

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

NUOVO PIANO REGOLATORE PORTUALE DEL PORTO DI LIVORNO 2012

STUDIO DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA E DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE ALL'INTERNO DEL PORTO DI LIVORNO

INDICE

1	PREMESSE.....	1
2	CIRCOLAZIONE IDRICA PORTUALE.....	3
2.1	<i>Applicazione del sistema di modellazione SMS.....</i>	<i>3</i>
2.2	<i>Discretizzazione dello specchio liquido</i>	<i>4</i>
2.3	<i>Definizione delle condizioni al contorno</i>	<i>8</i>
2.4	<i>Risultati delle simulazioni idrodinamiche.....</i>	<i>9</i>
3	Verifica della qualità delle acque all'interno del nuovo porto di LIVORNO.....	20
4	CONCLUSIONI.....	32
5	APPENDICE: DESCRIZIONE DEL MODELLO MATEMATICO SMS	34
5.1	<i>Introduzione</i>	<i>34</i>
5.2	<i>Codice RMA-2.....</i>	<i>35</i>
5.3	<i>Applicazioni</i>	<i>35</i>
5.4	<i>Equazioni utilizzate</i>	<i>35</i>
5.5	<i>RMA-4</i>	<i>36</i>
5.6	<i>Equazioni utilizzate</i>	<i>37</i>
5.7	<i>Processo di Simulazione</i>	<i>37</i>
5.7.1	<i>Costruzione della griglia</i>	<i>37</i>
5.7.2	<i>Condizioni al contorno.....</i>	<i>38</i>
5.7.3	<i>GFGEN.....</i>	<i>38</i>
5.7.4	<i>RMA-2</i>	<i>38</i>
5.7.5	<i>Post-processing con il SMS</i>	<i>38</i>
5.7.6	<i>Validazione</i>	<i>39</i>
5.7.7	<i>RMA-4.....</i>	<i>39</i>

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

1 PREMESSE

La presente relazione, redatta nell'ambito del nuovo Piano Regolatore Portuale 2012 del porto di Livorno, riguarda lo studio idrodinamico eseguito ai fini dell'analisi del ricambio idrico portuale per la nuova configurazione di Piano.

Lo studio è stato condotto (ai sensi del D.M. 14/4/1998) applicando il modello matematico agli elementi finiti denominato SMS (Surfacewater Modeling System), che risolve le equazioni non lineari per le acque basse (non linear shallow water equations).

In via cautelativa, le simulazioni sono state condotte utilizzando come unica forzante idrodinamica le oscillazioni di livello dovute alla sola marea astronomica, assunta di tipo semi-diurno con altezze pari a 0.4 m e 0.3 m.

Il lavoro è indirizzato ad esplicitare in maniera quantitativa l'effetto delle nuove opere del P.R.P. 2012 rispetto allo stato attuale, tramite la simulazione di parametri significativi dal punto di vista della circolazione idrica portuale e quindi della qualità delle acque.

Esso cioè è finalizzato alla conoscenza ed alla determinazione dei parametri necessari per una corretta ed oggettiva valutazione dell'influenza sulla qualità delle acque delle nuove opere di P.R.P. 2012 in progetto, ovvero se le opere previste peggiorano, migliorano o lasciano inalterate le condizioni attuali della qualità delle acque, senza quantificarne lo stato assoluto in quanto trascende dagli scopi del Piano.

Lo studio è stato condotto determinando dapprima il campo idrodinamico indotto dalle sole oscillazioni di marea all'interno dei bacini che costituiscono il porto di Livorno nelle configurazioni attuale e di progetto (P.R.P. 2012). Successivamente, in funzione del campo idrodinamico calcolato per le due diverse configurazioni, è stata valutata la capacità di ricambio idrico con riferimento al decadimento dell'ossigeno disciolto che si verifica in 5 giorni di cicli di marea.

I risultati hanno mostrato che in corrispondenza delle zone più interne delle darsene, caratterizzate da zone di ristagno ove potrebbero verificarsi sensibili decadimenti della concentrazione di ossigeno, non vi è alcuna variazione sensibile sul campo idrodinamico dovuta alla realizzazione delle nuove opere previste dal nuovo P.R.P. 2012.

E' importante precisare che gli scenari simulati sono rappresentativi delle condizioni più gravose ai fini del ricambio idrico all'interno del porto di Livorno, in quanto non si è tenuto

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

conto né della presenza di correnti litoranee né dell'effetto del vento, forzanti che contribuiscono in modo sostanziale alla movimentazione delle acque superficiali favorendo quindi la vivificazione nelle zone di ristagno.

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

2 CIRCOLAZIONE IDRICA PORTUALE

Per la verifica del campo idrodinamico che contraddistingue il nuovo porto di Livorno, sia nella configurazione attuale che in quella prevista dal presente studio di P.R.P. 2012, sono stati esaminati gli scenari che prevedono come forzanti idrodinamiche del sistema, in via cautelativa, le variazioni di livello dovute alla sola marea astronomica.

I risultati delle simulazioni condotte con il codice di calcolo numerico SMS hanno permesso di verificare le condizioni di circolazione idrodinamica negli specchi liquidi presi in esame.

Nei paragrafi successivi vengono ampiamente descritte le simulazioni condotte ponendo particolare attenzione alle ipotesi di base nonché alle condizioni al contorno cui si è fatto riferimento.

2.1 Applicazione dei sistema di modellazione SMS

I modelli di calcolo impiegati nel presente studio appartengono al sistema di modellazione SMS che consente di simulare i fenomeni idrodinamici che si verificano nel flusso di masse d'acqua superficiali tramite il codice di calcolo agli elementi finiti RMA-2, descritto in appendice.

Il programma SMS, operativo in ambiente Windows, è stato utilizzato anche per le procedure di post-processor relative alle analisi ed alla realizzazione dei grafici bidimensionali che riproducono i risultati delle elaborazioni.

Nella fase preliminare dello studio (procedura di pre-processor), è stato utilizzato il codice GFGEN per la costruzione del reticolo geometrico, agli elementi finiti, con cui sono stati discretizzati gli specchi liquidi da simulare. Successivamente, all'interno del modello di calcolo sono state definite le condizioni idrodinamiche al contorno considerando le oscillazioni del livello marino imposte lungo delle linee che rappresentano il mare aperto.

Per le configurazioni prese in esame è stato quindi possibile, attraverso l'applicazione del modello SMS con un passo temporale di 30 minuti, studiare il campo idrodinamico indotto dall'azione della sola marea all'interno dei bacini portuali di Livorno.

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

2.2 Discretizzazione dello specchio liquido

Per la corretta applicazione delle routine di calcolo idrodinamico del modello SMS è stato necessario effettuare un'attenta e dettagliata discretizzazione del sistema liquido per le due configurazioni portuali da simulare.

Per la batimetria dei fondali e gli schemi portuali da prendere in esame (Figura 2.1 e Figura 2.2), si è fatto riferimento alle carte nautiche edite dall'Istituto Idrografico della Marina Militare ("CN. 4 – Da San Rossore al Canale di Piombino – Scala 1:100.000" e "CN. 120 – Litorale di Livorno – Scala 1:30.000"), alla batimetria di dettaglio presente nella zona portuale ed alle planimetrie di progetto di Piano Regolatore Portuale 2012, proposte per il porto di Livorno, sulle quali vengono riportate sia le variazioni planimetriche relative allo schema portuale che le aree e le quote dei dragaggi dei fondali.

Nel dettaglio, il campo fluido è stato suddiviso nel modo seguente.

- CONFIGURAZIONE ATTUALE: griglia di calcolo costituita da 2094 elementi (di cui 551 triangolari e 1543 quadrilateri), per un totale di 6337 nodi di calcolo (Figura 2.3).
- CONFIGURAZIONE DI P.R.P. 2012: griglia di calcolo costituita da 4252 elementi (di cui 1282 triangolari e 2970 quadrilateri), per un totale di 12347 nodi di calcolo (Figura 2.4).

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità' delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

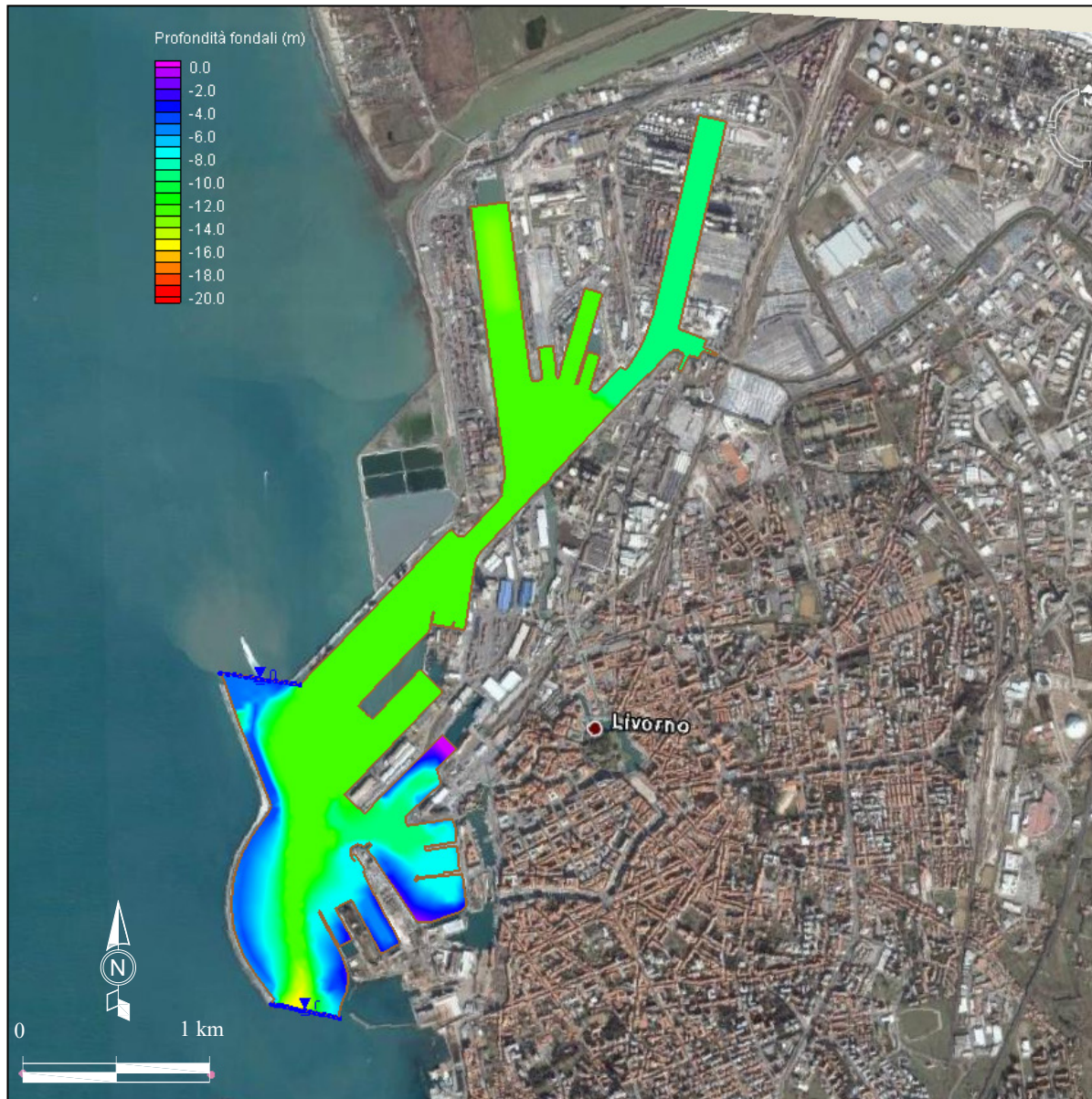


Figura 2.1 - Configurazione attuale: batimetria di riferimento per il modello SMS.

