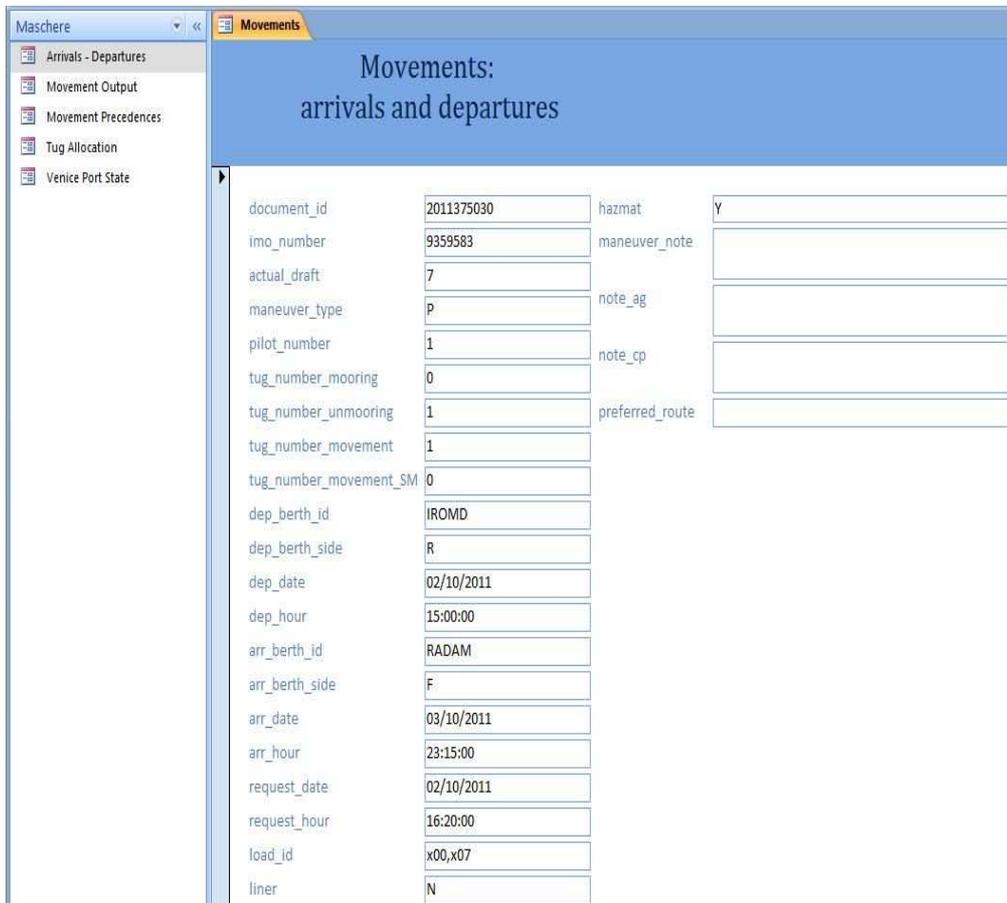
Figura 13: pgAdmin III GUI per l’inserimento delle precedenze relative alle navi.



	state_date date	state_hour time without time	imo_number character varying(20)	berth_id character vai	waterway_id character vai	waterway_ho time without	document_id integer	state_id [PK] characte	initial_bollard smallint	final_bollard smallint
1	2011-10-02	01:00:00	7347536	SPAG1			2010421411	st001		
2	2011-10-02	01:00:00	9479864	FINA1			2011277610	st002		
3	2011-10-02	01:00:00	8903935	VE025			2011321410	st003		
4	2011-10-02	01:00:00	8197899	VE029			2011359210	st004		
5	2011-10-02	01:00:00	9243667	VE018			2011368510	st005		
6	2011-10-02	01:00:00	9131072	B0018			2011374410	st006		
7	2011-10-02	01:00:00	9555618	A0002			2011374910	st007		
8	2011-10-02	01:00:00	9359583	IROMD			2011375010	st008		
9	2011-10-02	01:00:00	8500599	A0004			2011378510	st009		
10	2011-10-02	01:00:00	8902333	VE7MA			2011380010	st010		
11	2011-10-02	01:00:00	9128207	A0010			2011380710	st011		
12	2011-10-02	01:00:00	9528043	SLE02			2011381810	st012		
13	2011-10-02	01:00:00	9357559	ME034			2011381910	st013		
14	2011-10-02	01:00:00	8515025	A0003			2011383010	st014		
15	2011-10-02	01:00:00	8509818	CIAW4			2011383510	st015		
16	2011-10-02	01:00:00	9288942	DECA1			2011384210	st016		
17	2011-10-02	01:00:00	9212785	A0001			2011386310	st017		
18	2011-10-02	01:00:00	9266554	SALI3			2011386410	st018		
19	2011-10-02	01:00:00	9433315	SALI2			2011387710	st019		
20	2011-10-02	01:00:00	9177466	ME002			2011388010	st020		
*										

Figura 14: pgAdmin III GUI per la verifica e la modifica dello stato del porto di Venezia.

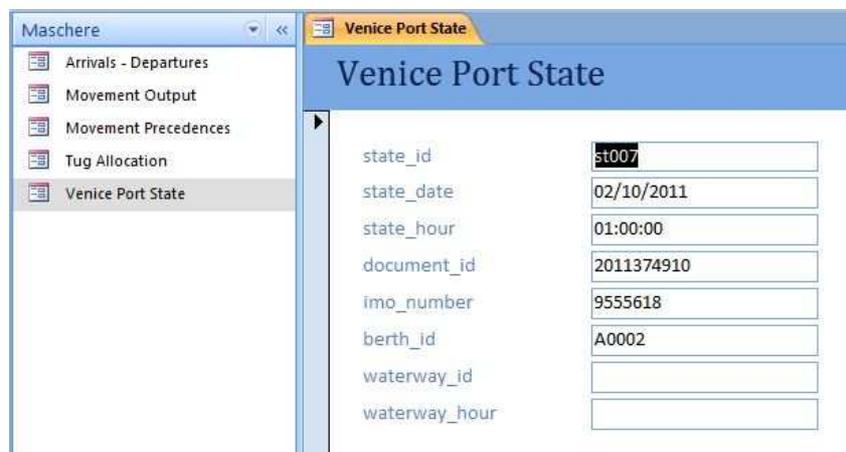
- 2) Utilizzo di Microsoft Access e di maschere appositamente create per interfacciare PostgreSQL tramite driver ODBC: mediante questa soluzione è possibile inserire e modificare i dati. L'utente può gestire tutti gli elementi che costituiscono il database.



The screenshot shows a Microsoft Access form titled 'Movements: arrivals and departures'. The form contains a grid of input fields for various data points. The left sidebar shows a list of other forms: Arrivals - Departures, Movement Output, Movement Precedences, Tug Allocation, and Venice Port State.

document_id	2011375030	hazmat	Y
imo_number	9359583	maneuver_note	
actual_draft	7	note_ag	
maneuver_type	P	note_cp	
pilot_number	1	preferred_route	
tug_number_mooring	0		
tug_number_unmooring	1		
tug_number_movement	1		
tug_number_movement_SM	0		
dep_berth_id	IROMD		
dep_berth_side	R		
dep_date	02/10/2011		
dep_hour	15:00:00		
arr_berth_id	RADAM		
arr_berth_side	F		
arr_date	03/10/2011		
arr_hour	23:15:00		
request_date	02/10/2011		
request_hour	16:20:00		
load_id	x00,x07		
liner	N		

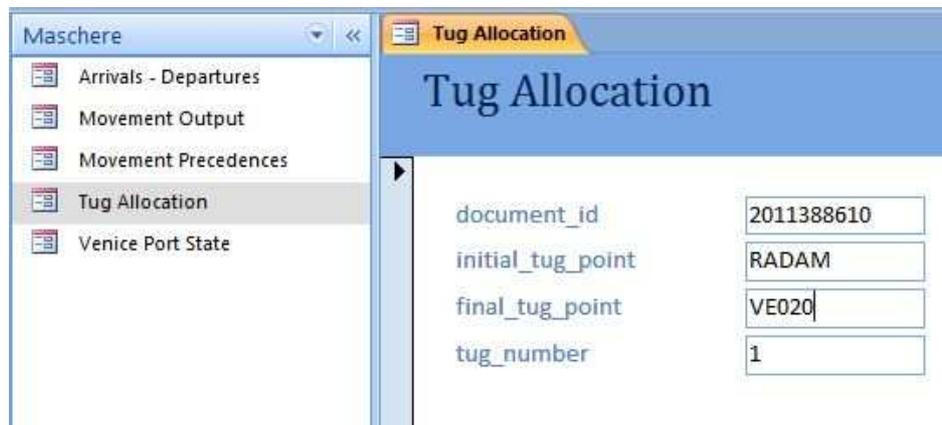
Figura 15: Maschera per l'input (in Microsoft Access) per inserire e modificare il movimento delle navi nel porto di Venezia.



The screenshot shows a Microsoft Access form titled 'Venice Port State'. The form contains a grid of input fields for port state data. The left sidebar shows a list of other forms: Arrivals - Departures, Movement Output, Movement Precedences, Tug Allocation, and Venice Port State.

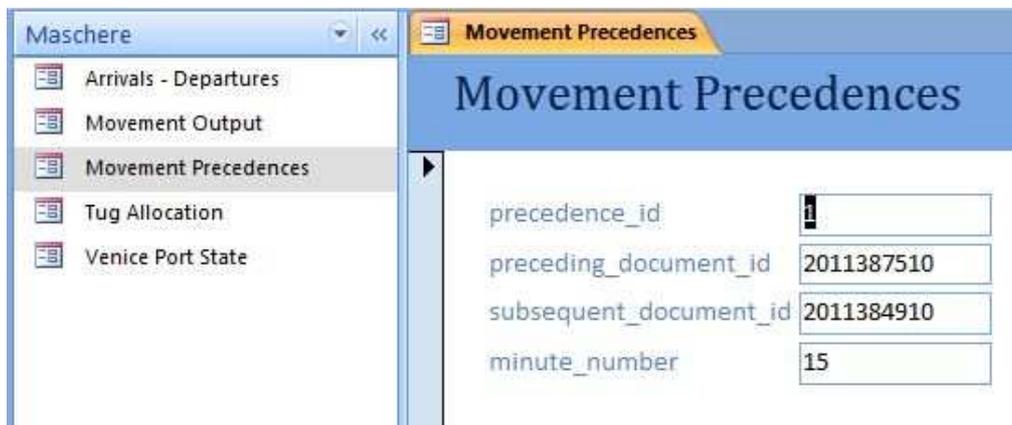
state_id	st007
state_date	02/10/2011
state_hour	01:00:00
document_id	2011374910
imo_number	9555618
berth_id	A0002
waterway_id	
waterway_hour	

Figura 16: Maschera per l'input (in Microsoft Access) per verificare lo stato dell'utilizzo delle risorse nel porto di Venezia.



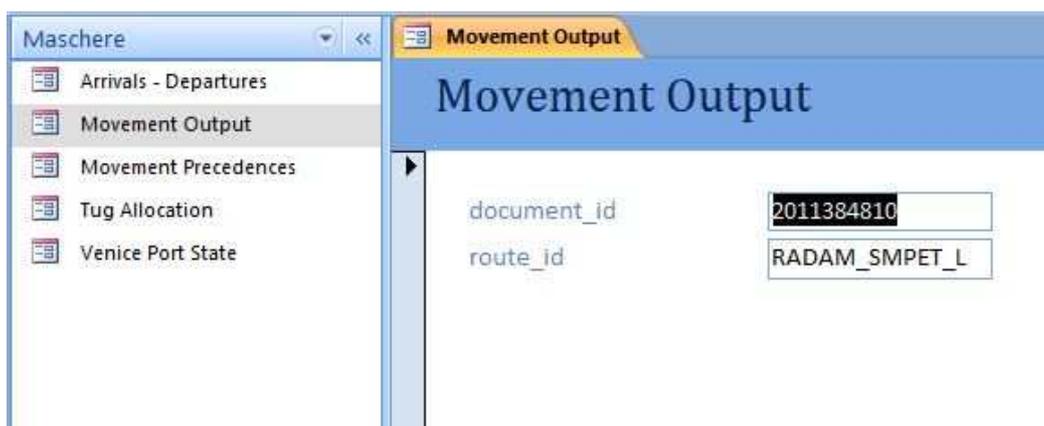
document_id	2011388610
initial_tug_point	RADAM
final_tug_point	VE020
tug_number	1

Figura 17: Maschera per l'input (in Microsoft Access) per l'allocazione dei rimorchiatori ai vari movimenti nel porto di Venezia.



precedence_id	
preceding_document_id	2011387510
subsequent_document_id	2011384910
minute_number	15

Figura 18: Maschera per l'input (in Microsoft Access) per inserire e modificare le priorità associate ai movimenti delle navi nel porto di Venezia.



document_id	2011384810
route_id	RADAM_SMPET_L

Figura 19: Maschera per l'output (in Microsoft Access) per visualizzare le distanze percorse associate ad ogni movimento nel porto di Venezia.

- Utilizzo di Glassfish Application Server: questa soluzione permette di sviluppare pagine web dinamiche mediante le quali l'utente può gestire tutti gli elementi costituenti il database.

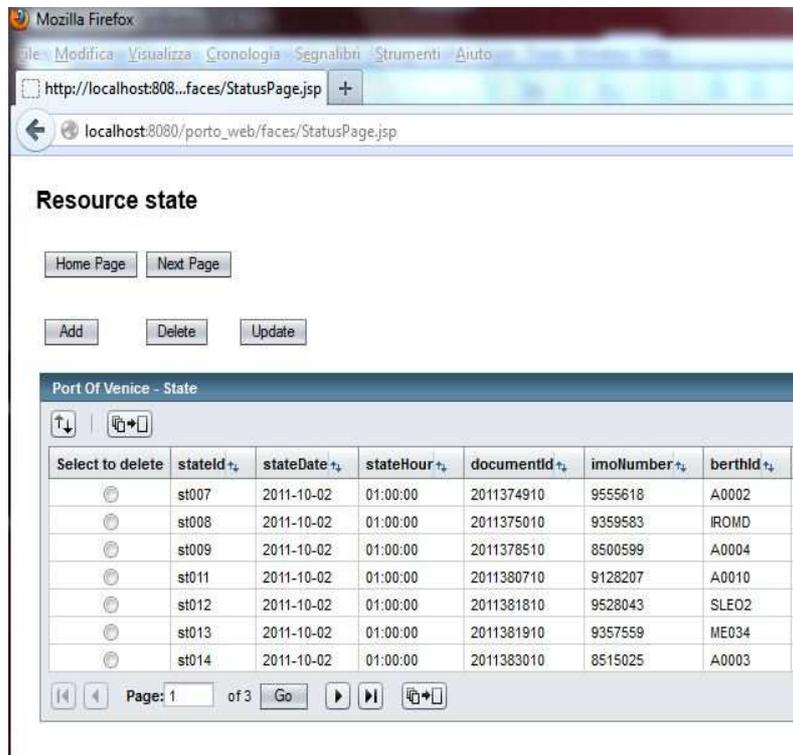


Figura 20: Glassfish-based web GUI per visualizzare, inserire e modificare i dati relativi allo stato del porto di Venezia.