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità' delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

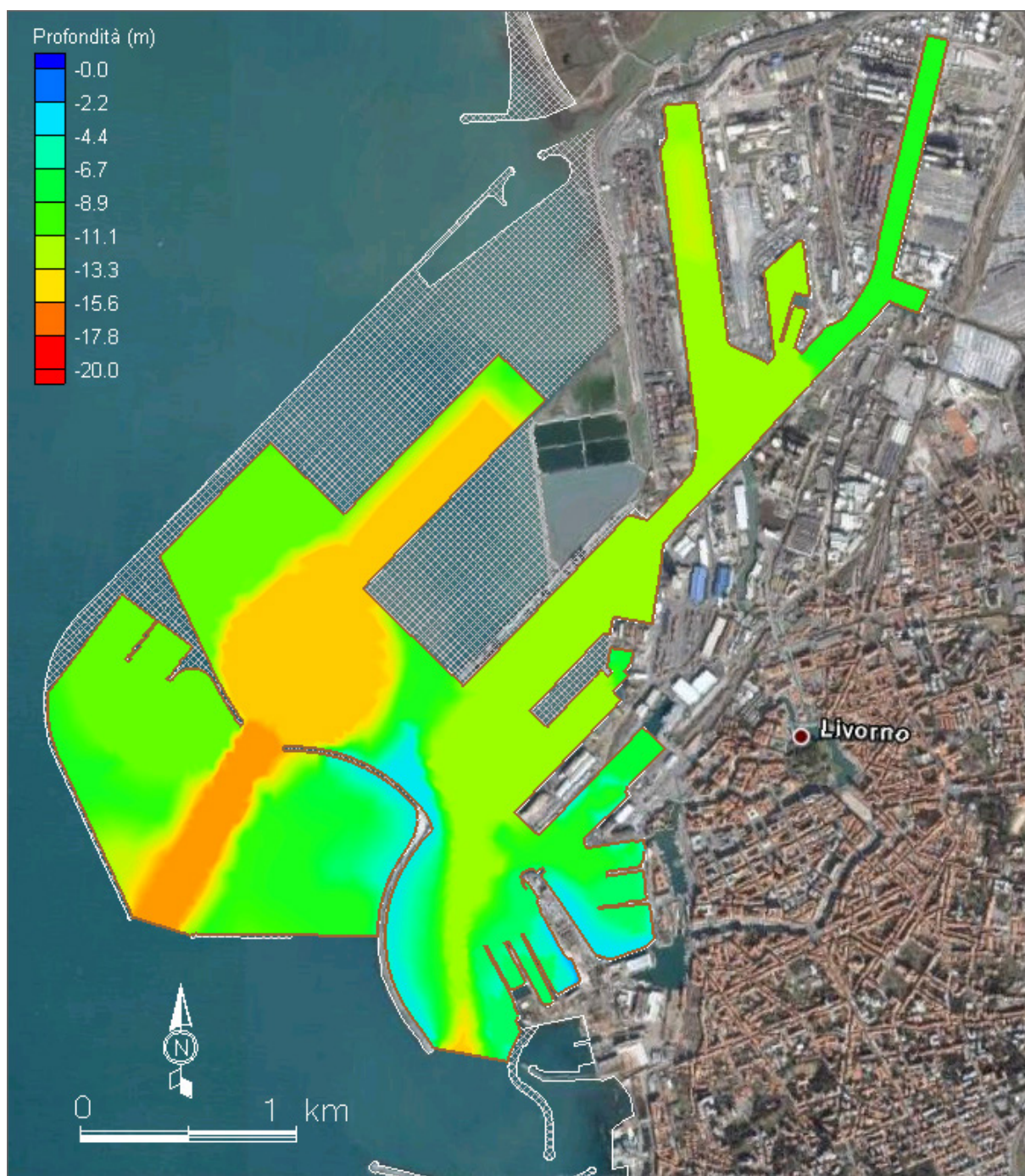


Figura 2.2 - Configurazione di Piano Regolatore Portuale 2012: batimetria di riferimento per il modello SMS.

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR



Figura 2.3 - Configurazione attuale: discretizzazione dello specchio liquido

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR



Figura 2.4 - Configurazione di Piano Regolatore Portuale 2012: discretizzazione dello specchio liquido

2.3 Definizione delle condizioni al contorno

Per le due configurazioni prese in esame nel presente studio, al fine di poter determinare il campo idrodinamico all'interno dei bacini che costituiscono il porto di Livorno indotto dalle oscillazioni di marea, è stato necessario definire ed impostare all'interno del modello matematico SMS le opportune condizioni al contorno.

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

Nel dettaglio, lungo delle linee di contorno che rappresentano le condizioni in mare aperto sono state imposte, con un intervallo temporale tra i dati di mezz'ora, le oscillazioni di marea in termini di variazioni del livello idrico.

Le oscillazioni del livello idrico si riferiscono ad una marea di tipo semi-diurno con altezze pari a 0.4 m e 0.3 m per un intervallo temporale di 120 ore e 10 cicli di marea (Figura 2.5).

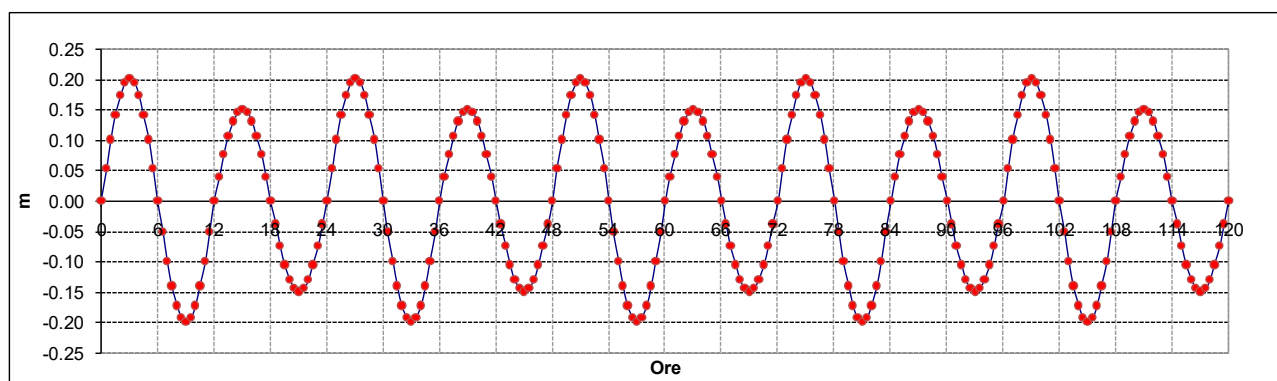


Figura 2.5 – Variazioni di livello considerate come condizioni al contorno per il modello SMS.

2.4 Risultati delle simulazioni idrodinamiche

Completata la fase di discretizzazione del sistema liquido e di definizione delle condizioni al contorno è stato applicato il programma GFGEN per la predisposizione dei file di input (in codice binario) utilizzati successivamente dal programma di idrodinamica RMA-2 agli elementi finiti.

Con quest'ultimo programma poi sono state condotte delle simulazioni con lo scopo di determinare dapprima il campo idrodinamico dovuto alle sole variazioni della marea astronomica all'interno dei bacini portuali presi in esame e successivamente di valutare per gli stessi bacini la capacità di ricambio idrico con riferimento al decadimento dell'ossigeno disciolto.

Nelle figure tra Figura 2.6 e Figura 2.15 è possibile verificare il campo di velocità che si registra nelle varie fasi di marea, per le due configurazioni simulate; i campi alle ore 21.00 e 3.00 corrispondono alle fasi di stanca (inversione del flusso mareale), mentre quello delle ore 24.00 coincide con il picco di flusso (marea entrante) e quello delle ore 6.00 con il picco di riflusso

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

(marea uscente). La scala di rappresentazione delle velocità (m/s) mostra come ci si poteva aspettare che nelle zone più interne dei canali, con particolare riferimento al Canale Industriale ed alla Darsena Toscana, la circolazione idrica dovuta alla sola marea risulta piuttosto modesta (registrandosi velocità inferiori ad 0,001 m/s).

Al termine di queste simulazioni si è quindi constatato che la capacità naturale di ricircolo delle acque invase lungo i canali che caratterizzano il porto di Livorno è al quanto limitata per entrambe le configurazioni.

CONFIGURAZIONE ATTUALE

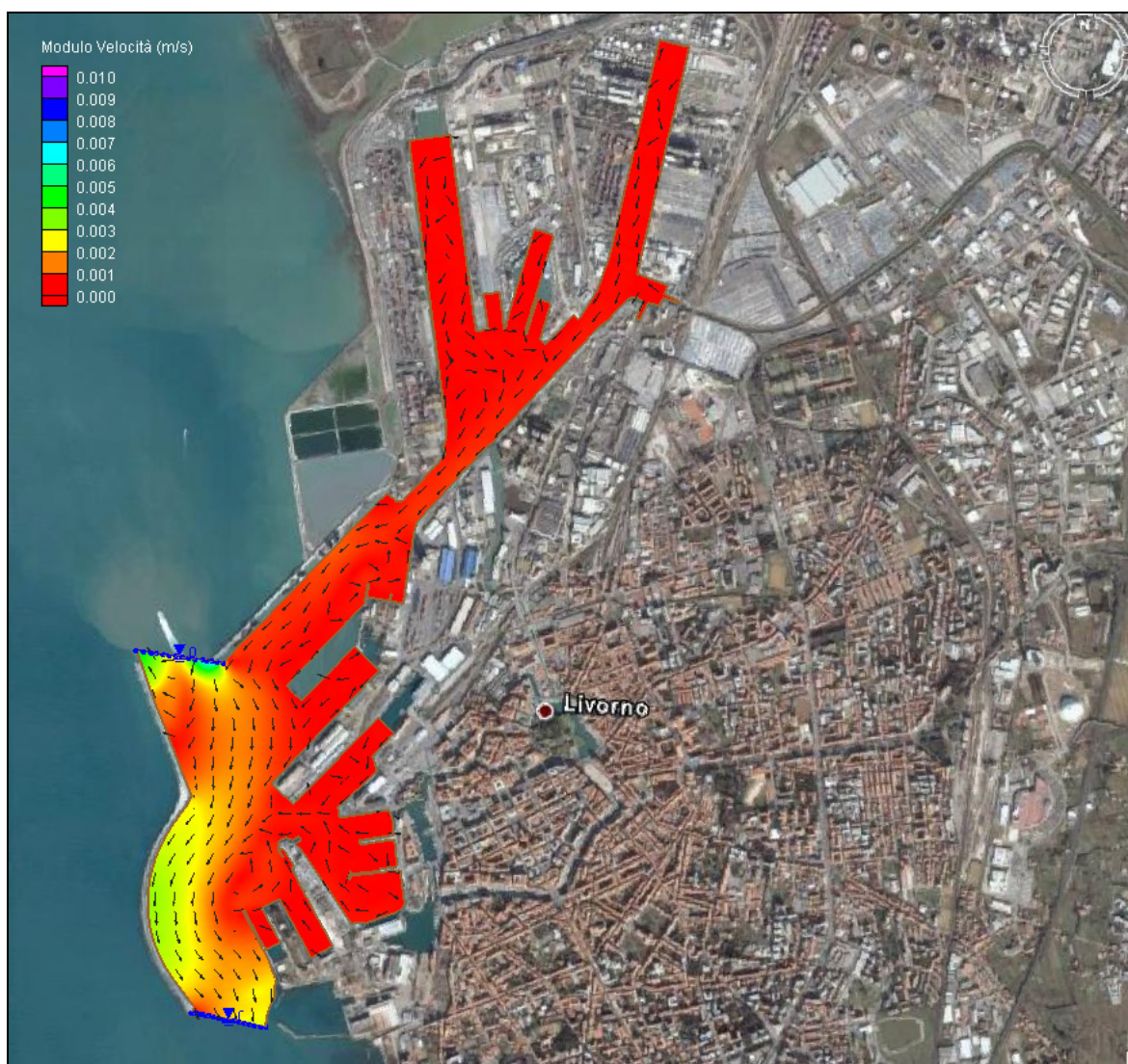


Figura 2.6 – Configurazione Attuale: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 21.00 (fase di stanca).

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità' delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

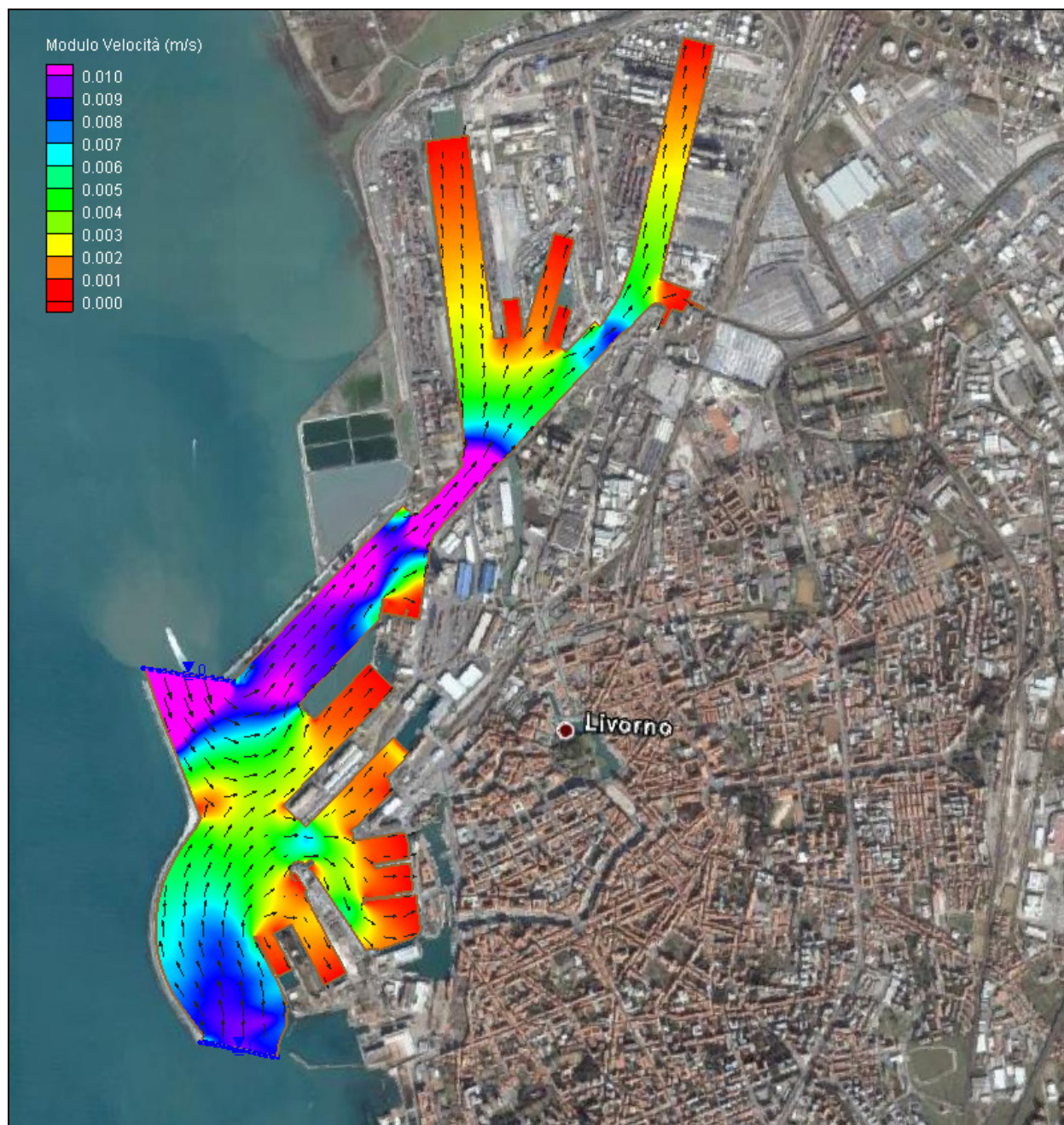


Figura 2.7 – Configurazione Attuale: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 24.00 (fase di flusso).

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

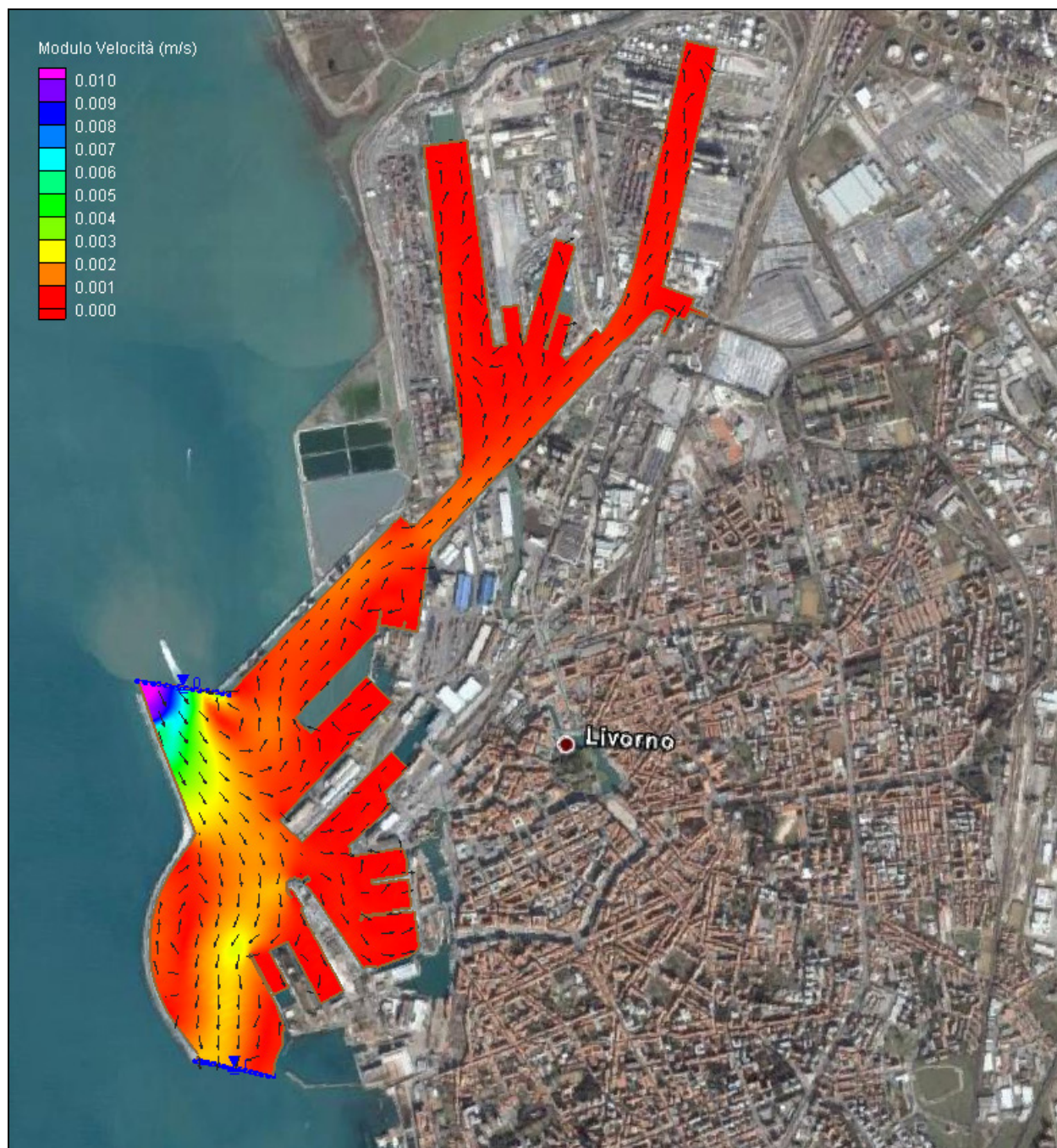


Figura 2.8 – Configurazione Attuale: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 03.00 (fase di stanca).

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

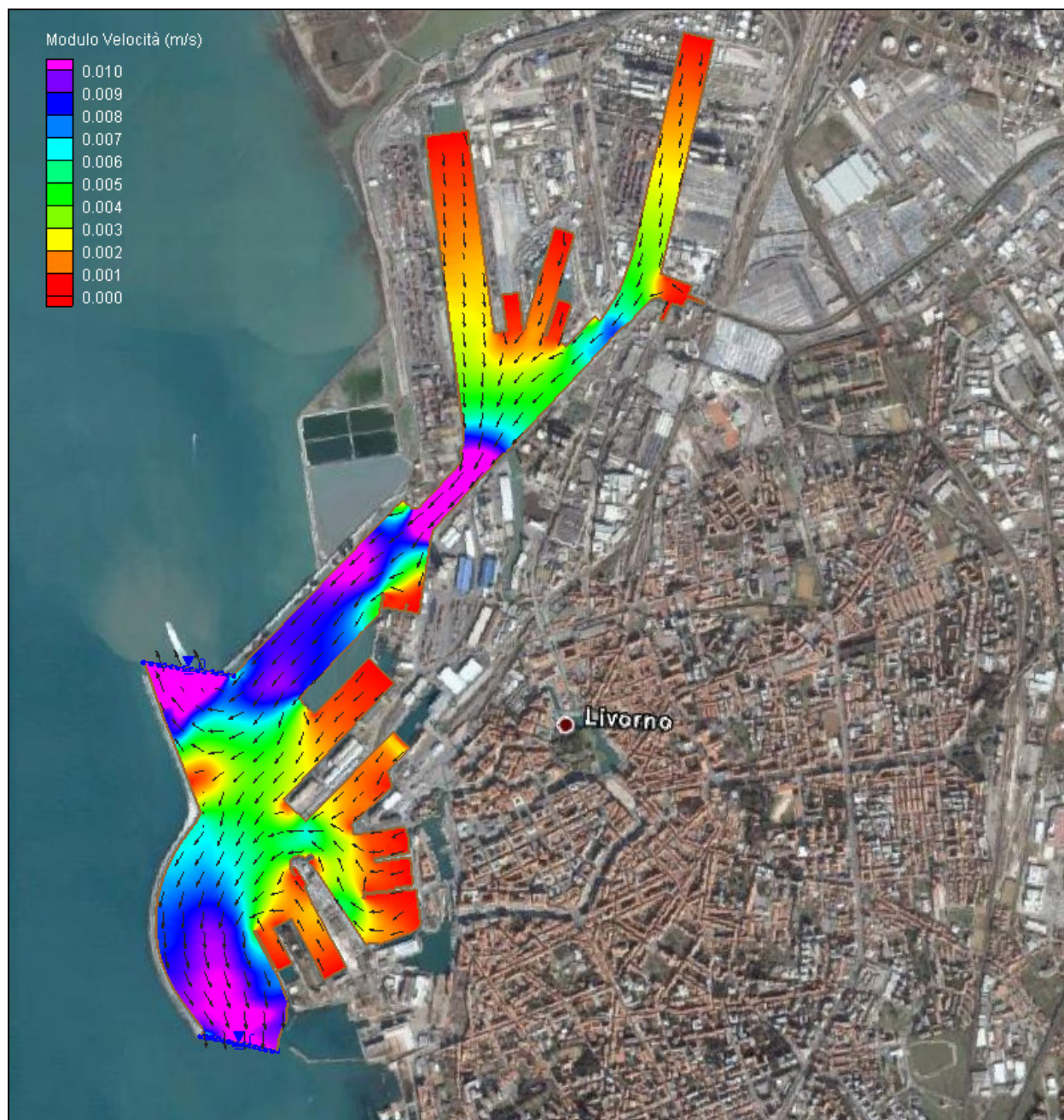


Figura 2.9 – Configurazione Attuale: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 06.00 (fase di riflusso).