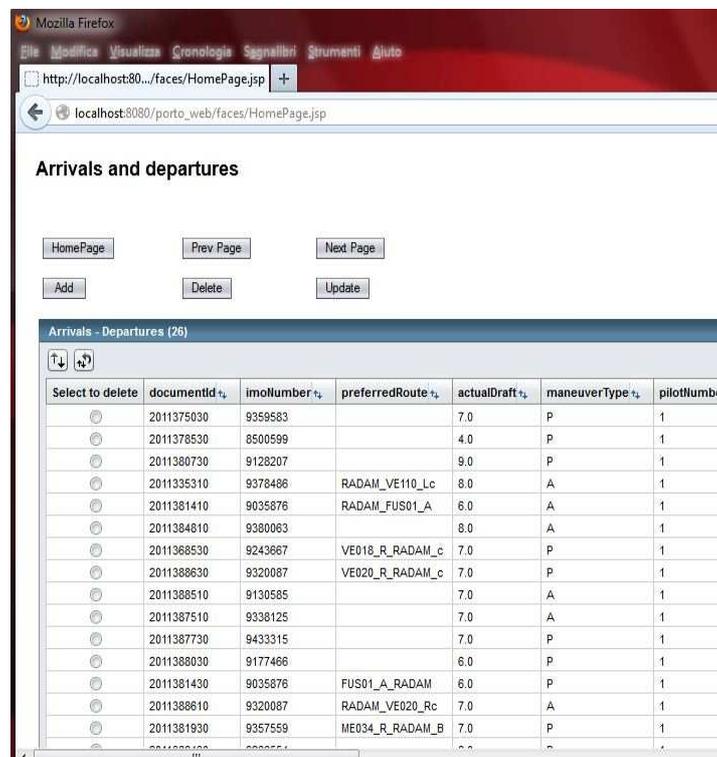


Figura 21: Glassfish-based web GUI per visualizzare, inserire e modificare i movimenti delle navi nel porto di Venezia.

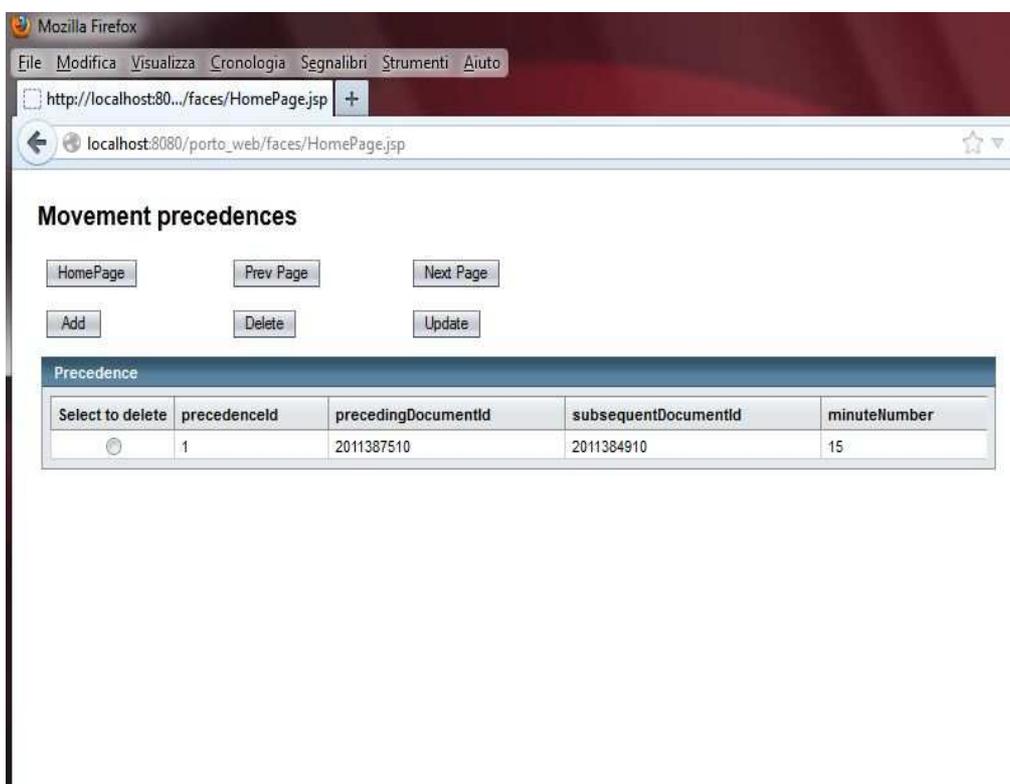


Figura 22: Figura 21: Glassfish-based web GUI per visualizzare, inserire e modificare le precedenze dei movimenti.

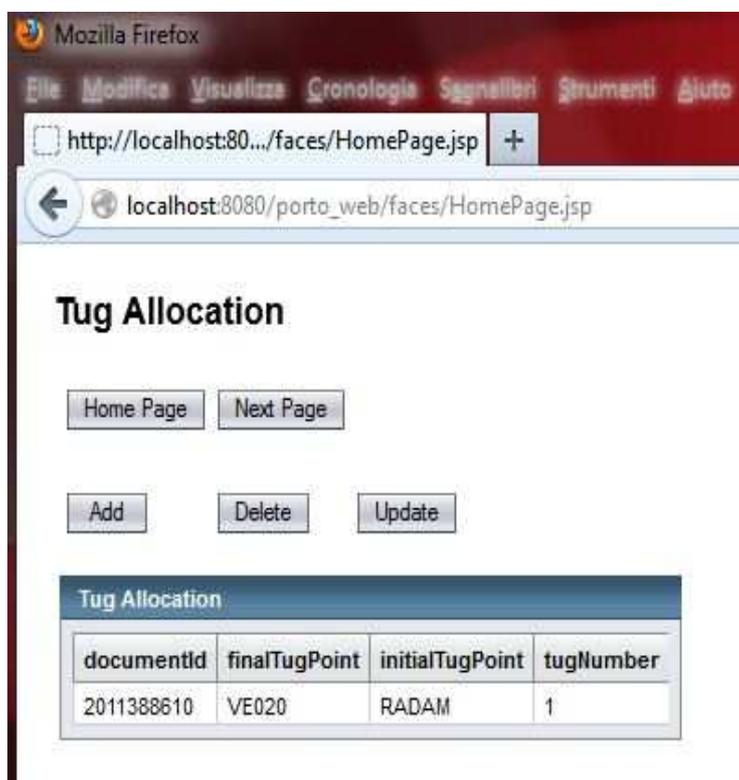
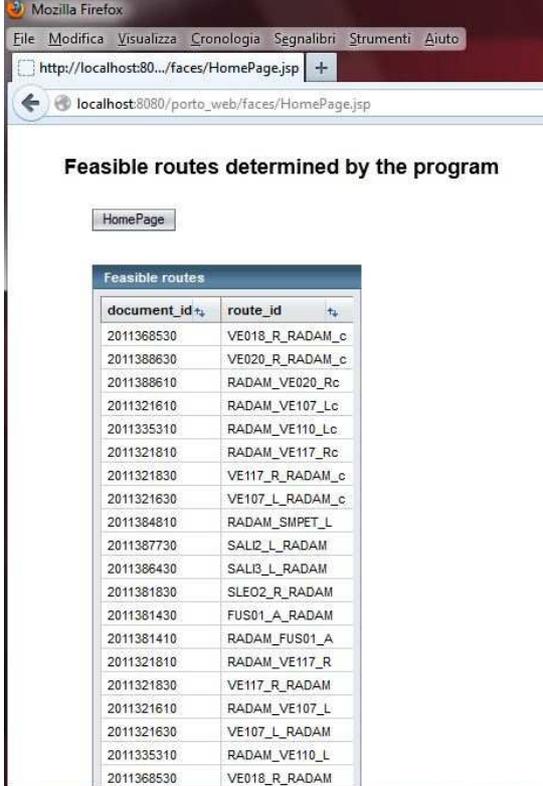


Figura 23: Glassfish-based web GUI per modificare l'allocamento dei rimorchiatori.



Feasible routes determined by the program

HomePage

document_id	route_id
2011368530	VE018_R_RADAM_c
2011388630	VE020_R_RADAM_c
2011388610	RADAM_VE020_Rc
2011321610	RADAM_VE107_Lc
2011335310	RADAM_VE110_Lc
2011321810	RADAM_VE117_Rc
2011321830	VE117_R_RADAM_c
2011321630	VE107_L_RADAM_c
2011384810	RADAM_SMPET_L
2011387730	SAL12_L_RADAM
2011386430	SAL13_L_RADAM
2011381830	SLE02_R_RADAM
2011381430	FUS01_A_RADAM
2011381410	RADAM_FUS01_A
2011321810	RADAM_VE117_R
2011321830	VE117_R_RADAM
2011321610	RADAM_VE107_L
2011321630	VE107_L_RADAM
2011335310	RADAM_VE110_L
2011368530	VE018_R_RADAM

Figura 24: Glassfish-based web GUI per visualizzare le rotte ammissibili determinate dal prototipo ICT.

2 Gestione, schedulazione e sviluppo di un prototipo ICT per il servizio degli arrivi e delle partenze delle navi

2.1 La metodologia per la gestione degli arrivi e delle partenze delle navi

Prima di presentare formalmente ed in dettaglio sia il problema di schedulazione / simulazione del traffico nautico nel porto di Venezia sia l'algoritmo risolutivo di questo problema, qui forniamo una descrizione sommaria dell'approccio che utilizziamo per la gestione degli arrivi e delle partenze delle navi.

In termini generali, per risolvere il problema di schedulazione / simulazione utilizziamo un metodo iterativo. Ad ogni iterazione: 1) dapprima determiniamo una sequenza di movimenti delle navi che siano ammissibili rispetto ai vincoli considerati; 2) data questa sequenza di movimenti ammissibili, scheduliamo un movimento alla volta in base alla sua posizione nella sequenza medesima. Ad ogni passo, questa metodologia minimizza in termini lessicografici sia il ritardo della nave in schedulazione sia il ritardo dell'utilizzo dei rimorchiatori per le manovre.

2.2 La definizione del modello e delle sue variabili

In questa sottosezione presentiamo il modello originale sviluppato per la schedulazione / simulazione del traffico nautico nel porto di Venezia.

Definizioni preliminari e la specificazione del Problema di Schedulazione Nautico

Il porto di Venezia è una rete di canali attraversati da due tipi di soggetti:

- Le navi i cui movimenti devono essere schedulati;
- I rimorchiatori.

I rimorchiatori sono agili imbarcazioni di dimensioni contenute che si spostano, o che trainano / accompagnano le navi tra punti predefiniti (indicati nel seguito con: punti rimorchiatore) quando la navigazione di queste stesse navi lo richieda. Ad esempio, ogni meganave da crociera in navigazione di fronte al centro storico di Venezia deve essere trainata / accompagnata da almeno due rimorchiatori, ciò al fine di evitare possibili collisioni della meganave medesima nel caso di perdita di controllo di quest'ultima.

A questo punto definiamo l'insieme V dei punti di all'interno del porto di Venezia che sono di interesse per la navigazione delle navi e dei rimorchiatori. In particolare, V comprende:



- I punti rimorchiatore, cioè gli ormeggi, le due rade (quella di Malamocco e quella del Lido), e gli altri punti in cui i rimorchiatori si incontrano con le navi, o le rilasciano, all'inizio / alla fine del loro servizio;
- I punti di connessione tra due canali;
- Altri punti di manovra. Ad esempio, punti diversi da quelli precedenti in cui una inizia o termina una particolare operazione quale una svolta.

Dopo la specificazione di V , definiamo lo stato di una nave. Quest'ultimo è dato dalla posizione e dalle condizioni operative della nave medesima. Queste informazioni, quali ad esempio, lo stato di navigazione ("All'ancora", "In navigazione utilizzando il motore", ...), la velocità e la rotta rispetto al terreno, sono usualmente fornite mediante i dati AIS. Una volta che si è specificato lo stato di ogni nave presente nel porto di Venezia, si definisce lo stato di quest'ultimo come l'insieme degli stati di tutte le navi ivi presenti. Infine, diciamo che un movimento (equivalentemente una richiesta di servizio) di una nave risulta schedulato (schedulata) quando si fornisce una descrizione "media" del movimento della nave stessa e dei rimorchiatori che la devono assistere. In dettaglio, un movimento è schedulato quando si forniscono:

- I tempi di inizio e di completamento del servizio;
- I tempi in cui la nave entra ed esce dai "tratti d'acqua" (canali, bacini, ...) che deve attraversare;
- I tempi in cui la nave incontra o viene rilasciata dai rimorchiatori che la devono assistere.

Si noti che sia i possibili percorsi della nave sia i possibili punti di incontro e di rilascio di quest'ultima con i rimorchiatori sono fissati a priori. In generale, quest'assunzione non è restrittiva in quanto la struttura del porto di Venezia non consente percorsi tra di loro alternativi per raggiungere un dato ormeggio da una rada e viceversa.

Ora possiamo definire il Problema di Schedulazione Nautico (indicato nel seguito con: PSN) come segue:

Dati un insieme M di richieste di movimenti, lo stato del porto di Venezia, la disponibilità di rimorchiatori, il PSN consiste nel determinare una schedulazione ottimale dei movimenti richiesti che sia ammissibile rispetto alle ordinanze della Capitaneria di Porto ed alle previsioni delle condizioni meteo-marine.

Poiché le Parti che hanno interessi nei movimenti delle navi sono molte, il concetto di ottimalità deve essere inquadrato in un contesto multi-obiettivo del tipo di quello di seguito specificato. Iniziamo con elencare le principali Parti che hanno interessi nei movimenti della navi:

- Le compagnie di navigazione;
- La compagnia di servizi dei rimorchiatori;
- L'Autorità Portuale e la Capitaneria di Porto.



Le compagnie di navigazione sono interessate a minimizzare i propri costi. In generale, la parte variabile di questi costi è funzione dei tempi delle operazioni necessarie per i movimenti richiesti. Poi, la compagnia di servizi dei rimorchiatori è interessata alla gestione efficiente dei propri mezzi. Ciò implica la minimizzazione sia dei tempi di servizio dei rimorchiatori sia dei tempi per gli spostamenti a vuoto di questi ultimi, cioè dei movimenti necessari ai rimorchiatori per spostarsi da dove termina un servizio a dove inizia il servizio successivo. Infine, il principale obiettivo dell'Autorità Portuale consiste nel massimizzare l'attrattività del porto, mentre la Capitaneria di Porto deve ottimizzare le attività portuali dal punto di vista della sicurezza e del benessere pubblico. Pertanto: 1) l'Autorità Portuale mira a minimizzare i costi operativi globali ed a massimizzare l'utilità percepita dei servizi; 2) la Capitaneria di Porto tende a fissare vincoli in termini di priorità tra i movimenti delle diverse tipologie di navi (ad esempio, a parità di altre condizioni, hanno massima priorità i movimenti di partenza delle navi che trasportano merci pericolose, hanno poi priorità i movimenti di arrivo/partenza delle navi passeggeri, ...).

Prendendo a prestito, seppur parzialmente, la terminologia utilizzata nella letteratura relativa alla schedulazione, iniziamo a dare le seguenti definizioni:

- Tempo di rilascio (*release time*): primo istante ammissibile per l'inizio di un movimento;
- Tempo di inizio (*starting time*): istante effettivo di inizio di un movimento;
- Scadenza (*deadline*): ultimo istante ammissibile per il termine di un movimento;
- Tempo di completamento (*completion time*): istante effettivo di completamento di un movimento;
- Tempo di flusso (*flow time*): differenza tra l'istante di completamento e l'istante di rilascio associati ad un movimento.

Inoltre, definiamo anche:

- Tempo di inattività (*idle time*): istante in cui un rimorchiatore sarebbe disponibile per assistere un movimento ma nel quale non sta servendo alcun movimento;
- Tempo di trasferimento (*transferring time*): tempo utilizzato da un rimorchiatore per raggiungere una nave per la quale iniziare un servizio;
- Tempo di navigazione (*navigation time*): tempo utilizzato da una nave per attraversare un tratto d'acqua od una sua parte;
- Tempo di movimento (*movement timing*): funzione che mappa la posizione della nave sul tempo.

Date le precedenti definizioni, una soluzione del PSN consiste nella individuazione dei tempi di servizio (ammissibili) dei movimenti relativi al PSN considerato. In particolare, una soluzione del PSN è ammissibile se i tempi di completamento di tutti i movimenti sono minori o uguali alle corrispondenti scadenze. Inoltre, in linea di massima, possiamo assumere che:

- Una soluzione è ottima per le compagnie di navigazione se essa minimizza i tempi di flusso delle loro navi;
- Una soluzione è ottima per la compagnia di servizi dei rimorchiatori se essa minimizza sia i tempi di inattività sia i tempi di trasferimento dei rimorchiatori;

- Infine, una soluzione è ottima per l’Autorità Portuale e per la Capitaneria di Porto se essa minimizza sia un’opportuna media pesata delle quantità di interesse per gli *stakeholder* sia il numero totale di rimorchiatori.