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

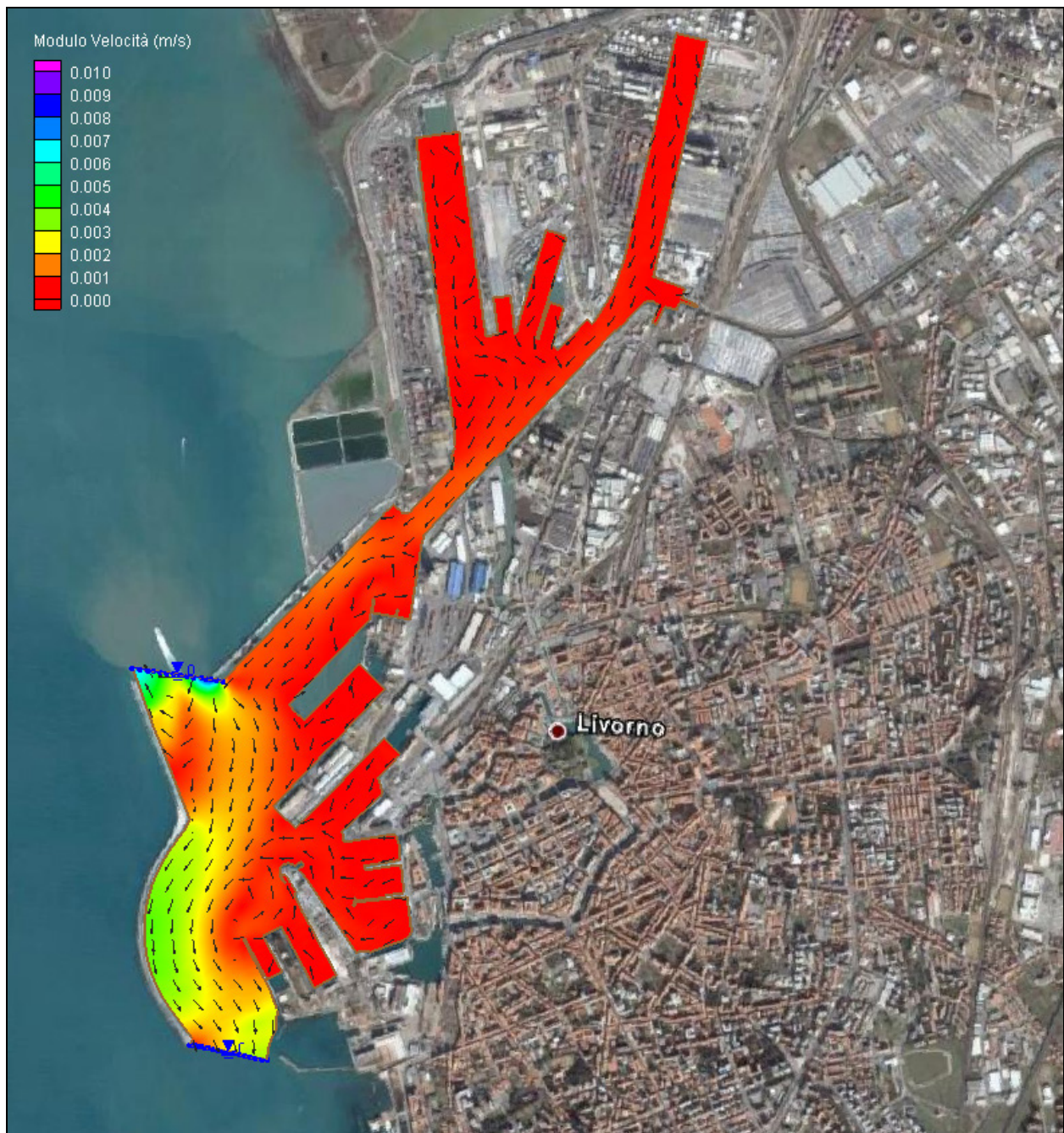


Figura 2.10 – Configurazione Attuale: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 09.00 (fase di stanca).

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità' delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

CONFIGURAZIONE DI PIANO REGOLATORE PORTUALE 2012

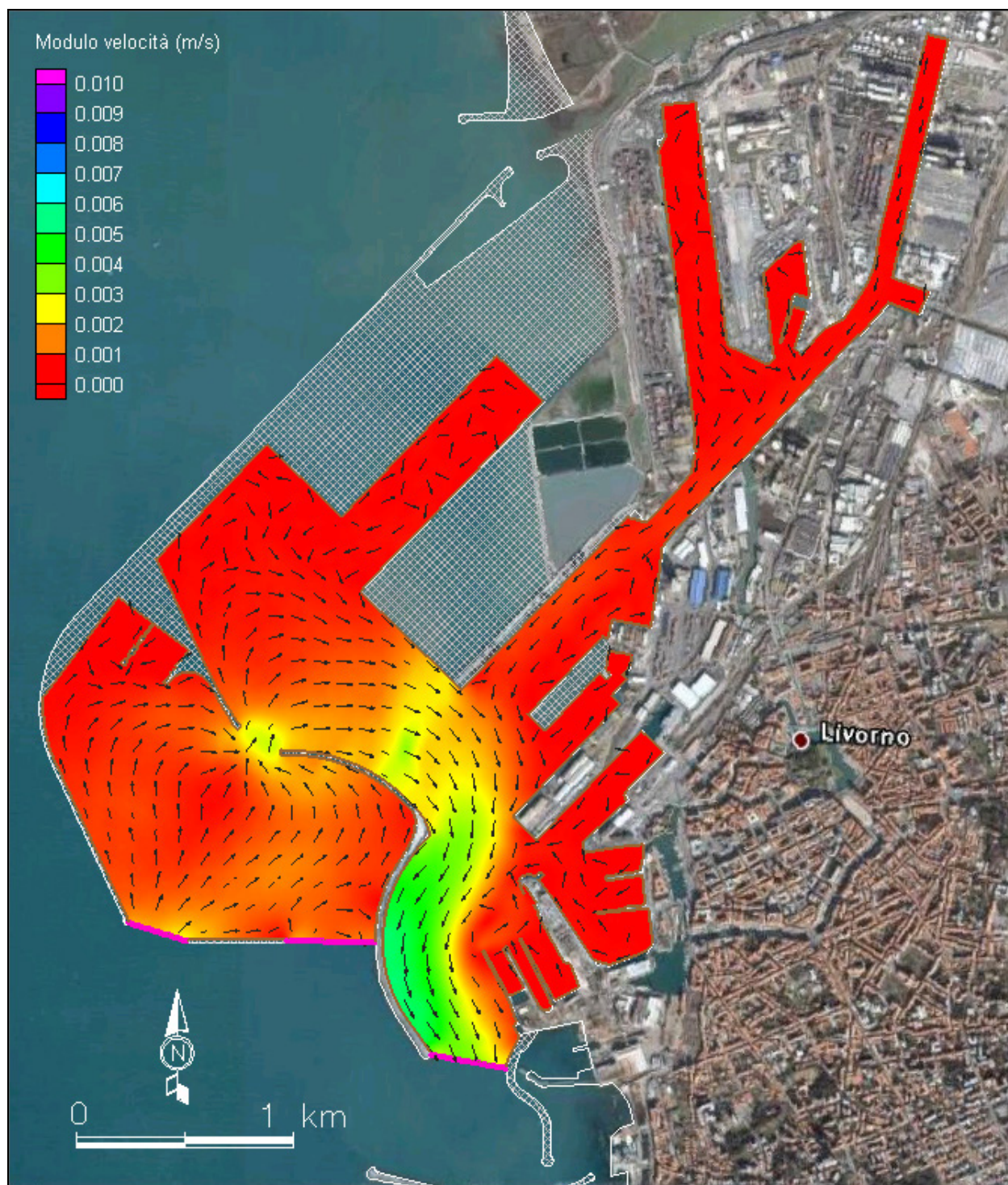


Figura 2.11: Configurazione di P.R.P. 2012; particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 21.00 (fase di stanca).

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità' delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

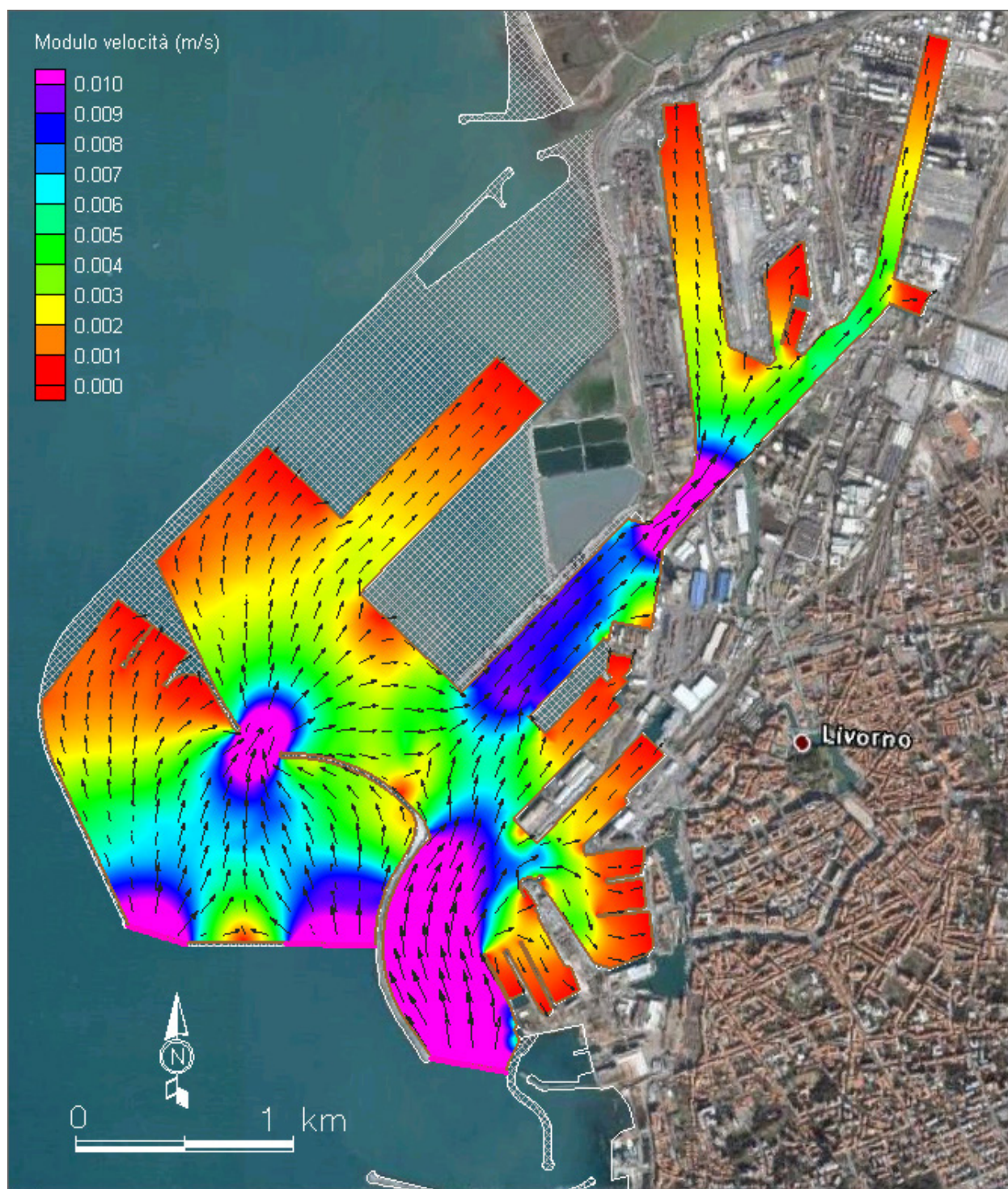


Figura 2.12 – Configurazione di P.R.P. 2012: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 24.00 (fase di flusso).

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

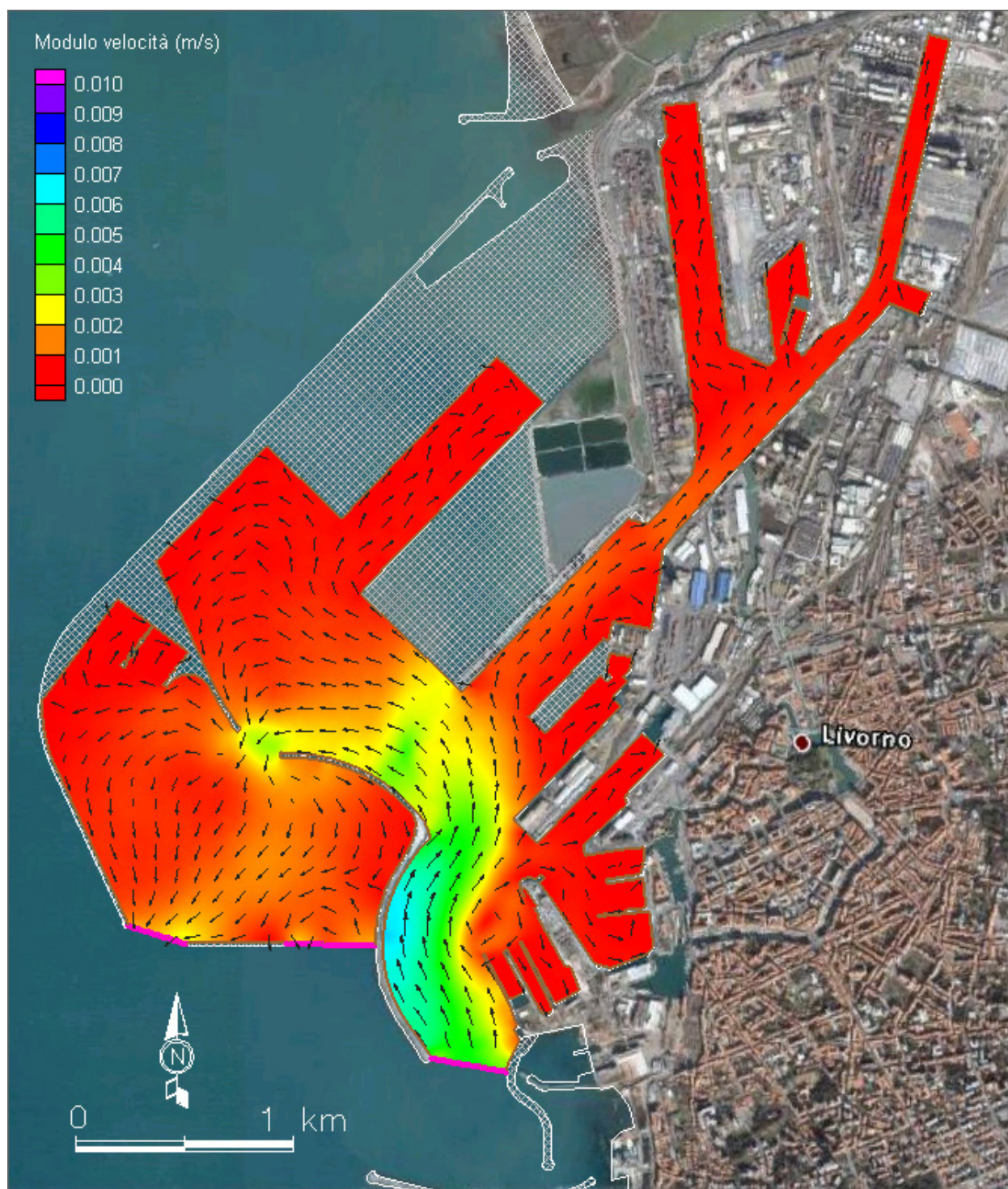


Figura 2.13 – Configurazione di P.R.P. 2012: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 03.00 (fase di stanca).

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità' delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

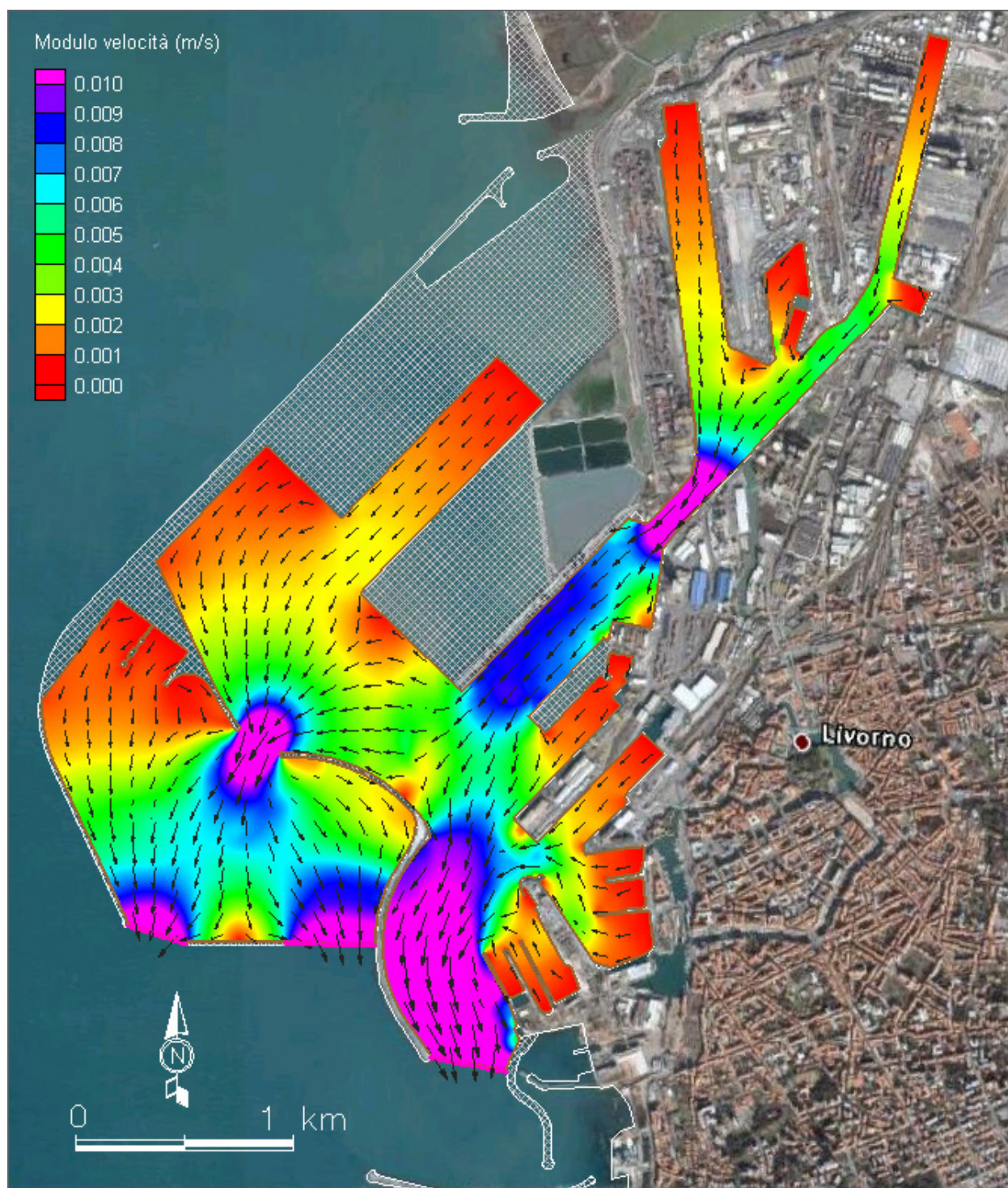


Figura 2.14 – Configurazione di P.R.P. 2012: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 06.00 (fase di riflusso).

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità' delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

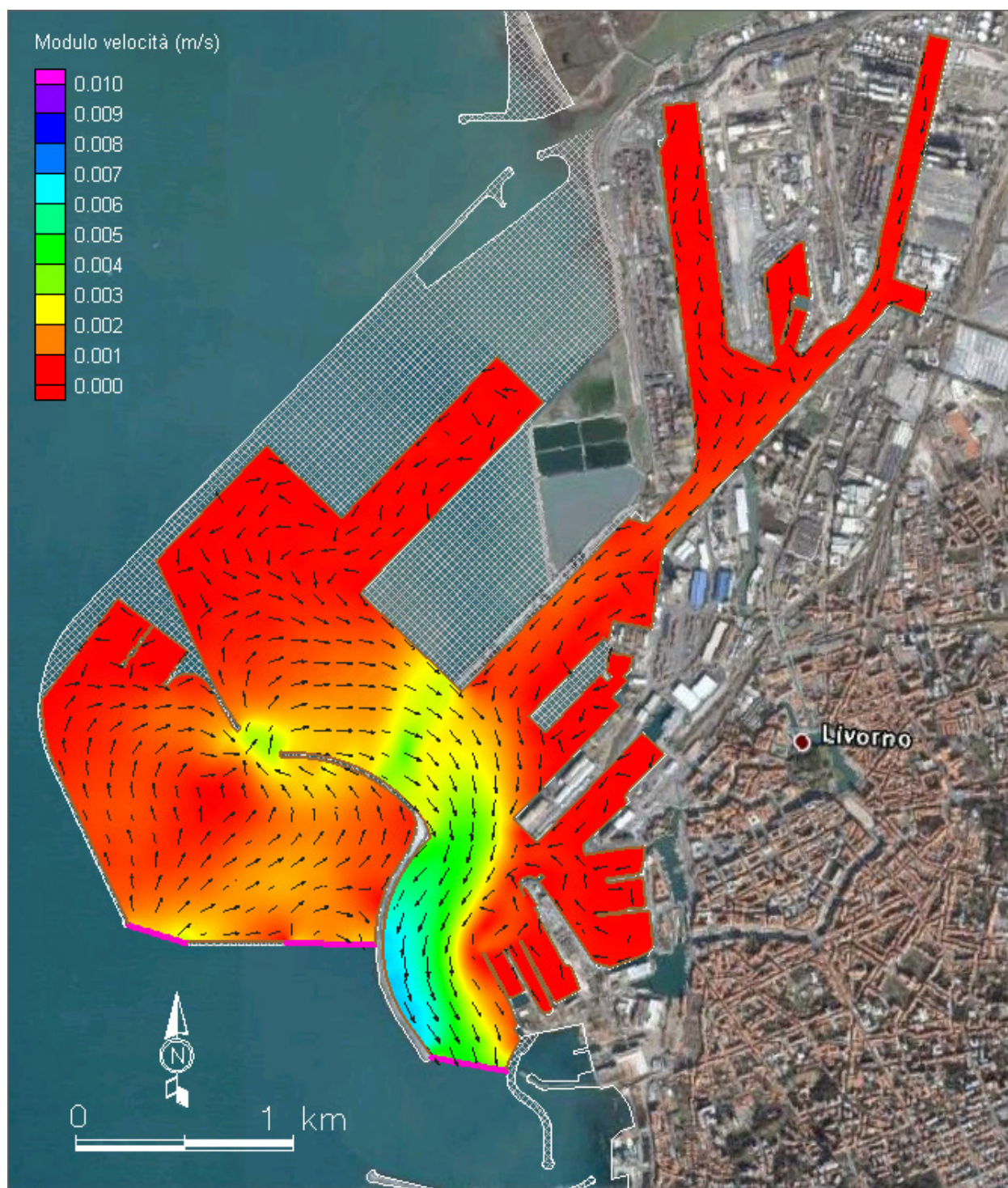


Figura 2.15 – Configurazione di P.R.P. 2012: particolare del campo idrodinamico indotto dalla sola marea astronomica alle ore 09.00 (fase di stanca).

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

3 VERIFICA DELLA QUALITÀ DELLE ACQUE ALL'INTERNO DEL NUOVO PORTO DI LIVORNO

Con lo scopo di verificare l'influenza delle nuove opere, previste dal presente studio di Piano per il porto di Livorno, sulla qualità delle acque all'interno dei nuovi bacini portuale, è stata valutata la capacità di ricambio idrico con riferimento al decadimento dell'ossigeno disciolto che si verifica in 5 giorni di cicli di marea.

A tal fine i risultati relativi ai campi idrodinamici, definiti con le simulazioni condotte tramite il modello RMA2, sono stati utilizzati per simulare le variazioni della concentrazione di ossigeno disciolto utilizzando il modulo di calcolo RMA4 (dalla suite degli applicativi del modello SMS), in grado di risolvere l'equazione di dispersione/diffusione.

Per le due configurazioni di progetto prese in esame è stato quindi possibile, attraverso l'applicazione del modello SMS con un passo temporale di 30 minuti e su un periodo totale di 120 ore di simulazione, studiare le variazioni temporali della concentrazione di ossigeno nelle acque all'interno dei bacini portuali di Livorno.

Le simulazioni sono state effettuate considerando una concentrazione iniziale per tutto lo specchio acqueo discretizzato pari a 5.0 mg/l ed una legge di decadimento di tipo esponenziale $[C(t)=C(t_0)e^{-kt}]$, assumendo come coefficiente di decadimento un valore pari a $k = 0.1$.

Inoltre, come condizioni al contorno, si è imposto che lungo i domini di frontiera che rappresentano le due imboccature portuali, presenti sia nella situazione attuale che nel nuovo porto di Livorno, si abbia una concentrazione di ossigeno disciolto pari a 7.0 mg/l. Tale scelta è sicuramente conservativa. Nella realtà lungo le due imboccature portuali si potranno riscontrare valori della concentrazione di ossigeno disciolto superiori a quelli assunti in ragione della marcata miscelazione operata dalle onde e dalle correnti marine.