Con particolare riferimento all’ultimo punto, si noti che: 1) noi modellizziamo l’ottimalità dal punto di vista dell’Autorità Portuale e della Capitaneria di Porto mediante una media pesata di quantità di interesse al fine di poter tener conto della diversa importanza delle varie tipologie di navi; 2) noi proponiamo la minimizzazione del numero di rimorchiatori in quanto questo numero costituisce un costo fisso per il porto indipendentemente da quanto essi vengono utilizzati.

Definizione delle ipotesi di lavoro e specificazione dei vincoli

Il PSN considerato è un problema di schedulazione e non di *routing*, pertanto possiamo assumere quanto segue.

Ipotesi - I dati di input consistono nell’elenco dei movimenti richiesti. Ognuno dei movimenti elencati è definito da:

- *La descrizione della nave considerata e la descrizione del suo carico;*
- *L’ormeggio di partenza;*
- *L’ormeggio arrivo;*
- *Il tempo di rilascio del movimento considerato;*
- *La scadenza del movimento considerato;*
- *Il numero di rimorchiatori necessari per il movimento considerato e, per ognuno di questi rimorchiatori, i punti di incontro con la e di rilascio della nave da assistere.*

Con un minimo abuso di terminologia, noi definiamo come ormeggi anche le due rade (quella di Malamocco e quella del Lido). Ad esempio, il movimento associato ad uno sbarco di una nave da crociera nel (rispettivamente: una partenza dal) il porto di Venezia ha come ormeggio di partenza la rada del Lido (rispettivamente: uno degli ormeggi della stazione Marittima) e come arrivo uno degli ormeggi disponibili della stazione Marittima (rispettivamente: la rada del Lido). In generale, la specificazione dei soli ormeggi di partenza e di arrivo è sufficiente per identificare un’unica rotta all’interno del porto. Nei casi (rari) in cui siano possibili più rotte, si utilizzeranno gli altri dati di input per individuare quale sarà la rotta da seguire.

I movimenti delle navi sono soggetti a differenti tipologie di vincoli imposti dalla Capitaneria di Porto. Questi vincoli possono essere classificati in due principali insiemi: i vincoli in tempo reale ed i vincoli di sequenziamento.

L’insieme dei vincoli in tempo reale comprende tutti i vincoli il cui soddisfacimento può essere verificato solo dopo che si sia fissata una tempistica dei movimenti delle navi. I vincoli di seguito elencati, il cui soddisfacimento è funzione dei tempi in cui le navi in oggetto effettuano le loro manovre, sono possibili esempi di vincoli in tempo reale:



- Vincoli sul pescaggio: vincoli che impediscono la navigazione in taluni tratti d'acqua e l'approdo ad alcune banchine a quelle navi il cui pescaggio sia superiore ad una data soglia;
- Vincoli sulle manovre notturne: vincoli che, per motivi di sicurezza, impediscono le manovre notturne alle navi che trasportano merci pericolose;
- Vincoli di attraversamento: vincoli che impediscono la navigazione di taluni tratti d'acqua a navi caratterizzate da un'elevata larghezza;
- Vincoli di distanza: vincoli che impongono una distanza minima tra due navi che seguono una stessa rotta all'interno del porto.

L'insieme dei vincoli di sequenziamento comprende tutti i vincoli il cui soddisfacimento può essere verificato solo dopo che si sia fissata una sequenza dei movimenti delle navi. I vincoli di seguito elencati sono possibili esempi di vincoli di sequenziamento:

- Vincoli sulla disponibilità degli ormeggi: vincoli che impediscono a due navi di utilizzare contemporaneamente lo stesso ormeggio;
- Vincoli sull'accessibilità agli ormeggi: vincoli che impediscono ad una nave di accedere ad un dato ormeggio se gli ormeggi di altre navi ne bloccano i canali di accesso.

Modellizzazione dei tratti d'acqua del porto

La modellizzazione dei vari tratti d'acqua del porto deve tenere in considerazione tre diversi punti di vista:

- Quello della Capitaneria di Porto;
- Quello delle navi;
- Quello dei rimorchiatori.

Sotto il primo punto di vista, la Capitaneria di Porto vede i tratti d'acqua in termini delle loro caratteristiche fisiche e delle manovre ed operazioni consentite al loro interno. In particolare, la Capitaneria di Porto è interessata a specificare un insieme di pochi e semplici vincoli per la sicurezza della navigazione. La ovvia logica sottostante a questa scelta è che gli incidenti possono essere facilmente evitati quando le regole da rispettare sono note e, più in generale, quando sono poche e semplici da memorizzare e da aggiornare. In questo contesto, la Capitaneria di Porto descrive la rete dei canali del porto di Venezia come un ipergrafo $H = (V, E_H)$ in cui gli iperlati presenti nell'insieme E_H corrispondono ai canali fisici del porto ed i vertici presenti nell'insieme V sono i punti di navigazione. Di fatto, quasi ognuno dei vincoli che formalizzano le ordinanze della Capitaneria di Porto può essere associato ad un'iperlato o ad un ormeggio. Solo in pochissimi casi un'ordinanza della Capitaneria di Porto coinvolge un sottoinsieme di ormeggi appartenenti allo stesso iperlato.

Sotto il secondo punto di vista, le navi vedono i tratti d'acqua in termini di "frazioni" delle loro rotte. Pertanto, le navi modellizzano la rete dei canali del porto come un grafo $G = (V, E)$ indotto dall'ipergrafo H . In dettaglio, l'insieme dei vertici V è quello stesso considerato nell'ipergrafo H , mentre l'insieme dei lati E è definito come:



$E = \{(i, j): \text{per tutte le coppie } i, j \text{ appartenenti a } e_H, \text{ per ogni } e_H \text{ appartenente a } E_H\}$.

D'ora in avanti diciamo che un iperlato e_H è “padre” di $e = (i, j)$ se la coppia i, j appartiene a e_H . Inoltre diciamo che un lato e è “di base” se entrambi i suoi estremi non sono ormeggi.

Una conseguenza derivante dal definire G sulla base di H è che risulta agevole specificare una regola detta di ereditarietà per individuare i vincoli di navigazione associati a ciascun lato e appartenente ad E in termini di vincoli sul suo iperlato padre e_H appartenente a E_H . A ciò si accompagna il fatto che l'analisi statistica dei dati AIS permette di stimare la distribuzione empirica di probabilità dei tempi di navigazione di ciascuna nave sui lati di G . A partire da queste stime noi deriviamo un insieme $\Omega(e, m)$ dei tempi di navigazione ammissibili per ogni lato e appartenente ad E e per ogni movimento m appartenente a M .

Sotto il terzo punto di vista, i rimorchiatori non sono soggetti a vincoli particolari e vedono il porto come un “semplice” insieme di punti in cui poter iniziare o finire i loro servizi. Pertanto, i rimorchiatori modellizzano la rete dei canali del porto come un grafo completo $G_T = (V_T, E_T)$ indotto dai punti rimorchiatore in V_T , sottoinsieme di V , in cui ad ogni lato (i, j) appartenente a E_T risulta associato un tempo di trasferimento $\tau(i, j)$ necessario al generico rimorchiatore per spostarsi dal punto i al punto j .

2.3 Il prototipo per la gestione degli arrivi e delle partenze delle navi

In questa sottosezione presentiamo l'algoritmo che è stato sviluppato per la risoluzione del PSN considerato e che è stato codificato nel prototipo ICT. Questo prototipo è stato sviluppato ed implementato in ambiente Java.

Le ordinanze della Capitaneria di Porto stabiliscono alcune priorità tra i movimenti delle diverse tipologie di navi. Ad esempio, i movimenti delle navi passeggeri hanno una priorità maggiore rispetto ai movimenti delle navi cargo generiche, ma hanno una priorità minore rispetto ai movimenti in uscita dal porto delle navi di tipo HazMat. Queste priorità impongono: 1) che la schedulazione delle navi debba essere organizzata per gruppi di navi i cui movimenti hanno la medesima priorità; 2) che le navi i cui movimenti hanno priorità maggiore vengano schedulate prima delle navi i cui movimenti hanno priorità minore; 3) che tra due navi i cui movimenti hanno la stessa priorità, la precedenza nella schedulazione venga data alla nave il cui movimento causa il minor ritardo al movimento dell'altra. Ad esempio, nel caso in cui due navi in partenza dal porto abbiano lo stesso tempo di rilascio e debbano attraversare lo stesso tratto d'acqua, verrà schedulata per prima la nave più vicina alla bocca di porto in quanto la sua rotta non incrocerà la rotta dell'altra nave. Tali priorità possono essere violate nel caso in cui i livelli di marea impediscano la schedulazione di navi i cui movimenti hanno priorità maggiore rispetto ai movimenti di altre navi. Un'altra possibilità di violazione si ha nel caso in cui una nave alla quale è associata una data priorità si inserisca in un convoglio di navi alle quali è associata una priorità maggiore. Al riguardo si pone in evidenza che non risulta codificata alcuna regola formale per gestire quest'ultimo tipo di situazioni.



Per risolvere il PSN considerato utilizziamo un'euristica di ricerca locale. Ad ogni iterazione di questa euristica: 1) dapprima si prova a determinare una sequenza σ dei movimenti in M che sia ammissibile rispetto ai vincoli di sequenziamento; 2) poi, nel caso di esito positivo, si schedula un movimento alla volta in base alla sua posizione in σ . Questa euristica ad ogni iterazione minimizza lessicograficamente in maniera *greedy* i ritardi della nave in corso di schedulazione e dei rimorchiatori necessari per servirla.

In estrema sintesi, il nostro algoritmo risolutivo esegue iterativamente i seguenti passi:

0. Inizializzazione.
1. Generazione di una sequenza provvisoria σ .
2. Valutazione e correzione di σ .
3. Definizione di una schedulazione per ogni movimento.
4. Valutazione della schedulazione globale ed eventuale reiterazione dell'algoritmo.

D'ora in avanti, con la notazione $\sigma(r)$ indichiamo il movimento in posizione r nella sequenza σ che deve effettuare la nave $v(r)$, e con n indichiamo il numero totale di movimenti.

Nel seguito descriviamo in dettaglio ognuno dei passi dell'algoritmo risolutivo.

Inizializzazione

Nella fase di inizializzazione semplicemente:

- 1) settiamo una schedulazione ottima provvisoria uguale a *null*;
- 2) settiamo un costo ottimo provvisorio uguale a infinito;
- 3) settiamo le priorità dei movimenti presenti in M sulla base delle ordinanze della Capitaneria di porto.

I valori di questi oggetti (la schedulazione ottima, il costo ottimo e le priorità) verranno aggiornati iterativamente dall'algoritmo durante la ricerca locale della soluzione ottima del PSN investigato.

In questa fase l'algoritmo determina e memorizza una schedulazione provvisoria utilizzando:

- Il campionamento dello stato delle navi quando queste visitano i punti di navigazione lungo la loro rotta;
- Il campionamento della posizione dei rimorchiatori all'inizio ed al completamento dei loro servizi.

Così facendo, ad ogni istante è possibile determinare: 1) per ogni nave, il tratto d'acqua in cui sta correntemente navigando; 2) per ogni rimorchiatore, se sta correntemente servendo una nave e, nel caso, i relativi tempi e luoghi di inizio e di completamento del servizio; altrimenti, se è correntemente inattivo, i tempi ed i luoghi di inizio e di completamento del precedente e del successivo servizio.

Generazione di una sequenza provvisoria σ



Iniziamo con osservare preliminarmente che:

- Ai fini della determinazione di σ non vengono tenuti in considerazione né vincoli temporale né vincoli a tempo reale;
- Nessuna nave effettua più di due movimenti in un giorno. In particolare, quando sono effettuati esattamente due movimenti in un giorno, il primo è di arrivo ed il secondo è di partenza;
- Orientando i lati del grafo $G = (V, E)$ in accordo con le rotte seguite dalle navi in arrivo nel (rispettivamente, in partenza dal) porto non si forma alcun ciclo orientato.

Ora utilizziamo queste osservazioni per produrre come indicato nella procedura che segue una prima sequenza σ ammissibile rispetto ai vincoli di sequenziamento.

1) Generare σ .

- 1.1) Partizionare l'insieme dei movimenti M in tre insiemi: l'insieme dei movimenti relativi all'arrivo e relativi alla partenza associati ad una stessa nave, ADM ; l'insieme dei rimanenti movimenti relativi a partenze, DM ; l'insieme dei rimanenti movimenti relativi ad arrivi, AM .
- 1.2) Selezionare iterativamente un movimento d relativo alle partenze appartenente a DM da inserire in coda alla sequenza σ . Il movimento d deve essere scelto in maniera tale da:
 - 1.2.1) Poter essere eseguito rispettando gli altri movimenti presenti nella sequenza ed assumendo che questi ultimi siano già stati completati;
 - 1.2.2) Avere la più alta priorità tra tutti i movimenti candidati a poter essere scelti;
 - 1.2.3) Eventualmente violare il minor numero possibile di vincoli.
- 1.3) Selezionare iterativamente una coppia di movimenti relativi all'arrivo, movimento a , ed alla partenza, movimento b , associati ad una stessa nave, entrambi appartenenti ad ADM , da inserire in coda alla sequenza σ . I movimenti a e b devono essere scelti in maniera tale da poter rispettare le regole specificate ai punti 2.1)-2.2) della successiva procedura. La maggiore delle priorità dei due movimenti identifica la priorità della coppia di movimenti.
- 1.4) Selezionare iterativamente un movimento c relativo agli arrivi appartenente ad AM . Il movimento c deve essere scelto in maniera tale da:
 - 1.4.1) Poter essere eseguito rispettando gli altri movimenti presenti nella sequenza ed assumendo che questi ultimi siano già stati completati;
 - 1.4.2) L'ormeggio della nave associata al movimento di arrivo in oggetto non deve impedire l'esecuzione di un movimento successivo;
 - 1.4.3) Avere la più alta priorità tra tutti i movimenti candidati a poter essere scelti;
 - 1.4.4) Eventualmente violare il minor numero possibile di vincoli.
- 1.5) Una volta terminato di eseguire il passo 1.4, se qualche movimento presente negli insiemi DM , ADM e AM non è stato inserito nella sequenza σ allora si deve arrestare l'esecuzione della procedura in quanto non è possibile alcuna schedulazione ammissibile.
- 1.6) Per $s = 1$ a $n-1$

Per $q = s$ a $n-1$

Se la priorità di $\sigma(q+1) >$ la priorità di $\sigma(q)$ e se l'esecuzione di $\sigma(q+1)$ non impedisce l'esecuzione di $\sigma(q)$ dopo il completamento di $\sigma(q+1)$ allora nella sequenza σ scambiare fra di loro $\sigma(q+1)$ e $\sigma(q)$.

1.7) Restituire σ .

Quando al passo 1.5 l'algoritmo risolutivo si arresta, si richiede l'intervento di un operatore umano. Infatti, in questo caso l'algoritmo restituisce il movimento che non è in grado di schedulare ed una semplice motivazione per l'impossibilità di effettuare tale schedulazione. Ad esempio, l'algoritmo potrebbe segnalare che un movimento richiesto non è effettuabile perchè esso non è consentito dalle ordinanze della Capitaneria di Porto. Poi spetterà all'operatore umano decidere se rilassare, o meno, i vincoli che rendono impossibile la schedulazione. Appare ragionevole che quest'ultimo tipo di decisioni "eccezionali" debba essere preso da un operatore umano piuttosto che da un algoritmo, ciò per ovvie ragioni di sicurezza e di natura economica.