I risultati ottenuti dall'applicazione del modello RMA4, per le due configurazioni prese in esame ed oggetto di confronto, hanno mostrato come negli specchi acquei più interni ed in particolare lungo il Canale Industriale e la Darsena Toscana, come ci si aspettava tra l'altro, la scarsa capacità del solo flusso mareale a garantire il ricambio idrico potrebbe creare delle zone di ristagno con conseguente decadimento della concentrazione di ossigeno (Figura 3.1 ÷ Figura 3.10) sia nella configurazione attuale che in quella di P.R.P. 2012.

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

Per ovviare a tale problema si potrebbe prevedere un sistema di pompaggio, da dimensionare e verificare in maniera opportuna, in grado di immettere acqua prelevata dall'esterno dei bacini portuali e forzare la circolazione naturale con conseguenti miglioramenti sulla capacità di ricambio dell'intero sistema.

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

CONFIGURAZIONE ATTUALE

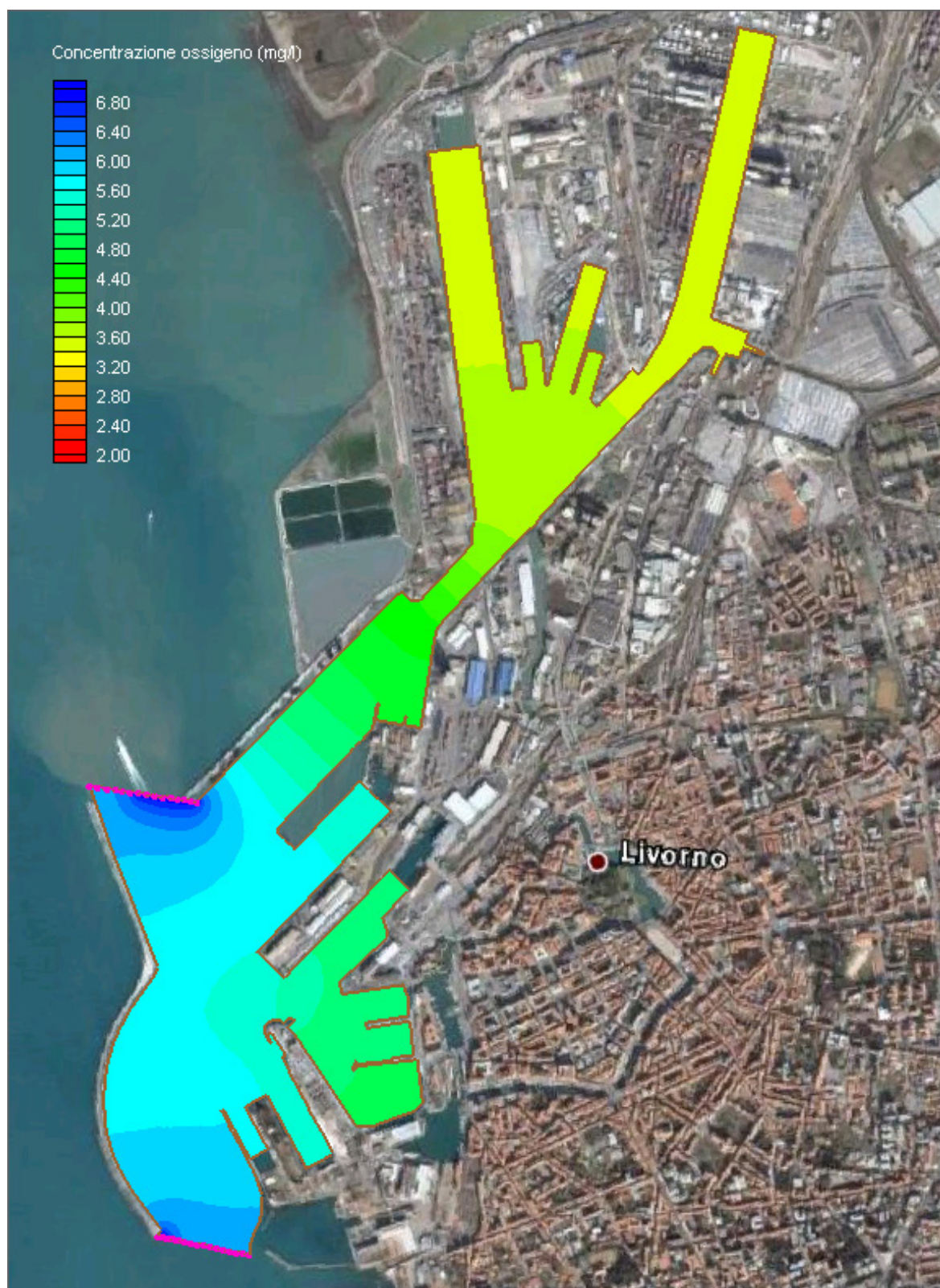


Figura 3.1 – Configurazione attuale con la sola forzante di marea (concentrazione dell'ossigeno disciolto $t=93$ ore - valori in mg/l).

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità' delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

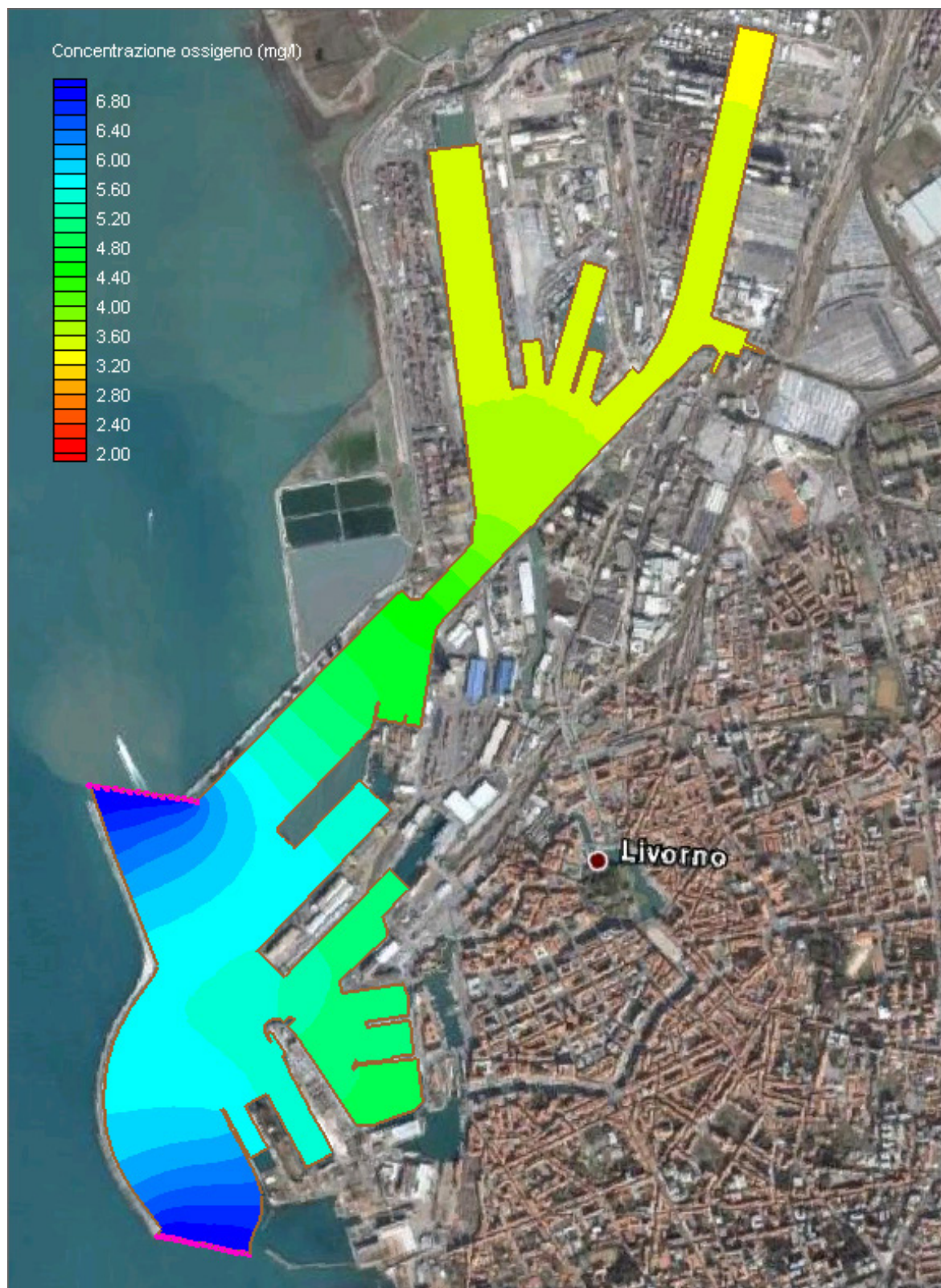


Figura 3.2 – Configurazione attuale con la sola forzante di marea (concentrazione dell'ossigeno disciolto t=96 ore - valori in mg/l).

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità' delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

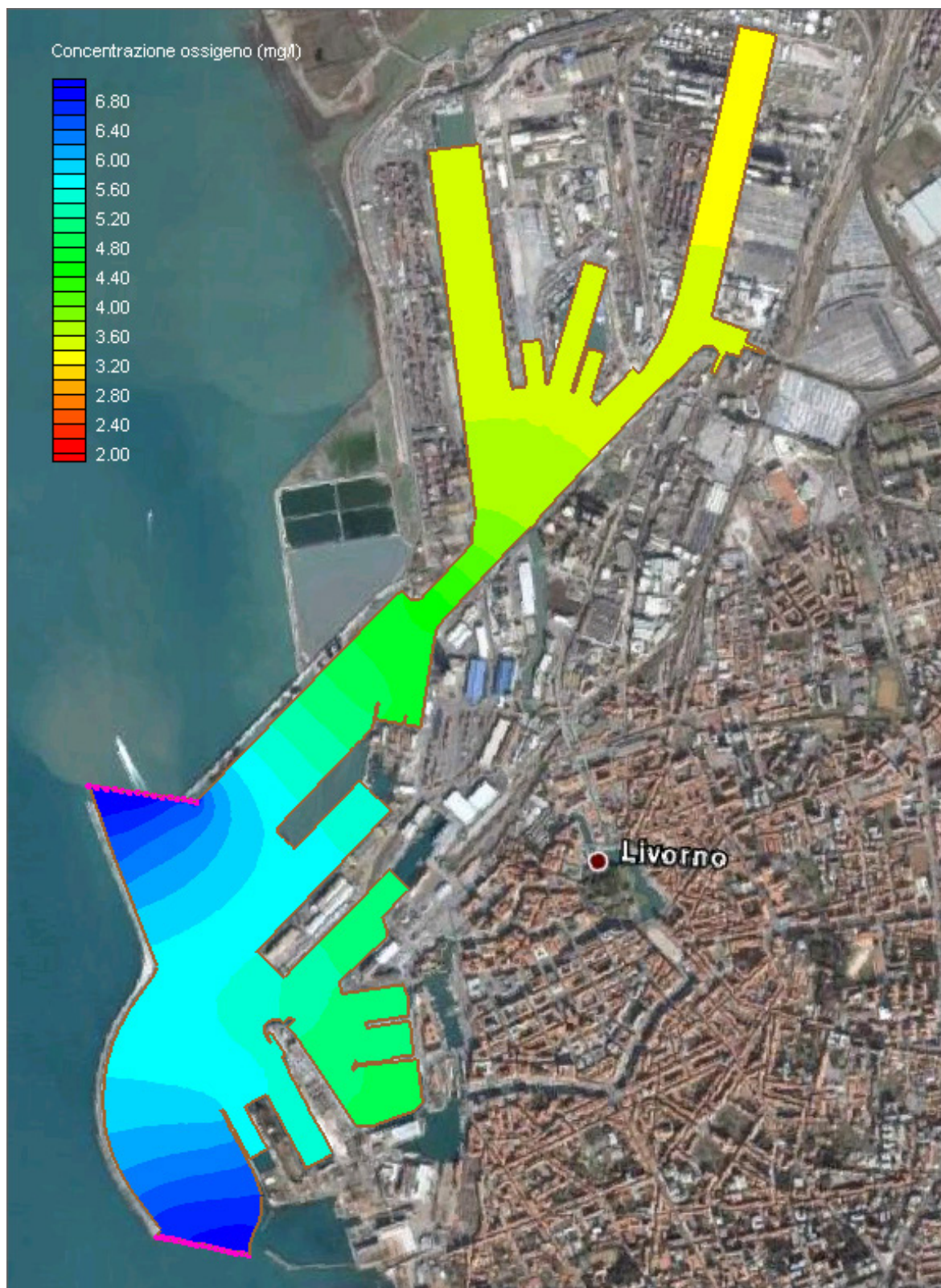


Figura 3.3 – Configurazione attuale con la sola forzante di marea (concentrazione dell'ossigeno disciolto t=99 ore - valori in mg/l).