Valutazione e correzione di σ

In questa fase si effettuano la valutazione e la correzione della sequenza σ come indicato nella procedura che segue.

2) Valutazione_ σ .

2.1) Per $s = 1$ a $n-1$

Se (priorità di $\sigma(s) <$ priorità di $\sigma(s+1)$) allora

{

Verificare se l'esecuzione del movimento $\sigma(s)$ è necessaria, o meno, per effettuare l'esecuzione del movimento $\sigma(s+1)$.

In caso di risposta negativa, segnalare l'anomalia ad un operatore umano per eventuali modifiche delle priorità associate ai due movimenti considerati.

}

2.2) Qualora le modifiche delle priorità effettuate dall'operatore causino una differente sequenza σ allora si deve rieseguire l'algoritmo dal passo 1, altrimenti si deve restituire σ .

Si noti che, dato il passo 1.7, l'algoritmo può richiedere l'attenzione di un operatore umano al passo 2.1 quando l'esecuzione di un movimento $\sigma(s)$ di data priorità è bloccata dall'esecuzione di un movimento $\sigma(s+1)$ di maggiore priorità. In questo caso l'esecuzione dell'algoritmo non viene arrestata come accade al passo 1.5 ma, meno invasivamente, viene inviato un avvertimento ad un operatore umano. Come possibili conseguenze di questo avvertimento, l'operatore umano può decidere di aumentare (rispettivamente, diminuire) la priorità del movimento $\sigma(s)$ (rispettivamente, $\sigma(s+1)$), oppure individuare un ormeggio diverso rispetto a quello prefissato. Ovviamente, l'operatore umano può anche decidere di ignorare l'avvertimento dell'algoritmo. Così facendo, l'operatore umano attribuisce implicitamente al movimento $\sigma(s)$ una priorità maggiore rispetto alla priorità del movimento $\sigma(s+1)$. Inoltre, si ha un'analogia attribuzione implicita di priorità quando è necessario effettuare un movimento $\sigma(s)$ avente priorità inferiore prima di poter eseguire un movimento $\sigma(s+1)$ avente priorità superiore.

Definizione di una schedulazione per ogni movimento

Iniziamo con il presentare la seguente tabella in cui si riporta la distribuzione delle frequenze assolute empiriche dei tempi di navigazione di più di 21000 movimenti di navi aventi stazza lorda maggiore o uguale a 1.500 t avvenuti tra il 2009 ed il 2012.

Tempo di navigazione	N. di movimenti	%
00:00 - 00:29	133	0,62%
00:30 - 00:59	1,423	6,60%
01:00 - 01:29	5,846	27,11%
01:30 - 01:59	11,298	52,39%
02:00 - 02:29	2,620	12,15%
02:30 - 02:59	172	0,80%
03:00 - 03:29	42	0,19%
03:30 - 03:59	15	0,07%
04:00 - 04:29	12	0,06%
04:30 - 04:59	3	0,01%
05:00 - 05:29	2	0,01%
05:30 -	6	0,03%
Totale	21,566	100,00%

Tabella 1: Distribuzione dei tempi di navigazione.

Proseguiamo con il proporre la regola generale secondo la quale una nave non dovrebbe fermarsi durante la sua rotta all'interno del porto fino all'avvenuto raggiungimento della sua destinazione. In coerenza con tale proposta, operativamente si implementa una *policy* di gestione simile a quella utilizzata in aviazione, nota come *ground-holding*, secondo la quale un movimento (di una nave nel nostro caso) può iniziare solo quando si ha la certezza che tale movimento possa concludere senza rallentamenti o fermate significative. In particolare, note le condizioni meteo-marine, possiamo determinare la differenza tra il tempo di navigazione minimo ed il tempo di navigazione massimo entro il 20% di quest'ultimo.

In questo contesto si effettua la schedulazione dei movimenti presenti in σ come indicato nella seguente procedura di tipo *greedy*.

3) Schedulare_i_movimenti_in_ σ .

3.1) Per $s = 1$ a n

Schedulare il movimento $\sigma(s)$ minimizzando sia il suo ritardo sia il numero di rimorchiatori assumendo come date le schedulazioni dei movimenti precedenti.

Di seguito si descrive come effettuare la schedulazione del generico movimento $\sigma(s)$ utilizzando una griglia spazio-tempo G . A tal fine si ricorda che un percorso $P(s)$ sul grafo $G = (V, E)$ è associato al movimento $\sigma(s)$. Preliminarmente si devono dare le seguenti definizioni:

- $V(s) = \{i_1, i_2, \dots, i_p\}$: l'insieme ordinate dei vertici in $P(s)$. In particolare, i_1 è il vertice associato all'ormeggio di partenza, i_p è il vertice associato all'ormeggio di arrivo, i rimanenti vertici sono i punti di navigazione visitati dalla nave lungo la rotta;
- T : l'insieme di interesse degli istanti discreti di tempo, tipicamente i minuti della giornata;
- W : l'insieme di tutte le possibili coppie (i, t) appartenenti a $V(s) \times T$.

Ora possiamo definire la griglia spazio-tempo G come:

$$G = (W \cup \{\text{source}, \text{sink}\}, E),$$

In cui l'insieme degli archi E comprende i seguenti archi:

- $(\text{source}, (i_1, t_1))$ che unisce il nodo di partenza con il nodo (i_1, t_1) per ogni t_1 appartenente a T che sia ammissibile come istante di inizio del movimento;
- $((i_k, t_k), (i_{k+1}, t_{k+1}))$ per ogni coppia di vertici consecutivi i_k, i_{k+1} appartenenti a $P(s)$ e per tutti gli istanti t_k, t_{k+1} appartenenti a T tali che $t_{k+1} - t_k$ sia un tempo di navigazione ammissibile, appartenente a $\Omega((i_k, i_{k+1}), \sigma(s))$, da i_k to i_{k+1} per la nave $v(s)$ (si noti che così facendo, la nave $v(s)$, che naviga lungo l'arco (i_k, i_{k+1}) , non viola alcun vincolo dati sia lo stato iniziale del porto sia le schedulazioni relative a tutte le navi precedenti $v(r)$, con $r = 1, \dots, s-1$);
- $((i_p, t_p), \text{sink})$ per ogni tempo t_p appartenente a T che sia anche un tempo di completamento ammissibile per il movimento in oggetto.

Ad ogni arco si associa un costo. In particolare, si associa il costo t_1 ad ogni arco $(\text{source}, (i_1, t_1))$, si associa il costo $t_{k+1} - t_k$ ad ogni arco $((i_k, t_k), (i_{k+1}, t_{k+1}))$, e si associa il costo 0 ad ogni arco $((i_p, t_p), \text{sink})$.

A questo punto, in corrispondenza di ogni nodo ammissibile (i_1, t_1) , si considera un percorso $p(t_1)$ a costo minimo avente costo $c(t_1)$ che unisce il nodo di partenza con il nodo di arrivo e che, ovviamente, comprenda (i_1, t_1) .

Poi si indica con $P(s)$ l'insieme di tutti i possibili percorsi a costo minimo (si noti che ognuno di questi percorsi a costo minimo individua una possibile tempistica per il movimento $\sigma(s)$); successivamente si ordinano i percorsi a costo minimo in $P(s)$ sulla base dei tempi di completamento t_p a loro associati. Nel caso in cui percorsi a costo minimo avessero associati lo stesso tempo di completamento allora, in accordo con la *policy* di gestione *ground-holding*, si considera come primo il percorso a costo minimo al quale è associato il tempo di inizio t_1 successivo tra i due. Una volta che $P(s)$ è stato ordinato, si cerca il primo percorso a costo minimo $p^*(t_1)$ appartenente a $P(s)$ per il quale ci siano rimorchiatori che possano servire la nave $v(s)$. Se un tale percorso a costo minimo viene individuato allora il movimento $\sigma(s)$ è associato a questo stesso percorso.

Infine, per determinare quali rimorchiatori possano servire la nave $v(s)$, si risolve un problema di assegnazione standard. In particolare, dato un percorso a costo minimo $p(t_1)$ appartenente a $P(s)$, è possibile dedurre da questo percorso l'istante ed il nodo di inizio (rispettivamente, di completamento) del servizio dei rimorchiatori necessari per eseguire il movimento $\sigma(s)$. Al riguardo, si indichino con $t_b(k)$ e $q_b(k)$ (rispettivamente, $t_e(k)$ e $q_e(k)$) l'istante ed il punto rimorchiatore di inizio (rispettivamente, di completamento) del generico servizio k . Noti questi ultimi istanti, è possibile dedurre quali tra i rimorchiatori possano servire la nave $v(s)$, dati i servizi già effettuati. Più formalmente, si consideri un generico rimorchiatore h , si indichino con $\underline{t}_b(h)$ e $\underline{q}_b(h)$ (rispettivamente, $\underline{t}_e(h)$ e $\underline{q}_e(h)$) l'istante ed il punto rimorchiatore di inizio (rispettivamente, di completamento) del primo (rispettivamente, ultimo) servizio effettuato da h dopo l'istante $t_e(k)$ (rispettivamente, prima dell'istante $t_b(k)$). Allora il rimorchiatore h potrà effettuare il servizio k :

- Se è inattivo tra gli istanti $\underline{t}_e(h)$ e $\underline{t}_b(h)$;
- Se $t_b(k) - \underline{t}_e(h) \geq \tau(\underline{q}_e(h), q_b(k))$, nel qual caso il rimorchiatore h , per raggiungere il punto rimorchiatore di inizio del servizio k , ha a propria disposizione un intervallo temporale maggiore o uguale al tempo di trasferimento necessario al rimorchiatore medesimo per percorrere l'arco $(\underline{q}_e(h), q_b(k))$ del grafo $G_T = (V_T, E_T)$;
- Se $\underline{t}_b(k) - t_e(h) \geq \tau(q_e(h), \underline{q}_b(k))$, nel qual caso il rimorchiatore h , per raggiungere il punto rimorchiatore di inizio del servizio immediatamente successivo a k , ha a propria disposizione un intervallo temporale maggiore o uguale al tempo di trasferimento necessario al rimorchiatore medesimo per percorrere l'arco $(q_e(h), \underline{q}_b(k))$ del grafo $G_T = (V_T, E_T)$.

Ora, con riferimento ad ogni coppia servizio-rimorchiatore, (k, h) , si definisce un costo di servizio uguale a:

$$\gamma(k, h) = \tau(\underline{q}_e(h), q_b(k)) + \tau(q_e(h), \underline{q}_b(k)).$$

Poi si scelgono i rimorchiatori che possono servire il movimento $\sigma(s)$ secondo la tempistica specificata dal percorso a costo minimo $p(t_1)$ in maniera tale da minimizzare il seguente costo totale del servizio:

$$\gamma^*(s) = \min \sum_k \sum_h \gamma(k, h).$$

Nel caso in cui non fosse disponibile il numero necessario di rimorchiatori per servire il movimento $\sigma(s)$ secondo la tempistica specificata dal percorso a costo minimo $p(t_1)$, il percorso a costo minimo $p(t_1)$ viene dichiarato inammissibile.

Valutazione della schedulazione globale ed eventuale reiterazione dell'algoritmo

Al termine della determinazione della tempistica associata ad ogni movimento $\sigma(s)$, si valuta la schedulazione così ottenuta secondo quanto indicato nella seguente procedura.

4) Valutare_la_schedulazione_globale.

4.1) Se si individua un $p^*(t_1)$ per $\sigma(s)$ allora andare al passo 4.2, altrimenti:

- 4.1.1) Verificare, mediante una tecnica di enumerazione implicita, se esista un percorso a costo minimo ammissibile per $\sigma(s)$ che sia alternativo a quello individuato;
- 4.1.2) Se un tale $p^*(t_1)$ alternativo per $\sigma(s)$ esiste allora schedulare i movimenti $\sigma(s)$ in accordo a tale $p^*(t_1)$ alternativo ed andare al passo 4.2, altrimenti:
- 4.1.2.1) Se l'algoritmo non si arresta allora: o perturbare opportunamente le priorità associate ai movimenti considerati ed andare al passo 1; o assegnare un costo uguale a infinito alla corrente schedulazione and andare al passo 4.2.1.
- 4.2) Se $s < n$ allora andare al passo 3.1) per schedulare il movimento successive, altrimenti:
- 4.2.1) Confrontare la schedulazione corrente con quella ottima temporanea e, nel caso la schedulazione corrente sia migliore, porre quest'ultima come nuova schedulazione ottima temporanea;
- 4.2.2) Se l'algoritmo si arresta allora restituire la schedulazione ottima temporanea, altrimenti:
- 4.2.2.1) Perturbare opportunamente le priorità ed i tempi di rilascio associati ai movimenti considerati ed andare al passo 1.

Di seguito descriviamo: 1) come valutare il costo associato alla schedulazione corrente; 2) come perturbare le priorità ed i tempi di rilascio associati ai movimenti al fine di migliorare l'euristica di ricerca locale.

Con riferimento al costo, noi valutiamo il costo associato ad una schedulazione come una somma pesata dei ritardi associati ai vari movimenti più il totale pesato dei tempi di trasferimento dei rimorchiatori necessari per la schedulazione in oggetto. Formalmente:

$$C = \sum_{s \text{ appartenente a } M} \alpha(s)(t_p^*(s) - t_{\min}(s)) + \beta \sum_{s \text{ appartenente a } M} \gamma^*(s),$$

in cui: $\alpha(s)$ è una stima del costo di ogni unità di tempo di ritardo del movimento $\sigma(s)$ (tipicamente, $\alpha(s)$ è funzione della priorità del movimento e del tipo di nave); $t_p^*(s)$ è il tempo di completamento suggerito dall'algoritmo risolutivo; $t_{\min}(s)$ è il minimo tempo di completamento che si potrebbe avere se il movimento medesimo iniziasse esattamente al tempo di rilascio ad esso associato e se la durata del movimento in oggetto fosse la minima tra quelle ammissibili; β è una stima del costo di ogni unità di tempo di trasferimento dei rimorchiatori necessari per la schedulazione.

Con riferimento alle perturbazioni, ci sono due casi in cui queste si possono avere:

- Quando l'algoritmo non è in grado di trovare una schedulazione ammissibile per il movimento corrente $\sigma(s)$ (si veda il passo 4.2.1.2);
- Quando l'algoritmo reinizializza la schedulazione al fine di trovare una nuova schedulazione ammissibile (si veda il passo 4.2.2.1).



Nel primo dei due casi viene solo aumentata la priorità associata al movimento corrente in maniera tale che, all'iterazione successiva, questo movimento possa essere schedato prima dei movimenti che attualmente ne impediscono la schedazione. Al riguardo si noti che se la priorità associata al movimento è già quella massima allora l'incremento di quest'ultima risulta inutile e l'algoritmo si arresta. Nel secondo dei due casi, si possono perturbare casualmente le priorità associate a tutti i movimenti da schedare di un valore minore o uguale ad una prefissata soglia δ specificata dall'operatore umano. In particolare, data la schedazione ottima temporanea, si aumenta la priorità associata ai movimenti particolarmente in ritardo secondo quest'ultima schedazione e si diminuisce la priorità associata ai movimenti poco in ritardo. Analogamente si perturbano anche i tempi di rilascio di un valore minore o uguale ad una prefissata soglia Δ specificata dall'operatore umano (tipicamente, Δ è uguale a 30 minuti). La logica sottostante a questa scelta consiste nel verificare se esistano delle buone schedazioni una volta che i vincoli sui tempi di rilascio siano stati leggermente rilassati. Si noti che un tale rilassamento non dovrebbe costituire un problema in quanto, in generale, le compagnie di navigazione specificano dei tempi di rilascio indicativi.

3 Le alternative per raggiungere Marittima

Obiettivo di questa sezione è studiare attraverso il modello precedentemente descritto, la migliore soluzione, tra le tre ipotesi progettuali identificate dall’Autorità Portuale. Sono stati quindi presi in considerazione 3 possibili percorsi di canali lagunari: il canale Contorta-Sant’Angelo, il canale Trezze, il canale Vittorio Emanuele III.

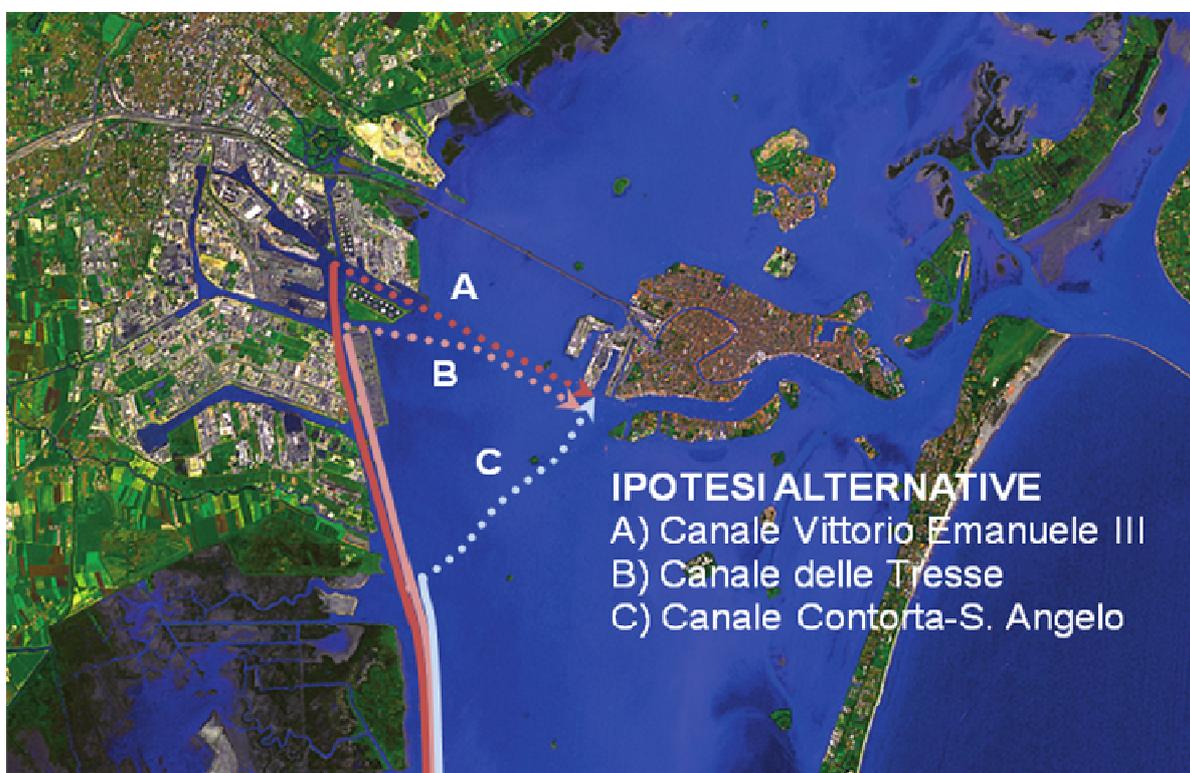


Figura 1: Le ipotesi alternative.

3.1 Situazione attuale

Le ordinanze della Capitaneria di Porto di Venezia, data la conformazione fisica dei canali del porto, ed in particolare la larghezza degli stessi, impongono la navigazione a senso unico alternato di pressoché tutte le unità navali di interesse per questo studio.

Per gestire tale criticità il traffico viene in genere organizzato in convogli, ovvero raggruppando le navi con analogo movimento di entrata ed uscita consentendo così di evitare possibili conflitti.



L'ordine all'interno del convoglio viene stabilito sulla base della tipologia di nave, della localizzazione degli ormeggi di partenza o di destinazione di ogni singola nave, evitando così rallentamenti lungo il canale. Ad esempio una nave diretta al canale Nord precede una nave diretta al canale Sud, per evitare che quest'ultima rallenti l'intero convoglio in entrata durante la fase di manovra nel bacino di evoluzione.

La formazione dei convogli, la loro composizione, l'ordine di ingresso-uscita nonché l'orario di transito dipende inoltre da una molteplicità di altri fattori¹ dati da vincoli sia fisici sia di carattere operativo-commerciale.

Va considerato poi che la Capitaneria di Porto assoggetta il traffico lungo il canale Malamocco-Marghera a limitazioni di transito nelle ore notturne per le navi di notevole pescaggio; ciò impone l'attesa in rada o in banchina qualora la schedulazione di tali unità non riesca ad essere pianificate all'interno dei convogli giornalieri.

Attualmente tali criticità vengono gestite da Capitaneria di Porto con l'ausilio della cooperativa dei Piloti che quotidianamente programmano la sequenza degli accessi.

3.2 Situazione futura

Nei prossimi anni, a seguito degli investimenti fatti dall'Autorità Portuale, il traffico commerciale lungo il canale Malamocco-Marghera probabilmente aumenterà rispetto alla situazione attuale per effetto del traffico traghetti, che servirà il nuovo terminal di Fusina, del traffico commerciale afferente alle nuove aree logistiche previste nell'area ex Montefibre e di quello di riconversione industriale.

L'utilizzo di tale canale di accesso anche per le navi da crociera provenienti o destinate a Marittima provocherebbe il sommarsi di due tipologie di traffico differenti (passeggeri da / verso Marittima e merci da / verso Marghera).

3.3 Scopo dell'analisi, dati di partenza e ipotesi di lavoro

Per riuscire a quantificare i principali effetti di una futura commistione tra traffico merci e passeggeri nell'area di Marghera si è effettuata un'analisi che, prendendo in considerazione

¹ A puro titolo di esempio si riportano alcune necessità che condizionano i criteri di formazione e gestione dei convogli:

- necessità per le navi di grandi dimensioni di entrare con determinate condizioni di marea per sfruttare il massimo pescaggio;
- necessità di gestire prioritariamente navi cadenzate come ad esempio traghetti o navi portacontainer di linea;
- necessità di far uscire dal porto prima possibile navi che trasportano merci pericolose;
- necessità di utilizzare una risorsa scarsa come i rimorchiatori a seconda della tipologia di nave e della pericolosità delle merci trasportate.

specifiche giornate di traffico registrato nel 2011, simula la compresenza dei traffici merci e passeggeri nel medesimo tratto di canale.

L'analisi è stata svolta sui movimenti 2011 poiché il 2011 è l'ultimo anno di cui si hanno dati completi, nei limiti descritti nei paragrafi successivi, al momento dell'analisi. I dati del 2011 hanno anche i seguenti limiti:

- Il 2011 è anno in cui si è risentito degli effetti della crisi internazionale che ha ridotto del 20% gli standard del traffico commerciale (rispetto al trend seguito fino al 2008)²;
- I dati del 2011 ovviamente non comprendono i futuri traffici da e per il nuovo terminal traghetti di Fusina ed il traffico da e per il nuovo terminal container previsto in area ex Montesyndial.

Nell'analisi svolta si sono ritenute valide le seguenti ipotesi:

1. Nel 2011 sono stati effettuati 10495 movimenti, registrati con *departure date* nel 2011 nel database dei Piloti fornito dall'Autorità Portuale;
2. I movimenti presi in considerazione sono solo gli arrivi e le partenze, mentre sono trascurati i movimenti delle navi all'interno del porto. In particolare, sono considerati solo gli 8533 movimenti di cui si conoscono i *berth* di partenza e di arrivo e di cui sono note le caratteristiche delle navi coinvolte. I movimenti non presi in considerazione tipicamente riguardano navi turistiche di piccolo cabotaggio.

	Numero movimenti
Numero movimenti del 2011 nel Database Piloti	10495
Numero movimenti di cui sono note le caratteristiche delle navi	10018
Numero di arrivi o partenze	9106
Numero movimenti di cui sono noti i berth di arrivo e partenza	9291
Numero di arrivi o partenze di cui sono noti i berth di arrivo e partenza	8533

Tabella 1: Numero movimenti nel porto di Venezia nel 2011.

3. Si ritiene che, alla luce delle ordinanze della Capitaneria di Porto, le navi passeggeri ed i traghetti non possano incrociare altre navi in ognuno dei canali di Marghera, compreso il canale Malamocco-Marghera. Questa condizione è imposta dal fatto che il beam minimo di una di queste navi è rispettivamente di 28 e 25 metri.

MOVIMENTI MARGHERA

La tabella 2 riassume il numero di movimenti che sono avvenuti nel 2011 a Marghera.

	Totale	≥ 3000 GT	%	≥ 6000 GT	%
Totale	5757	4878	85%	3415	59%

Tabella 2: Numero movimenti a Marghera.

²Fonte: Autorità Portuale.

La tabella seguente evidenzia come il numero di movimenti a Marghera abbia una scarsa stagionalità. Essa ha una variazione massima del 20% all'interno dei mesi dell'anno e rimane relativamente costante anche durante i giorni feriali della settimana.

	lun	mar	mer	gio	ven	sab	dom	Totale
gen	91	58	78	78	65	67	21	458
feb	89	48	85	77	54	69	45	467
mar	85	67	78	94	76	55	27	482
apr	78	69	80	77	87	90	38	519
mag	104	88	86	85	66	70	41	540
giu	75	78	85	83	69	49	40	479
lug	84	64	75	72	102	85	51	533
ago	78	81	76	70	58	63	26	452
set	74	64	69	79	82	49	28	445
ott	80	59	68	67	51	70	52	447
nov	86	86	108	70	62	42	20	474
dic	58	72	72	90	81	60	28	461
Totale	982	834	960	942	853	769	417	5757

Tabella 3: Distribuzione dei movimenti a Marghera.

La figura seguente indica quanti giorni hanno visto un determinato numero di movimenti a Marghera. Vi sono 5 giornate, il 9/1/2011, l'8/2/2011 - martedì grasso -, il 2/3/2011, il 19/11/2011 ed il 20/11/2011, in cui non è avvenuto alcun movimento. Le rimanenti giornate, escludendo gli *outlier*, presentano un numero di movimenti che varia tra 1 e 30 con media 16 e moda 17. L'unico *outlier* è la giornata del 9/2/2011 - mercoledì delle ceneri - che segue immediatamente una particolare giornata con nessun movimento.

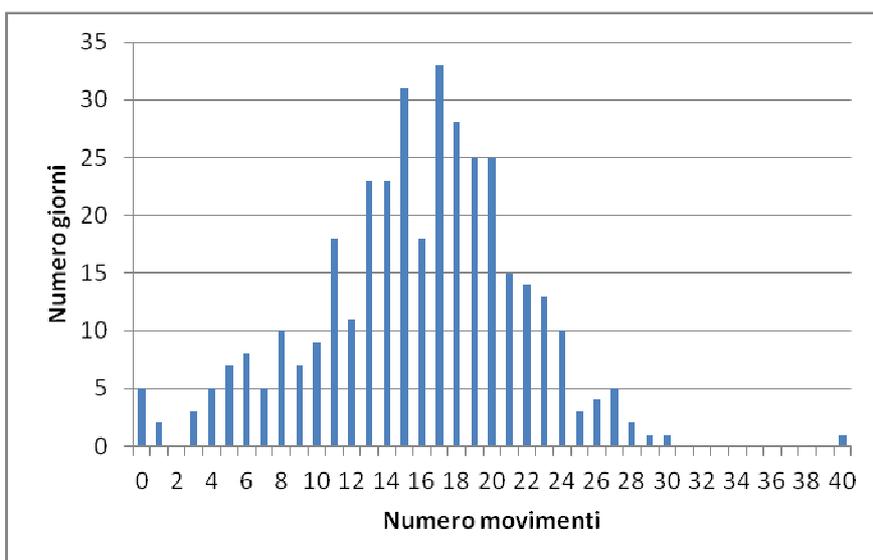


Figura 2: Distribuzione del numero dei movimenti al giorno a Marghera.

MOVIMENTI GRANDI NAVI

Nel 2011 sono avvenuti 800 movimenti a Marittima che coinvolgono grandi navi, cioè navi con tonnellaggio maggiore o uguale a 40000 t.

La tabella seguente evidenzia come il numero di movimenti di grandi navi abbia una significativa stagionalità annuale e settimanale.

	lun	mar	mer	gio	ven	sab	dom	Totale
gen		2	2		1	1		6
feb	2			3			2	7
mar		2	2	2				6
apr	8	6	3	2	10	11	12	52
mag	16	13	3	6	14	30	31	113
giu	14	8	4		20	30	18	94
lug	15	9	6	8	22	31	18	109
ago	16	13	2	3	18	37	24	113
set	16	15	4	7	22	33	24	121
ott	20	10	8	7	17	39	36	137
nov	3	4	4	3	1	12	5	32
dic		2	3	3			2	10
Totale	110	84	41	44	125	224	172	800

Tabella 4: Distribuzione dei movimenti delle grandi navi a Marittima.

La tabella seguente indica il rapporto percentuale tra i movimenti delle grandi navi a Marittima e i movimenti a Marghera. Il numero dei movimenti delle grandi navi risulta significativo rispetto al numero dei movimenti delle navi merci per circa 7 mesi l'anno.

	lun	mar	mer	gio	ven	sab	dom	Totale
gen	0%	3%	3%	0%	2%	1%	0%	1%
feb	2%	0%	0%	4%	0%	0%	4%	1%
mar	0%	3%	3%	2%	0%	0%	0%	1%
apr	10%	9%	4%	3%	11%	12%	32%	10%
mag	15%	15%	3%	7%	21%	43%	76%	21%
giu	19%	10%	5%	0%	29%	61%	45%	20%
lug	18%	14%	8%	11%	22%	36%	35%	20%
ago	21%	16%	3%	4%	31%	59%	92%	25%
set	22%	23%	6%	9%	27%	67%	86%	27%
ott	25%	17%	12%	10%	33%	56%	69%	31%
nov	3%	5%	4%	4%	2%	29%	25%	7%
dic	0%	3%	4%	3%	0%	0%	7%	2%
Totale	11%	10%	4%	5%	15%	29%	41%	14%

Tabella 5: Percentuale dei movimenti delle grandi navi a Marittima rispetto ai movimenti a Marghera.

La figura seguente indica quanti giorni hanno visto un numero non nullo di movimenti di grandi navi a Marittima. Per queste giornate, il numero di movimenti giornalieri varia tra 1 e 10 con media e moda 2. Vi sono però 157 giorni del 2011, compreso il 9/2, in cui non vi è alcun movimento di grandi navi a Marittima.

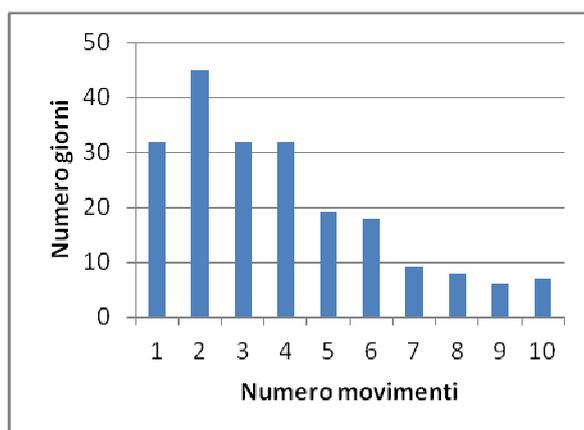


Figura 3: Distribuzione del numero di movimenti al giorno delle grandi navi a Marittima.

3.3.1 Passaggio delle grandi navi per Marghera

L'impatto del passaggio delle navi da crociera a Marghera è funzione della flessibilità degli orari di partenza e di arrivo delle navi medesime. In particolare, tanto maggiore tale flessibilità tanto minore l'impatto in termini di congestione nei canali di Porto Marghera, e viceversa.

I principali canali di Marghera permettono di fare transitare in convoglio mantenendo un ampio margine di sicurezza. In particolare, permettono il transito di:

- 6-8 navi merci all'ora;
- 4-6 grandi navi all'ora.