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità' delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

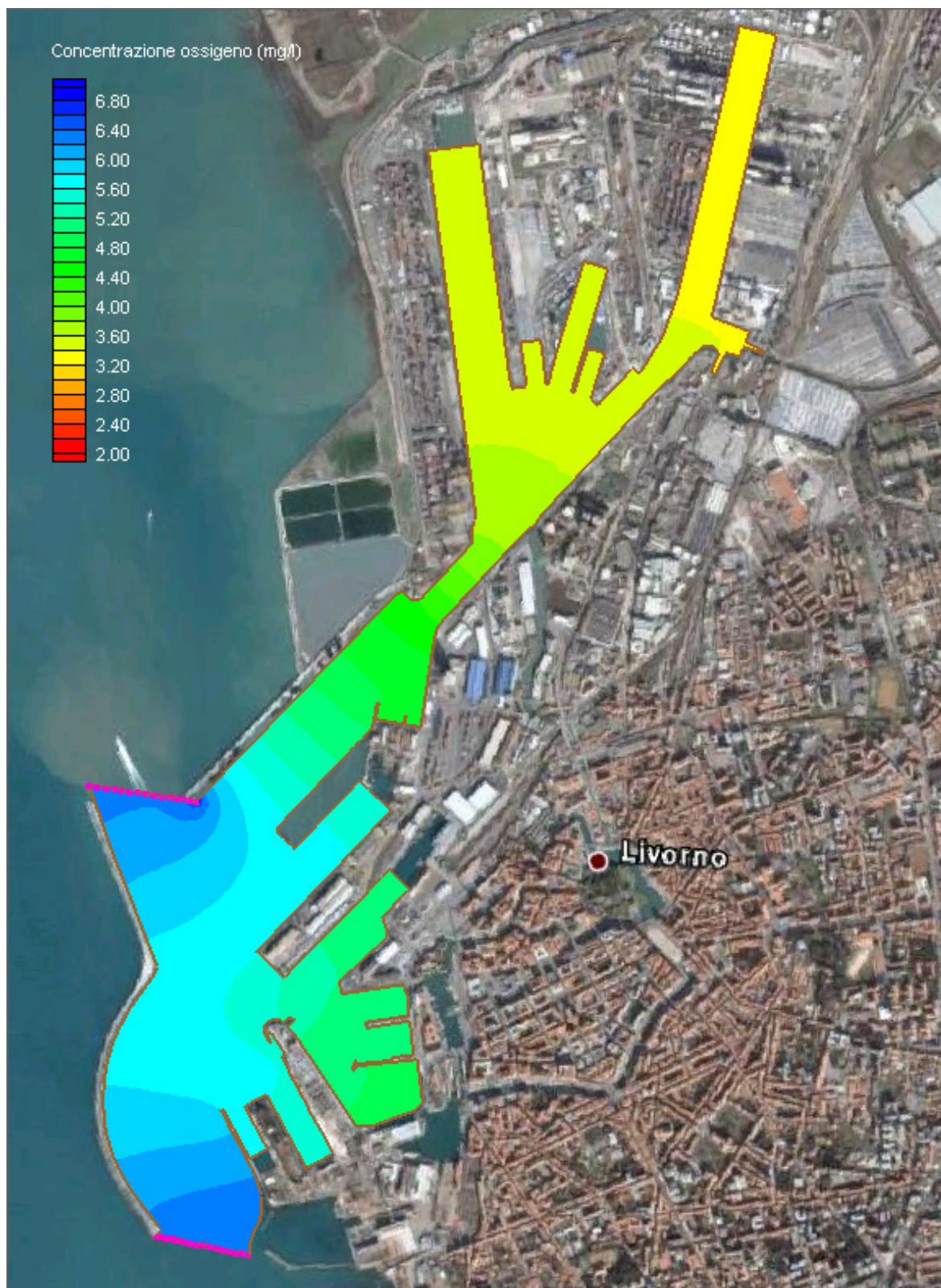


Figura 3.4 – Configurazione attuale con la sola forzante di marea (concentrazione dell'ossigeno disciolto t=102 ore - valori in mg/l).

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

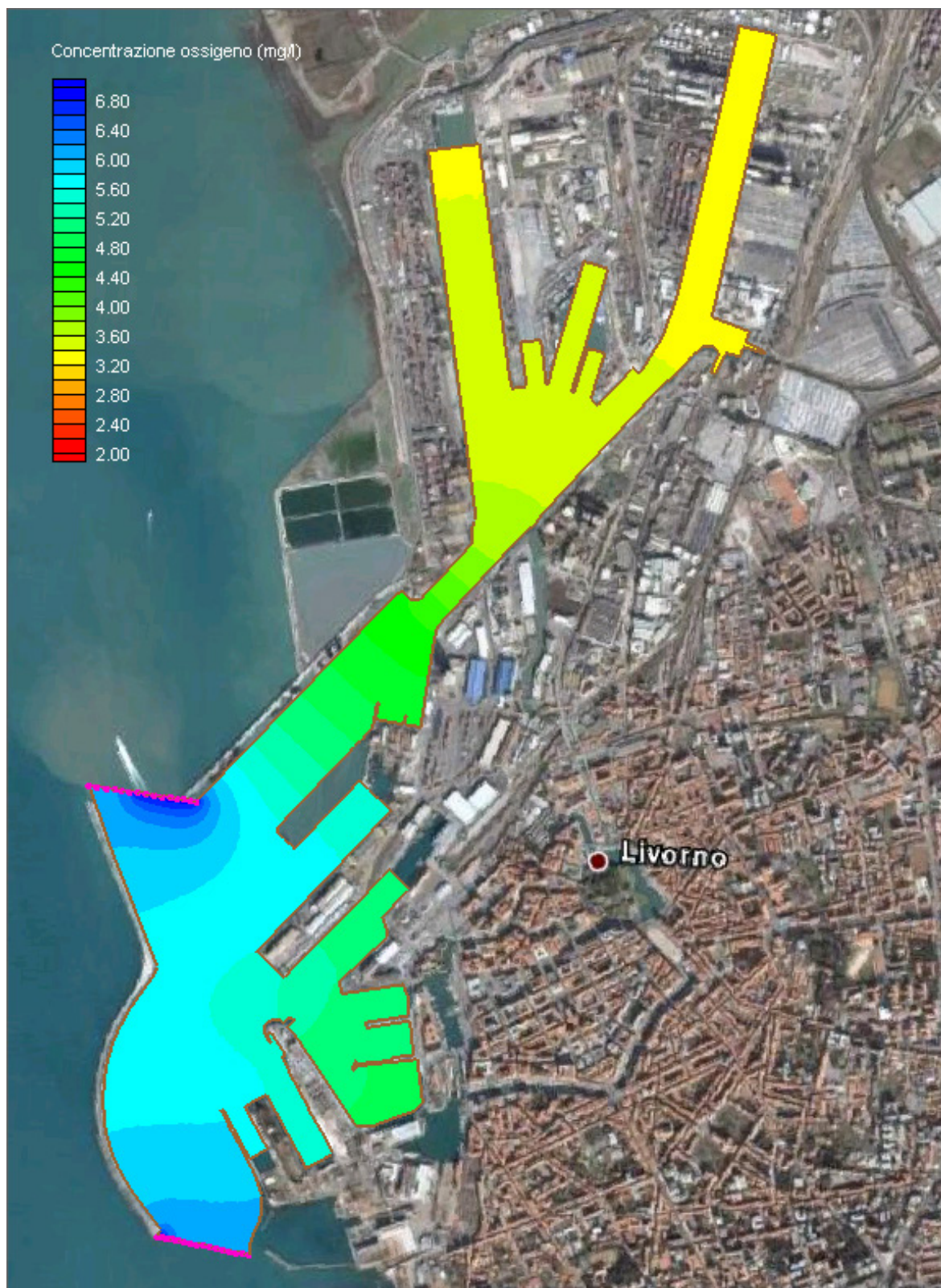


Figura 3.5 – Configurazione attuale con la sola forzante di marea (concentrazione dell'ossigeno disciolto $t=105$ ore - valori in mg/l).

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

CONFIGURAZIONE DI PIANO REGOLATORE PORTUALE 2012

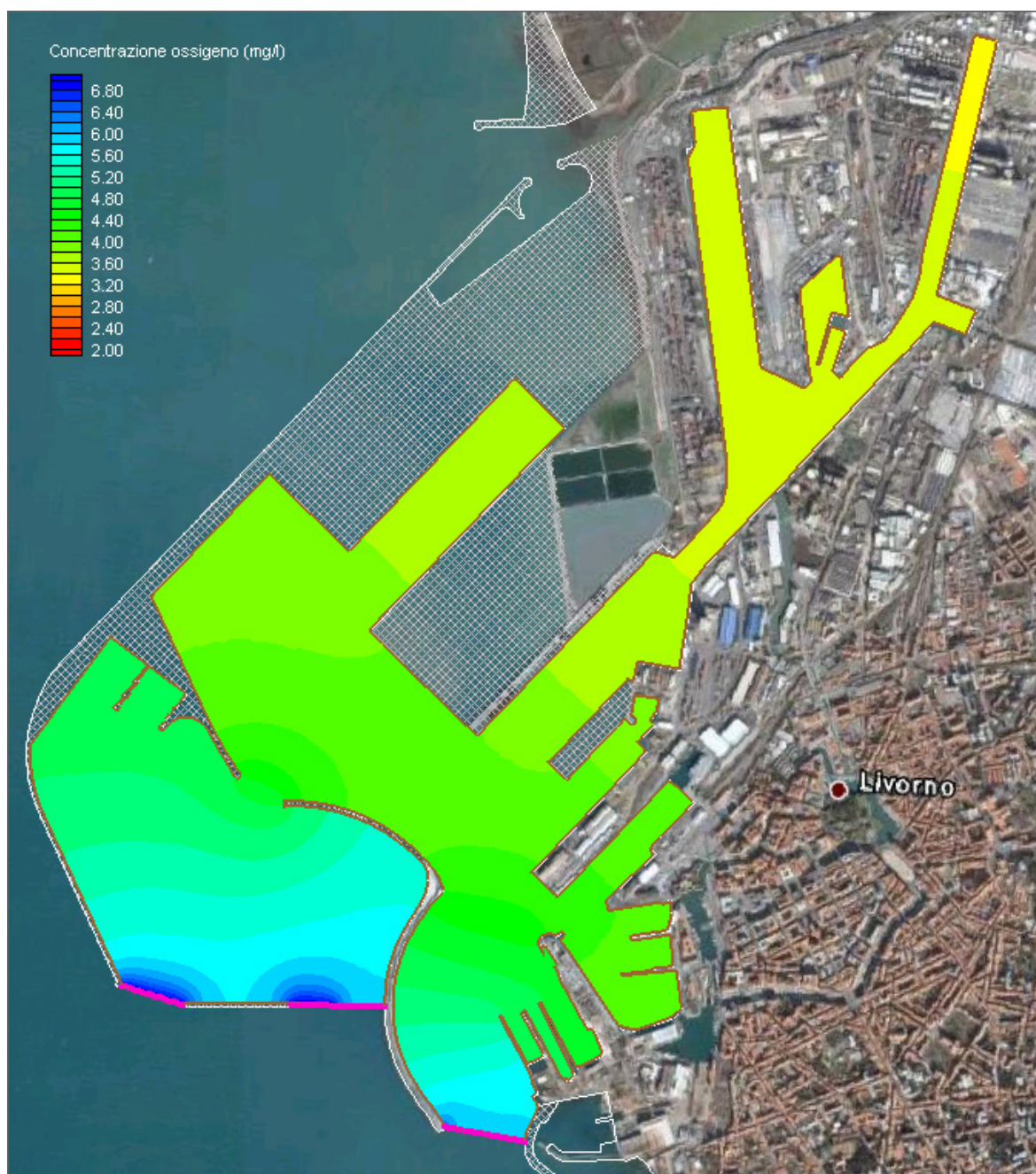


Figura 3.6 – Configurazione di P.R.P. 2012 con la sola forzante di marea (concentrazione dell'ossigeno disciolto t=93 ore - valori in mg/l).