Nell'ipotesi di non avere scarsità di risorse in termini di rimorchiatori, di personale e di ormeggi e di potere coordinare esattamente le ore di inizio delle manovre, i canali di Marghera avrebbero la capacità di assorbire un aumento di traffico rispetto anche alle situazioni di picco attuale.

Le difficoltà sorgono quando una o più navi devono manovrare in direzione opposta al flusso prevalente. Le navi impiegano circa un'ora ad andare dai bacini di evoluzione 1, 2 e 3 alla bocca di porto di Malamocco e viceversa. Ne consegue che ogni operazione di inversione del traffico richiede il mancato sfruttamento della capacità dei canali nella direzione opposta per circa un'ora. Probabilmente anche per questo motivo, nella giornata di massimo movimento del 2011, il 9/2, si osservano solo quattro inversioni del traffico, l'ultima delle quali in corrispondenza dell'ultima nave che entra in porto.

La seguente tabella riporta le sovrapposizioni, anche parziali, degli orari delle manovre di arrivo delle grandi navi a Marittima con gli orari delle manovre di partenza da Marghera e, viceversa, degli orari delle manovre di partenza delle grandi navi a Marittima con gli orari delle manovre di arrivo da Marghera.

	Num mov.	Sovrapposizione di orario	
		Num assoluti	%
Arrivi grandi navi	399	202	51%
Partenze navi a Marghera	2878	267	9%
Partenze grandi navi	401	163	41%
Arrivi navi a Marghera	2879	206	7%

Tabella 6: Numero di sovrapposizioni degli orari dei movimenti delle grandi navi e delle navi merci.

Il numero delle sovrapposizioni di orario delle manovre dà una idea di massima del numero di potenziali conflitti che sarebbero potuti nascere circa l'accesso ai canali se le grandi navi avessero dovuto transitare per Marghera. Conflitti che si sarebbero dovuti risolvere modificando gli orari dei movimenti delle navi, probabilmente introducendo dei ritardi anche significativi.

	num sovrapp.	num grandi navi coinvolte	num movimenti marittima	%
gen	4	3	6	50%
feb	1	1	7	14%
mar	3	3	6	50%
apr	62	29	52	56%
mag	113	58	113	51%
giu	59	36	94	38%
lug	101	58	109	53%
ago	71	46	113	41%
set	97	57	121	47%
ott	94	56	137	41%
nov	25	14	32	44%
dic	7	4	10	40%
Totale	637	365	800	46%

Tabella 7: Distribuzione delle sovrapposizioni di orario per mese.

La figura seguente indica quanti giorni hanno visto un numero non nullo di sovrapposizioni degli orari dei movimenti delle grandi navi a Marittima con gli orari dei movimenti delle navi merci a Marghera. Per 191 giornate non vi è stata alcuna sovrapposizione, anche perché in 156 di queste non è stato effettuato alcun movimento di grandi navi.

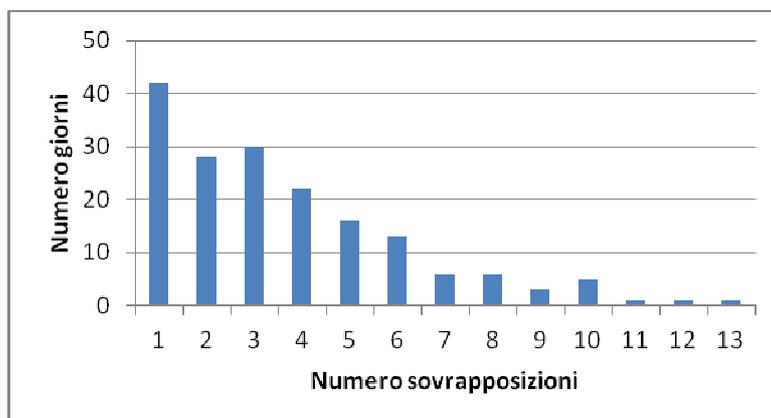


Figura 4: Distribuzione delle sovrapposizioni orarie dei movimenti delle grandi navi.

3.3.2 Traghetti a Fusina

Ai movimenti indicati nelle sezioni precedenti vanno aggiunti i 684 movimenti a Marittima che coinvolgono traghetti e che in futuro verrebbero effettuati a Fusina. In particolare, la tabella seguente evidenzia che vi sono stati 73 giorni (tipicamente i giovedì) in cui non vi è stato alcun movimento. Nella stragrande maggioranza degli altri giorni si sono verificati due movimenti, l'arrivo e la partenza dello stesso traghetto. Un po' più raramente sono stati effettuati 4 movimenti, eccezionalmente 1, 3 o 5 movimenti.

Numero movimenti traghetti	Numero giorni
0	73
1	5
2	232
3	8
4	46
5	1

Tabella 8: Distribuzione numero movimenti traghetti al giorno.

Il 90% degli arrivi dei traghetti inizia la manovra tra le 6 e le 9 del mattino, mentre le partenze iniziano la manovra al 70% tra le 12 e le 15 del pomeriggio e al 25% tra le 17 e le 20 e di sera.

La tabella seguente evidenzia come il numero di movimenti di traghetti abbia stagionalità annuale e settimanale con variazioni fino al 50% (escludendo il caso del giovedì).

	lun	mar	mer	gio	ven	sab	Dom	Totale
gen	11	10	8		8	10	9	56
feb	6	6	10		7	8	8	45
mar	6	10	9	2	4	8	8	47
apr	8	8	12		8	17	8	61
mag	10	12	16		8	16	10	72
giu	8	8	20		8	16	8	68
lug	8	8	16		10	16	8	66

ago	10	10	20		9	16	8	73
set	8	8	12		10	14	8	60
ott	8	5	7		6	8	8	42
nov	11	8	8	2	8	6	8	51
dic	7	4	6		8	9	9	43
Totale	101	97	144	4	94	144	100	684

Tabella 9: Distribuzione dei movimenti traghetti a Marittima.

La tabella seguente indica il rapporto percentuale tra i movimenti dei traghetti e i movimenti a Marghera. Il numero dei movimenti dei traghetti si attesta attorno al 10%-15% dei movimenti delle navi merci durante tutti i mesi dell'anno.

	lun	mar	mer	gio	ven	sab	dom	Totale
gen	12%	17%	10%	0%	12%	15%	43%	12%
feb	7%	13%	12%	0%	13%	12%	18%	10%
mar	7%	15%	12%	2%	5%	15%	30%	10%
apr	10%	12%	15%	0%	9%	19%	21%	12%
mag	10%	14%	19%	0%	12%	23%	24%	13%
giu	11%	10%	24%	0%	12%	33%	20%	14%
lug	10%	13%	21%	0%	10%	19%	16%	12%
ago	13%	12%	26%	0%	16%	25%	31%	16%
set	11%	13%	17%	0%	12%	29%	29%	13%
ott	10%	8%	10%	0%	12%	11%	15%	9%
nov	13%	9%	7%	3%	13%	14%	40%	11%
dic	12%	6%	8%	0%	10%	15%	32%	9%
Totale	10%	12%	15%	0%	11%	19%	24%	12%

Tabella 10: Percentuale dei movimenti dei traghetti a Marittima rispetto ai movimenti a Marghera.

La seguente tabella riporta le sovrapposizioni, anche parziali, degli orari delle manovre di arrivo dei traghetti a Marittima con gli orari delle manovre di partenza da Marghera e, viceversa, degli orari delle manovre di partenza dei traghetti a Marittima con gli orari delle manovre di arrivo da Marghera.

	num mov.	Sovrapposizione di orario	
		num assoluti	%
Arrivi traghetti	342	175	51%
Partenze traghetti	342	203	59%

Tabella 11: Numero di sovrapposizioni degli orari dei movimenti dei traghetti e delle navi merci.

3.3.3 Simulazione del 15 luglio 2011

Come analisi propedeutica alla verifica delle alternative, si è ipotizzato di poter disporre di capacità di accosti infiniti nell'area di Porto Marghera, in particolare nel Canale della Brentella (in seguito questi approdi sono indicati come approdi *dummy*). Si riportano i risultati ottenuti simulando cosa sarebbe capitato al traffico effettivamente gestito nella giornata del 15/07/2011 qualora il traffico sia merci che passeggeri fosse gestito tramite il canale Malamocco Marghera.

La giornata scelta è di traffico intenso, per quanto riguarda i movimenti delle grandi navi, ma non rappresenta il picco massimo registrato, per quanto riguarda i movimenti delle navi merci³. I risultati riportati, benché ancora preliminari e si basano su tempi di navigazione stimati ancora in modo relativamente approssimativo, permettono di evidenziare le conseguenze che potrebbero emergere nello spostare il traffico delle navi da crociera a Marghera.

Queste simulazioni sono state svolte non tenendo conto dei vincoli che potrebbero essere imposti ai movimenti delle navi passeggeri a causa dalle maree, dalla profondità dei canali e dalle limitazioni sulla navigazione notturna stabilite dalla Capitaneria di Porto.

Si è inoltre considerato il traffico dei traghetti previsto a partire dal 2014 nella nuova stazione marittima di Fusina. Il 15 luglio vi sono 25 movimenti significativi a Marghera. Gli orari delle manovre sono avvenuti come nella tabella riportata nel seguito.

ship_name	description	IMO	type	dep_hour	arr_hour	dep_berth	arr_berth
BF VALENCIA	Containership	9126259	A	06:00	07:37	RADAM	A0010
MARJA	Containership	9113721	A	06:07	07:47	RADAM	B0029
FISKELA	Bulk carrier	8126800	A	07:00	08:57	RADAM	A0003
UASC AJMAN	Containership	9400174	A	07:07	08:50	RADAM	B0026
ZAGARA	Oil tankship	9231171	P	08:30	10:20	DECA1	RADAM
MUHARREM DADAYLI	General dry cargo ship	9558581	P	08:31	09:58	B0021	RADAM
SIRIOS CEMENT I	Other types of ship	8009545	P	08:58	10:35	FINTI	RADAM
CIELO DI AMALFI	Bulk carrier	9374349	P	09:04	11:09	ENEL4	RADAM
UNION RANGER	Bulk carrier	9104562	P	09:10	10:42	SALI3	RADAM
ANSERA	General dry cargo ship	7632979	P	09:11	10:49	CIAW1	RADAM
INDEPENDENT VENTURE	Containership	9064762	P	09:37	11:16	B0027	RADAM
MERSA ALAM	General dry cargo ship	9055175	A	11:17	12:56	RADAM	CIAW1
BIG CEM	General dry cargo ship	8118190	A	11:24	13:03	RADAM	CIAW2
CHIPOLBROK SUN	General dry cargo ship	9272230	A	11:31	13:18	RADAM	SALI2

³ Secondo i piani di sviluppo del porto è prevista la realizzazione di un terminal RO/RO costituito da 4 ormeggi a Fusina ed un traffico di navi *lush* provenienti dal nuovo terminal offshore. Questi genereranno nuovi movimenti le cui punte massime sono superiori ai 10 movimenti giornalieri (supponendo 3 coppie di movimenti di andata e ritorno delle *mama vessel* e 2 coppie di movimenti di arrivo e partenza dei traghetti). Il numero dei movimenti indotti da questi due terminal sarà quindi maggiore dal numero massimo di movimenti di grandi navi osservato nel 2011.

LISBON TRADER	General dry cargo ship	9509607	A	11:38	13:25	RADAM	SALI3
MARIA PRINCESS	Oil tankship	9380661	P	11:50	13:22	SLEO2	RADAM
MELORIA	Oil tankship	9292280	A	11:53	13:30	RADAM	DECA1
SYN ALTAIR	Gas carrier	9158240	A	13:23	15:05	RADAM	ME034
SEANOSTRUM	Oil tankship	9259185	A	13:38	15:10	RADAM	SLEO2
MSC ACCRA	Containership	8408844	P	14:22	15:57	A0012	RADAM
MARJA	Containership	9113721	P	14:30	16:08	B0029	RADAM
CLIPPER KATE	Chemical tankship	9322994	A	16:09	17:48	RADAM	IROMD
SEA PRIDE	Bulk carrier	8011794	P	17:30	19:15	B0018	RADAM
ZEYBE	General dry cargo ship	9040663	P	19:30	21:10	CIAW4	RADAM
BF VALENCIA	Containership	9126259	P	23:59	01:36	A0010	RADAM

Tabella 12: Movimenti navi merci a Marghera il 15 luglio 2011.

Il 15/07/2011 vi sono 10 movimenti di interesse a Marittima. Questi movimenti sono avvenuti come nella tabella riportata nel seguito.

ship_name	description	IMO	type	dep_hour	arr_hour
VOYAGER OF THE SEAS	Passenger ship	9161716	A	04:15	05:45
SPLENDOUR OF THE SEAS	Passenger ship	9070632	A	05:15	06:50
NORWEGIAN JADE	Passenger ship	9304057	A	06:08	07:40
MSC ARMONIA	Passenger ship	9210141	A	07:48	09:10
EUROPA PALACE	Ro-ro passenger vessel	9220342	A	08:05	09:15
EUROPA PALACE	Ro-ro passenger vessel	9220342	P	14:00	15:00
VOYAGER OF THE SEAS	Passenger ship	9161716	P	17:00	19:00
SPLENDOUR OF THE SEAS	Passenger ship	9070632	P	17:15	18:30
NORWEGIAN JADE	Passenger ship	9304057	P	17:30	18:49
MSC ARMONIA	Passenger ship	9210141	P	19:00	20:00

Tabella 13: Movimenti navi passeggeri da aggiungere a Marghera e Fusina.

Dall'incrocio degli orari delle manovre riportate nelle tabelle precedenti si possono stimare a priori 13 conflitti tra i movimenti delle navi passeggeri e delle navi merci e 1 conflitto tra i movimenti del due traghetto e delle navi merci.

Nel caso di approdo *dummy* nel canale della Brentella, l'inserimento dell'arrivo della MSC ARMONIA causa ritardi a catena che si propagano per tutta la giornata. Questo scenario è paradigmatico di come in presenza di congestione pochi conflitti possono avere notevoli conseguenze per tutta la giornata. In questo scenario tre navi (la ZAGARA, la MSC ARMONIA e la MARIA PRINCESS) si muovono contro i flussi dominanti. In particolare, nella tabella che segue si possono osservare i ritardi indotti dalla ZAGARA che, trasportando carichi pericolosi ed avendo diritto di precedenza, non ha potuto adattare il suo orario ai flussi modificati dall'inserimento delle nuove navi. In questo contesto, si noti anche il ritardo della MSC ARMONIA. Questa nave, che ora deve raggiungere il Canale della Brentella, diversamente dal caso precedente, accumula due ore di ritardo perché per pochi minuti non riesce a passare prima della ZAGARA.

ship_name	description	IMO	type	dep_hour	arr_hour	dep_berth	arr_berth	delay
-----------	-------------	-----	------	----------	----------	-----------	-----------	-------

VOYAGER OF THE SEAS	Passenger ship	9161716	A	04:15	05:47	RADAM	DB004	00:00
SPLENDOUR OF THE SEAS	Passenger ship	9070632	A	05:15	06:47	RADAM	DB003	00:00
BF VALENCIA	Containership	9126259	A	06:00	07:37	RADAM	A0010	00:00
MARJA	Containership	9113721	A	06:07	07:47	RADAM	B0029	00:00
NORWEGIAN JADE	Passenger ship	9304057	A	06:22	07:54	RADAM	DB002	00:14
FISKELA	Bulk carrier	8126800	A	07:00	08:57	RADAM	A0003	00:00
UASC AJMAN	Containership	9400174	A	07:07	08:50	RADAM	B0026	00:00
ZAGARA	Oil tankship	9231171	P	08:30	10:20	DECA1	RADAM	00:00
MUHARREM DADAYLI	General dry cargo ship	9558581	P	08:31	09:58	B0021	RADAM	00:00
MSC ARMONIA	Passenger ship	9210141	A	10:21	11:53	RADAM	DB001	02:33
CIELO DI AMALFI	Bulk carrier	9374349	P	10:50	12:55	ENEL4	RADAM	01:46
ANSERA	General dry cargo ship	7632979	P	11:28	13:06	CIAW1	RADAM	02:17
UNION RANGER	Bulk carrier	9104562	P	11:44	13:16	SALI3	RADAM	02:34
INDEPENDENT VENTURE	Containership	9064762	P	11:45	13:24	B0027	RADAM	02:08
SIRIOS CEMENT I	Other types of ship	8009545	P	11:54	13:31	FINTI	RADAM	02:56
MERSA ALAM	General dry cargo ship	9055175	A	13:32	15:11	RADAM	CIAW1	02:15
BIG CEM	General dry cargo ship	8118190	A	13:39	15:18	RADAM	CIAW2	02:15
CHIPOLBROK SUN	General dry cargo ship	9272230	A	13:46	15:33	RADAM	SALI2	02:15
LISBON TRADER	General dry cargo ship	9509607	A	13:53	15:40	RADAM	SALI3	02:15
MARIA PRINCESS	Oil tankship	9380661	P	14:05	15:37	SLEO2	RADAM	02:15
MELORIA	Oil tankship	9292280	A	14:08	15:45	RADAM	DECA1	02:15
SYN ALTAIR	Gas carrier	9158240	A	15:38	17:20	RADAM	ME034	02:15
SEANOSTRUM	Oil tankship	9259185	A	15:53	17:25	RADAM	SLEO2	02:15
MSC ACCRA	Containership	8408844	P	16:37	18:12	A0012	RADAM	02:15
MARJA	Containership	9113721	P	16:41	18:19	B0029	RADAM	02:11
CLIPPER KATE	Chemical tankship	9322994	A	18:20	19:59	RADAM	IROMD	02:11
VOYAGER OF THE SEAS	Passenger ship	9161716	P	19:45	21:17	DB004	RADAM	02:45
SPLENDOUR OF THE SEAS	Passenger ship	9070632	P	20:00	21:32	DB003	RADAM	02:45
SEA PRIDE	Bulk carrier	8011794	P	20:02	21:47	B0018	RADAM	02:32
NORWEGIAN	Passenger	9304057	P	20:30	22:02	DB002	RADAM	03:00

JADE	ship							
MSC ARMONIA	Passenger ship	9210141	P	20:45	22:17	DB001	RADAM	01:45
ZEYBE	General dry cargo ship	9040663	P	20:52	22:32	CIAW4	RADAM	01:22
BF VALENCIA	Container ship	9126259	P	23:59	01:36	A0010	RADAM	00:00

Tabella 14: Inserimento grandi navi con priorità maggiore a rispetto alle navi merci.

Tale situazione si aggrava ancora con l'inserimento di nuovi traghetti a Fusina. Anche in questo scenario la priorità della ZAGARA impedisce il movimento di una nave passeggeri, in questo caso della EUROPA PALACE. L'arrivo di questa ultima nave viene quindi ritardato e deve essere schedato in un orario che interrompe i flussi dominanti e quindi provoca una serie di ritardi a cascata, come si rileva dalla seguente tabella.

ship_name	description	IMO	type	dep_hour	arr_hour	dep_berth	arr_berth	delay
VOYAGER OF THE SEAS	Passenger ship	9161716	A	04:15	05:25	RADAM	DC004	00:00
SPLENDOR OF THE SEAS	Passenger ship	9070632	A	05:15	06:25	RADAM	DC003	00:00
BF VALENCIA	Containership	9126259	A	06:00	07:37	RADAM	A0010	00:00
MARJA	Containership	9113721	A	06:07	07:47	RADAM	B0029	00:00
NORWEGIAN JADE	Passenger ship	9304057	A	06:22	07:32	RADAM	DC002	00:14
FISKELA	Bulk carrier	8126800	A	07:00	08:57	RADAM	A0003	00:00
UASC AJMAN	Containership	9400174	A	07:07	08:50	RADAM	B0026	00:00
MSC ARMONIA	Passenger ship	9210141	A	07:48	08:58	RADAM	DC001	00:00
ZAGARA	Oil tankship	9231171	P	08:30	10:20	DECA1	RADAM	00:00
MUHARREM DADAYLI	General dry cargo ship	9558581	P	08:31	09:58	B0021	RADAM	00:00
EUROPA PALACE	Ro-ro passenger vessel	9220342	A	10:21	11:37	RADAM	FUS01	02:16
CIELO DI AMALFI	Bulk carrier	9374349	P	11:01	13:06	ENEL4	RADAM	01:57
SIRIOS CEMENT I	Other types of ship	8009545	P	11:15	12:52	FINTI	RADAM	02:17
UNION RANGER	Bulk carrier	9104562	P	11:27	12:59	SALI3	RADAM	02:17
ANSERA	General dry cargo ship	7632979	P	11:35	13:13	CIAW1	RADAM	02:24
MARIA PRINCESS	Oil tankship	9380661	P	11:48	13:20	SLEO2	RADAM	- 02:00
INDEPENDENT VENTURE	Containership	9064762	P	11:52	13:31	B0027	RADAM	02:15
MERSA ALAM	General dry cargo ship	9055175	A	13:32	15:11	RADAM	CIAW1	02:15
BIG CEM	General dry cargo ship	8118190	A	13:39	15:18	RADAM	CIAW2	02:15
CHIPOLBROK	General dry	9272230	A	13:46	15:33	RADAM	SALI2	02:15

SUN	cargo ship							
LISBON TRADER	General dry cargo ship	9509607	A	13:53	15:40	RADAM	SALI3	02:15
MELORIA	Oil tankship	9292280	A	14:08	15:45	RADAM	DECA1	02:15
SYN ALTAIR	Gas carrier	9158240	A	14:29	16:11	RADAM	ME034	01:06
SEANOSTRUM	Oil tankship	9259185	A	14:44	16:16	RADAM	SLEO2	01:06
MSC ACCRA	Containership	8408844	P	15:28	17:03	A0012	RADAM	01:06
MARJA	Containership	9113721	P	15:55	17:33	B0029	RADAM	01:25
EUROPA PALACE	Ro-ro passenger vessel	9220342	P	16:04	17:18	FUS01	RADAM	02:04
CLIPPER KATE	Chemical tankship	9322994	A	17:34	19:13	RADAM	IROMD	01:25
VOYAGER OF THE SEAS	Passenger ship	9161716	P	18:34	19:44	DC004	RADAM	01:34
SEA PRIDE	Bulk carrier	8011794	P	18:39	20:24	B0018	RADAM	01:09
SPLENDOUR OF THE SEAS	Passenger ship	9070632	P	18:49	19:59	DC003	RADAM	01:34
NORWEGIAN JADE	Passenger ship	9304057	P	19:29	20:39	DC002	RADAM	01:59
ZEYBE	General dry cargo ship	9040663	P	19:30	21:10	CIAW4	RADAM	00:00
MSC ARMONIA	Passenger ship	9210141	P	19:44	20:54	DC001	RADAM	00:44
BF VALENCIA	Container ship	9126259	P	23:59	01:36	A0010	RADAM	00:00

Tabella 15: Inserimento grandi navi e traghetti senza priorità particolare rispetto alle navi merci.

Dall'analisi si evince come la sovrapposizione dei traffici comporti una congestione del traffico tale da pregiudicare la possibilità di rispettare le odierne minime performance.

3.4 Confronto tra le alternative proposte

Le criticità dovute alla commistione dei traffici commerciali e passeggeri lungo il canale Malamocco-Marghera dipendono:

1. Alla lunghezza del tratto di canale Malamocco-Marghera percorso in promiscuità di tipologia di nave e di traffico;
2. Al numero di bacini di evoluzione da attraversare congiuntamente;
3. Alla diversa velocità cui devono attenersi le navi a seconda dei punti di manovra lungo il canale.

Tutti e tre questi elementi variano a seconda delle tre soluzioni alternative considerate per il canale collegamento del Malamocco-Marghera con Marittima:

- A) L'utilizzo del canale Vittorio Emanuele III;
- B) La svolta al canale delle Trezze;
- C) L'utilizzo del Canale Contorta-Sant'Angelo.

Da un'analisi comparativa delle tre alternative risulta che, sentita l'Autorità Portuale di Venezia, sotto il profilo dell'interferenza con traffici pericolosi - e di conseguenza di prossimità alle attività industriali ad alto rischio cui tali traffici sono correlati - nel caso dell'utilizzo del canale Vittorio Emanuele III l'interferenza è tale da comportare un vincolo pregiudiziale al poter considerare questa via sicura per il traffico crocieristico.

Pertanto le simulazioni si sono concentrate sul caso dell'utilizzo del Canale delle Trezze e sul caso dell'utilizzo del canale Contorta-Sant'Angelo.

3.4.1 Considerazioni preliminari

Le maggiori criticità riguardanti il traffico nel Porto di Marghera sono dovute al senso unico alternato in cui devono essere attraversati i canali. Risulta come ovvia conseguenza che dal punto di vista delle possibili congestioni del traffico è da preferire il collegamento tra Malamocco-Marghera con Marittima che induce minori interferenze tra i movimenti delle navi.

La seguente tabella riporta le distanze tra gli imbocchi dei canali Contorta-Sant'Angelo, Trezze e Vittorio Emanuele III in miglia nautiche ed in minuti di percorrenza, supponendo di navigare a velocità costante di 6 nodi orari.

	Trezze	Contorta-Sant'Angelo
Vittorio Emanuele III	0,45 miglia / 5 minuti	3,20 miglia / 32 minuti
Trezze		2,70 miglia / 27 minuti

Tabella 16: Distanze imbocchi canali da Marghera a Marittima.

Dalla tabella si evidenzia come raggiungere il Canale delle Trezze o il Canale Vittorio Emanuele III prolungherebbe l'occupazione dei canali principali di Marghera di circa mezzora con conseguente ricadute sulla schedulazione delle navi con cui si hanno conflitti di accesso alle risorse.

Di seguito si riportano le analisi effettuate.

3.4.2 Analisi macroscopica

Nell'analisi macroscopica si considerano le seguenti ipotesi:

- L'operatività del porto avviene dalle 5:00 alle 22:00;
- Vi sono 4 inversioni dei flussi dominanti durante la giornata;
- Vi sono 2 ore di "morta" a causa della marea, di altre condizioni meteomarine o di marcate richieste di movimenti da parte delle compagnie di navigazione;
- Non vi sono problemi di disponibilità di rimorchiatori, piloti e ormeggiatori;
- Si possono fissare a piacimento gli orari delle manovre.

Nelle suddette ipotesi rimangono circa 11 ore di piena disponibilità della capacità dei canali di Marghera. Si può quindi stimare in modo conservativo che sarebbero possibili, dal punto di vista



della capacità dei canali, 66 movimenti di navi merci oppure, ad esempio, 42 movimenti merci e 16 movimenti di grandi navi.

Assumendo che valgano le ipotesi sopra riportate, alla luce delle simulazioni svolte e delle decisioni strategiche pregresse dell'Autorità Portuale di Venezia, si può concludere che il canale Malamocco - Marghera ha potenzialmente la capacità di assorbire il transito di ulteriori navi ma a condizione di sfruttare al massimo la capacità dei canali. Le statistiche e le simulazioni riportate evidenziano infatti:

- Molti degli orari passati dei movimenti delle grandi navi erano in potenziale conflitto con gli orari dei movimenti delle navi merci; quindi che può venire a cadere una delle precedenti fondamentali ipotesi sulla possibilità di sfruttamento massimo della capacità di Marghera;
- Vi sono intervalli delle giornate in cui la capacità dei canali di Marghera è già quasi utilizzata al massimo (anche a causa dei movimenti prioritari di navi che trasportano merci pericolose).

Data l'esistenza delle condizioni evidenziate, inserire un movimento in senso contrario al flusso dominante in determinati periodi della giornata può causare notevoli ritardi, anche di 2 ore. Questi ritardi si possono propagare a cascata anche alla maggior parte dei movimenti della giornata. Si evidenzia infine che questi ritardi potenzialmente potrebbero essere anche molto maggiori a causa della marea e delle limitazioni di navigabilità nelle ore notturne, condizioni non sono state considerate in queste simulazioni.

In conclusione affinché l'attuale traffico delle navi da crociera di Marittima possa transitare per Marghera in modo sostenibile si dovrebbe:

- Pianificare in anticipo e in dettaglio i movimenti delle grandi navi in modo da organizzare convogli ed evitare movimenti in direzione opposta ai flussi dominanti. Sarebbe anche utile potere pianificare i movimenti delle navi che trasportano merci pericolose che abbiano priorità di manovra;
- Rendere noto alle compagnie di navigazione che un eventuale indisponibilità delle loro navi a iniziare le manovre nei tempi prefissati può implicare che l'istante successivo in cui la manovra sarà autorizzata potrebbe essere significativamente ritardato.

Merita infine di essere sottolineato come, in situazioni di traffico intenso, il rispetto alla lettera delle priorità sulle operazioni di manovra fissate della Capitaneria di Porto e l'inserimento anche di un solo movimento prioritario possano indurre ritardi anche di varie ore a movimenti con bassa priorità. Infatti, in differenti simulazioni sono state infatti osservate navi che non venivano inserite in un convoglio per non ritardare, magari solo di una decina di minuti, il nuovo movimento prioritario. L'intensità del traffico nelle ore immediatamente successive impediva poi una rischedulazione immediata del movimento a bassa priorità causando quindi a quest'ultimo un ritardo di varie ore. Per evitare il verificarsi di tali ritardi, può quindi essere auspicabile che la schedulazione dei movimenti sia effettuata da personale che abbia l'autorità

di rilassare, in concerto con la Capitaneria di Porto, gli eventuali vincoli di priorità dei movimenti.

A livello teorico la capacità del canale Malamocco-Marghera risulta sufficiente a condizione che sia possibile la pianificazione sopradescritta. Diversamente possono insorgere ritardi che probabilmente non sono compatibili con le esigenze commerciali sia per le navi passeggeri che per le navi merci.

A titolo di esempio, nel seguito vengono riportati i risultati di simulazioni con il traffico passeggeri lungo il canale Malamocco Marghera, in una giornata di medio traffico. Nelle seguenti tabelle si riportano i risultati relativi alle simulazioni di due distinti scenari fra di loro alternativi: nel primo è possibile arrivare a / partire da Marittima via canale della Contorta-Sant'Angelo; nel secondo è possibile arrivare a / partire da Marittima via canale delle Trezze. Entrambe le simulazioni sono basate sui movimenti del 13 luglio 2011. In ognuno di questi scenari sono stati aggiunti 6 movimenti di mama vessel al traffico effettivamente verificatosi. Le navi da crociera vengono fatte ormeggiare a Marittima in entrambi gli scenari. Inoltre, nel primo scenario si assume anche che, in prossimità dell'imbocco del canale della Contorta-Sant'Angelo, sia stato ampliato il canale di Malamocco in modo tale da permettere l'incrocio di navi che si muovono in direzione opposta.

Nelle tabelle che seguono si riportano gli orari dei movimenti e dei ritardi rispetto alle ore desiderate di partenza nei due diversi scenari. In entrambi i casi si accumulano ritardi significativi a causa dell'introduzione dei movimenti delle mama vessel. Benché in entrambi gli scenari siano presenti solo due movimenti di grandi navi, i loro comportamenti risultano paradigmatici. Il primo è l'arrivo in mattinata dell'ORIANA. Questo movimento riesce ad inserirsi tra i movimenti di ingresso delle altre navi senza causare particolari interferenze al traffico, ciò indipendentemente dalla rotta seguita. Il secondo movimento è la partenza pomeridiana della BRILLIANCE OF THE SEAS. Questa partenza avviene sostanzialmente in orario nel primo scenario, anche se pressoché tutti i movimenti successivi a questo presentano ritardi di oltre un'ora (si veda la tabella 17). Differentemente, essa presenta circa un'ora di ritardo nel secondo scenario a causa dell'accumulo di ritardi dovuto ad un peggior sfruttamento della capacità dei canali di Marghera. Infatti, in questo secondo scenario si sommano le conseguenze: 1) dell'impossibilità di fare incrociare i movimenti delle navi che hanno preceduto la partenza della BRILLIANCE OF THE SEAS; 2) del maggior numero di canali di Marghera attraversati dalla stessa nave. Alla fine della giornata, i movimenti successivi a quello della BRILLIANCE OF THE SEAS accumulano ritardi maggiori in questo secondo scenario rispetto al primo, come è evidente dalla tabella 18 (in quasi tutti i casi questi ritardi superano le 3 ore).

ship_name	description	IMO	type	dep_hour	arr_hour	dep_berth	arr_berth	ritardo
MAMA VESSEL 1	Containership	mama_v1	A	05:00	06:33	RADAM	MAM01	00:00
GOLDEN DREAM	General dry cargo ship	7720192	A	06:00	07:39	RADAM	CIAW3	00:00
LEFKA ORI	Ro-ro passenger	9035876	A	07:00	08:16	RADAM	FUS01	00:00

	vessel							
ORIANA	Passenger ship	9050137	A	07:16	09:31	RADAM	VE018	00:01
OLYMPIA PALACE	Ro-ro passenger vessel	9220330	A	08:05	09:21	RADAM	FUS02	00:00
DIAMOND STAR	Oil tankship	9507984	P	08:10	10:02	SMPET	RADAM	00:05
BELIZE CITY	Bulk carrier	7630141	P	08:12	10:09	A0005	RADAM	00:07
DMYTRO KOTIUZHENKO	General dry cargo ship	9281504	P	08:48	10:36	BUNGE	RADAM	00:18
CIELO DI AMALFI	Bulk carrier	9374349	A	10:37	12:09	RADAM	ENEL4	00:37
MAMA VESSEL 1	Containership	mama_v1	P	10:59	12:32	MAM01	RADAM	00:59
MARIA PRINCESS	Oil tankship	9380661	A	11:00	12:32	RADAM	SLEO2	00:00
SIRIOS CEMENT I	Other types of ship	8009545	A	12:33	14:10	RADAM	FINTI	02:28
MICHIGAN TRADER	Containership	9437139	A	12:40	14:20	RADAM	B0029	02:30
MAMA VESSEL 2	Containership	mama_v2	A	12:58	14:31	RADAM	MAM01	01:28
MSC MIRELLA	Containership	8709640	A	13:37	15:14	RADAM	A0010	00:07
BASILUZZO M	Chemical tankship	9323857	P	13:45	15:44	IROMD	RADAM	01:45
OLYMPIA PALACE	Ro-ro passenger vessel	9220330	P	14:52	16:06	FUS02	RADAM	00:52
TETE RICKMERS	Containership	9212010	P	15:00	16:44	B0025	RADAM	00:00
MAMA VESSEL 2	Containership	mama_v2	P	15:30	17:03	MAM01	RADAM	00:00
MAMA VESSEL 1	Containership	mama_v1	A	17:04	18:37	RADAM	MAM01	01:34
BRILLIANCE OF THE SEAS	Passenger ship	9195200	P	17:06	19:21	VE107	RADAM	00:06
ARKTURUS	General dry cargo ship	9030462	P	17:12	18:59	BERC1	RADAM	01:12
A. BEDEVI	General dry cargo ship	8322210	P	17:29	19:06	A0007	RADAM	01:29
BASILUZZO M	Chemical tankship	9323857	A	19:22	21:01	RADAM	IROMD	01:37
DORNUM	General dry cargo ship	9015462	A	19:29	21:18	RADAM	BUNGE	01:39
ZAGARA	Oil tankship	9231171	A	19:36	21:13	RADAM	DECA1	01:41
LEFKA ORI	Ro-ro	9035876	P	20:15	21:31	FUS01	RADAM	01:15

	passenger vessel							
MAMA VESSEL 1	Containership	mama_v1	P	21:02	22:35	MAM01	RADAM	00:32
LADA 2005	General dry cargo ship	8997144	P	21:19	22:59	CIAW4	RADAM	01:49
CSL RHINE	Bulk carrier	8008450	A	23:00	00:47	RADAM	ME021	02:00
MSC SUKAIYNA	Containership	8310530	P	00:15	01:50	A0012	RADAM	00:16

Tabella 17: Orario movimenti e ritardi Scenario Contorta-Sant'Angelo.

ship_name	description	IMO	type	dep_hour	arr_hour	dep_berth	arr_berth	ritardo
MAMA VESSEL 1	Containership	mama_v1	A	05:00	06:33	RADAM	MAM01	00:00
GOLDEN DREAM	General dry cargo ship	7720192	A	06:00	07:39	RADAM	CIAW3	00:00
LEFKA ORI	Ro-ro passenger vessel	9035876	A	07:00	08:16	RADAM	FUS01	00:00
ORIANA	Passenger ship	9050137	A	07:16	09:41	RADAM	VE018	00:01
OLYMPIA PALACE	Ro-ro passenger vessel	9220330	A	08:05	09:21	RADAM	FUS02	00:00
BELIZE CITY	Bulk carrier	7630141	P	08:39	10:36	A0005	RADAM	00:34
DIAMOND STAR	Oil tankship	9507984	P	08:51	10:43	SMPET	RADAM	00:46
DMYTRO KOTIUZHENKO	General dry cargo ship	9281504	P	09:02	10:50	BUNGE	RADAM	00:32
CIELO DI AMALFI	Bulk carrier	9374349	A	10:51	12:23	RADAM	ENEL4	00:51
MICHIGAN TRADER	Containership	9437139	A	10:58	12:38	RADAM	B0029	00:48
SIRIOS CEMENT I	Other types of ship	8009545	A	11:05	12:42	RADAM	FINTI	01:00
MARIA PRINCESS	Oil tankship	9380661	A	11:12	12:44	RADAM	SLEO2	00:12
BASILUZZO M	Chemical tankship	9323857	P	12:03	14:02	IROMD	RADAM	00:03
MAMA VESSEL 1	Containership	mama_v1	P	12:39	14:12	MAM01	RADAM	02:39
MAMA VESSEL 2	Containership	mama_v2	A	14:13	15:46	RADAM	MAM01	02:43
MSC MIRELLA	Containership	8709640	A	14:20	15:57	RADAM	A0010	00:50
OLYMPIA PALACE	Ro-ro passenger vessel	9220330	P	15:35	16:49	FUS02	RADAM	01:35
TETE	Containership	9212010	P	15:47	17:31	B0025	RADAM	00:47

RICKMERS								
ARKTURUS	General dry cargo ship	9030462	P	16:00	17:47	BERC1	RADAM	00:00
MAMA VESSEL 2	Containership	mama_v2	P	16:06	17:39	MAM01	RADAM	00:36
MAMA VESSEL 1	Containership	mama_v1	A	17:48	19:21	RADAM	MAM01	02:18
ZAGARA	Oil tankship	9231171	A	17:55	19:32	RADAM	DECA1	00:00
BRILLIANCE OF THE SEAS	Passenger ship	9195200	P	18:04	20:35	VE107	RADAM	01:04
A. BEDEVI	General dry cargo ship	8322210	P	19:13	20:50	A0007	RADAM	03:13
BASILUZZO M	Chemical tankship	9323857	A	20:51	22:30	RADAM	IROMD	03:06
DORNUM	General dry cargo ship	9015462	A	20:58	22:47	RADAM	BUNGE	03:08
LEFKA ORI	Ro-ro passenger vessel	9035876	P	22:13	23:27	FUS01	RADAM	03:13
MAMA VESSEL 1	Containership	mama_v1	P	22:31	00:04	MAM01	RADAM	02:01
LADA 2005	General dry cargo ship	8997144	P	22:48	00:28	CIAW4	RADAM	03:18
CSL RHINE	Bulk carrier	8008450	A	00:29	02:16	RADAM	ME021	03:29
MSC SUKAIYNA	Containership	8310530	P	01:44	03:19	A0012	RADAM	01:45

Tabella 18: Orario movimenti e ritardi Scenario Trezze-Vittorio Emanuele III.

Tali situazioni potrebbero essere ottimizzate effettuando una attenta schedulazione dei calendari di arrivo e partenza delle navi, limitando così le interferenze ma è necessario sottolineare che tale ottimizzazione è assolutamente teorica e non tiene in alcun modo in considerazione possibili ritardi complessivi che verrebbero causati dal mancato rispetto di un orario anche da parte di una unica nave. A livello teorico infatti qualora la nave non riesca a rispettare lo *slot* assegnato sarebbe assegnata ad uno *slot* successivo o inserita a fine programmazione con ritardi che potrebbero essere non accettabili in caso di navi passeggeri o navi *portacontainer* di linea.

Alla luce delle simulazioni e delle considerazioni fatte è evidente che dal solo punto di vista della gestibilità dei movimenti, tra le tre alternative prese in considerazione e nel caso non sia possibile pianificare i movimenti come descritto in precedenza, è preferibile che il raggiungimento di Marittima avvenga attraverso il canale di Contorta-Sant'Angelo in modo da evitare il più possibile la sovrapposizione delle rotte all'interno della laguna.

4 Sintesi dei risultati

Da un'analisi comparativa delle tre alternative preselezionate dall'Autorità Portuale di Venezia e relativamente alle sole problematiche legate al traffico, si evince:

- Nell'alternativa di utilizzo del canale delle Trezze, e quindi dell'evoluzione nel bacino 3, in aggiunta alle criticità date dalla commistione del traffico commerciale e crocieristico già riportate e comuni a tutte le soluzioni, si sottolinea una ulteriore criticità data dalla necessità di effettuare in spazi ristretti una curva di oltre 90°;
- Nel caso dell'utilizzo del canale Contorta-Sant'Angelo, le simulazioni evidenziano che - pur mantenendo le criticità dovute alla commistione dei traffici commerciali e passeggeri nel primo tratto del canale Malamocco-Marghera e precedentemente descritte - i ritardi accumulati sono inferiori. Ciò dovuto al fatto che le navi passeggeri occuperebbero il Canale di Malamocco solo nella zona dove possono navigare più velocemente in quanto lì la rete dei canali ha maggiore capacità. Inoltre il punto di biforcazione tra il canale di Malamocco e del canale della Contorta può essere strutturato in modo da potere permettere l'incrocio di grandi navi.

Inoltre, sotto il profilo dell'interferenza con traffici pericolosi, l'Autorità Portuale di Venezia rileva che l'utilizzo del canale Vittorio Emanuele III comporta un vincolo pregiudiziale al poter considerare questa via che risulta pertanto esclusa in incipit⁴.

Pertanto, sotto il profilo del congestionamento del traffico - e quindi dei suoi effetti sull'operatività commerciale e passeggeri del porto - l'alternativa migliore di collegamento del Canale Malamocco-Marghera con Marittima è quella del canale Contorta-Sant'Angelo. In ogni caso rimarranno non trascurabili problematicità di gestione del tratto canale Malamocco-Marghera che va dalla bocca di porto a al punto di biforcazione delle rotte verso Marittima.

⁴ Nel caso invece dell'utilizzo del canale delle Trezze l'interferenza con zone ad alto rischio si verificherebbe nel solo bacino n. 3 e a Fusina, mentre tale interferenza risulterebbe nulla nel caso del canale Contorta-Sant'Angelo.

5 Riferimenti bibliografici

1. M. Christiansen, K. Fagerholt, B. Nygreen, and D. Ronen, “Maritime transportation”. In: C. Barnhart and G. Laporte (Eds.), “Handbook in Operations Research & Management Science”, Vol. 14, Elsevier, 2007.
2. O. Ulusçu, and T. Altiok, “Waiting time approximation in single-class queueing systems with multiple types of interruptions: Modeling congestion at waterways entrances”, “Annals of Operations Research”, Vol. 172, pp. 291-313, 2011.
3. R. J. Norman, “An algorithm for the scheduling of vessels through Panama Canal”, M.S. Thesis at the Operations Research Department of Naval Postgraduate School, Monterey, CA. 1973.
4. M.S. Bronzini, “Panama Canal capacity analysis”. TN of the Oak Ridge National Laboratory. 1995.
5. L.A.G. Franzese, L.O. Abdenur, R.C. Botter, D. Starks, and A.R. Cano, “Simulating the Panama Canal: Present and future”. In: “Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference”, Vol. 2, pp. 1835-1838, Washington, DC, 2004.
6. J. Golkar, A. Shekhar, and S. Buddhavarapu, (1998). “Panama Canal simulation model”. In: “Proceedings of 1998 winter simulation conference”, Vol. 2, pp. 1229-1237, Washington, DC, 1998.
7. E.R Petersen, and A.J. Taylor, “An optimal scheduling system for the Welland Canal”, “Transportation Science”, Vol. 22, pp. 173-185, 1988.
8. O. Ulusçu, B. Ozbas, T. Altiok, I. Or, and T. Yilmaz, “Transit vessel scheduling in the strait of Istanbul”, “Journal of Navigation”, Vol. 62, pp. 59-77, 2009.
9. E. Kose, E. Basar, E. Demirci, A. Guneroglu, and S. Erkebay, (2003). “Simulation of marine traffic in Strait of Istanbul”, “Simulation Modelling Practice and Theory”, Vol. 11, pp. 597-608, 2003.
10. D. Mavrakis, and N. Kontinakis, “A queueing model of maritime traffic in Bosphorus Straits”, “Simulation Modeling Practice and Theory”, Vol. 16, pp. 315-328, 2008.
11. M.M. Golias, G.K.D. Saharidis, M. Boilé, and S. Theofanis (2009) “The berth allocation problem: Optimizing vessel arrival time”, “Maritime Economics and Logistics”, Vol. 11, pp. 358-377, 2009.
12. J.-F. Cordeau, G. Laporte, P. Legato, and L. Moccia, “Models and tabu search heuristics for the berth-allocation problem”, “Transportation Science”, Vol. 39, pp.526-538, 2005.
13. M.M Golias, M. Boilé, S. Theofanis, and C. Efstathiou, “The berth scheduling problem: Maximizing berth productivity and minimizing fuel consumption and emissions production”,



“Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Marine Transportation and Port Operations”, Vol. 2166, pp. 20-27, 2010.

14. A. Imai, J-T. Zhang, E. Nishimura, and S. Papadimitriou, “The berth allocation problem with service time and delay time objectives”, “Maritime Economics and Logistics”, Vol. 9, pp. 269-290, 2007.
15. A. Lim, “The berth planning problem”, “Operations Research Letters “, Vol. 22, pp. 105-110, 1998.
16. R.M. Lusby, J. Larsen, M. Ehrgott, and D. Ryan, “Railway track allocation: Models and methods”, “OR Spectrum”, Vol. 33, pp. 843-883, 2011.
17. J. Tornquist, “Computer-based decision support for railway traffic scheduling and dispatching: A review of models and algorithms”. In: L.G. Kroon, and R.H. Mohring (Eds.), “5th Workshop on Algorithmic Methods and Models for Optimization of Railways”, Dagstuhl, Germany, 2006.
18. R.K. Ahuja, C.B. Cunha, and G. Sahin, “Network models in railroad planning and scheduling”. In :J.C. Smith (Ed.), “Tutorials in Operations Research”, Vol. 1, pp. 54-101. Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS), 2005.
19. R. Acuna-Agost, P. Michelon, D. Feillet, and S. Gueye, “API: Statistical analysis of propagation of incidents. A new approach for rescheduling trains after disruptions”, “European Journal of Operational Research”, Vol. 215, pp. 227-243, 2011.
20. M. Carey, and D. Lockwood, “A model, algorithms and strategy for train pathing”, “Journal of the Operational Research Society”, Vol. 46, pp. 988-1005, 1995.
21. X. Cai, C.J. Goh, and A.I. Mees, “Greedy heuristics for rapid scheduling of trains on a single track”, “IIE Transactions”, Vol. 30, pp. 481-493, 1998.
22. X. Zhou, and M. Zhong, “Single-track train timetabling with guaranteed optimality: Branch-and-bound algorithms with enhanced lower bounds”, “Transportation Research Part B: Methodological”, Vol. 41, pp. 320-341, 2007.