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

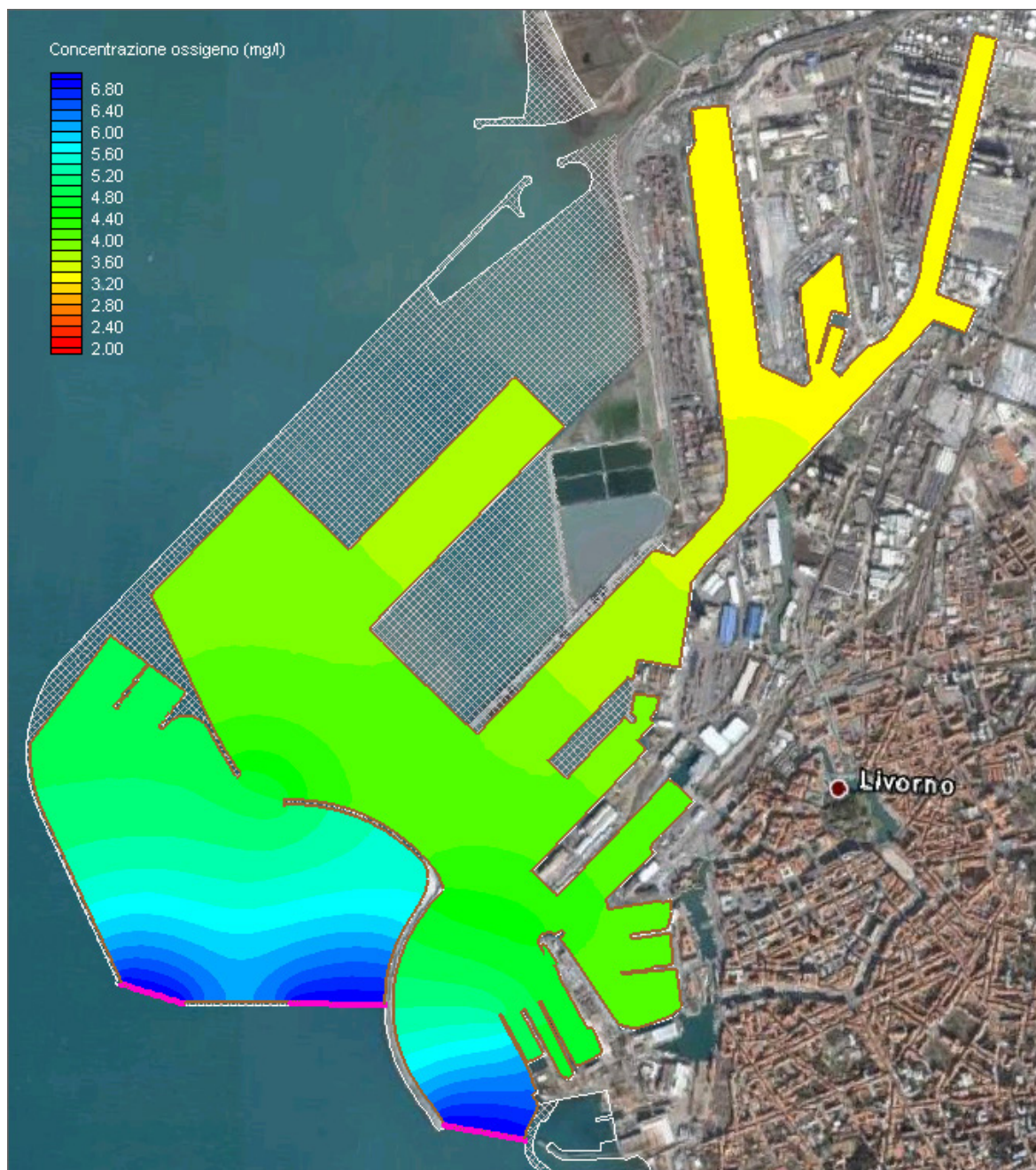


Figura 3.7 – Configurazione di progetto con la sola forzante di marea (concentrazione dell'ossigeno disciolto $t=96$ ore - valori in mg/l).

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

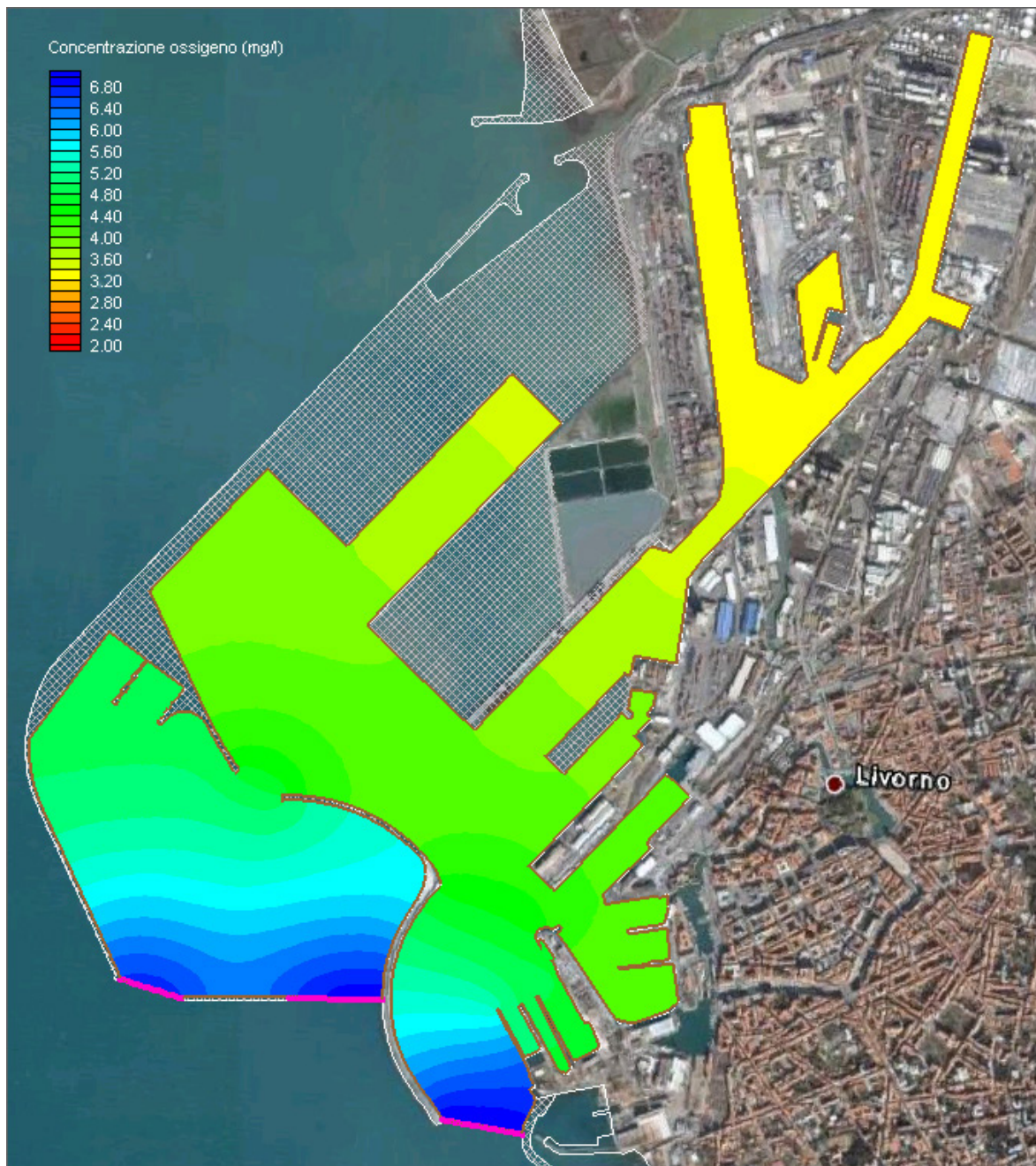
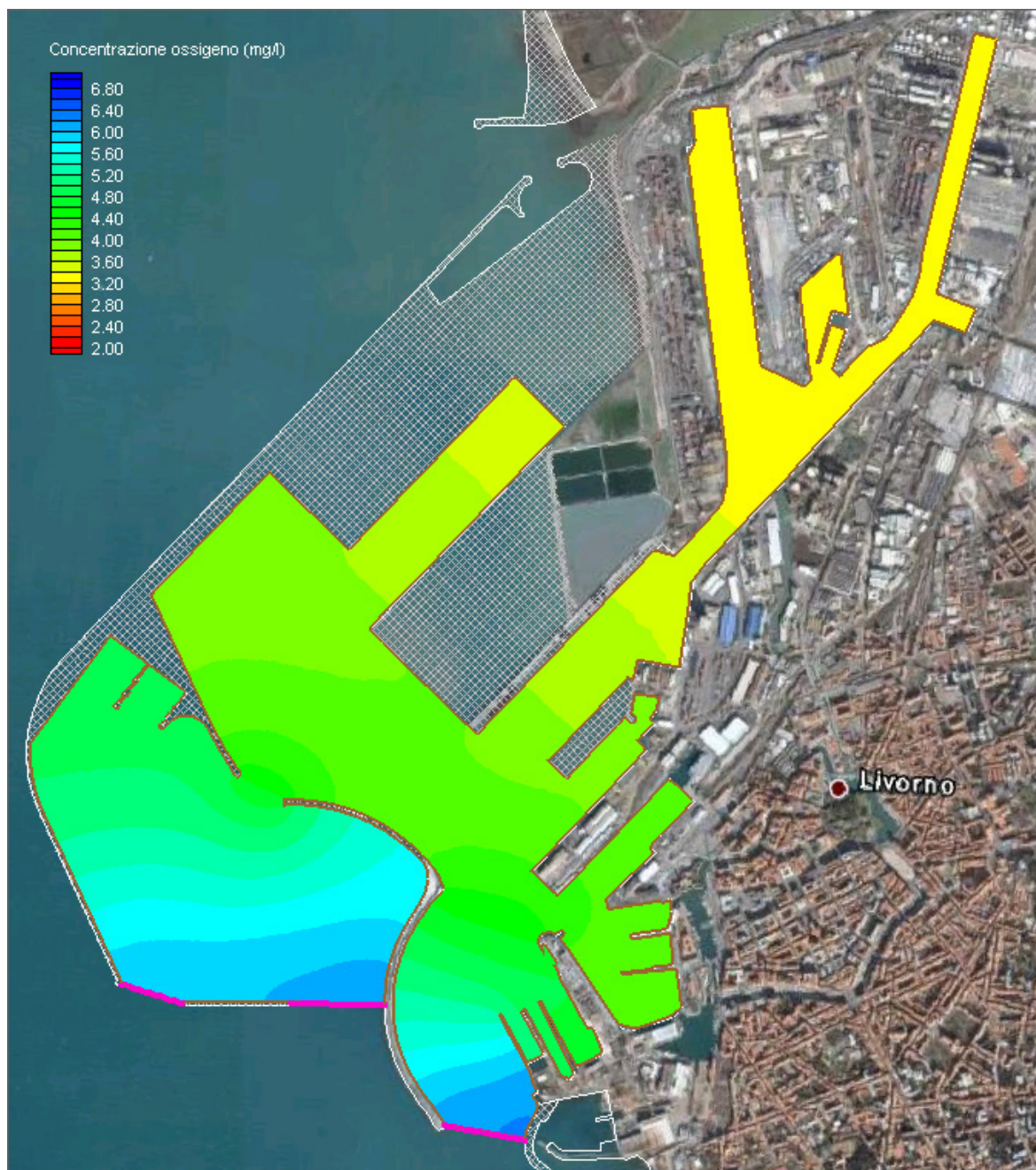


Figura 3.8 – Configurazione di progetto con la sola forzante di marea (concentrazione dell'ossigeno disciolto $t=99$ ore - valori in mg/l).

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR



**Figura 3.9 – Configurazione di progetto con la sola forzante di marea
(concentrazione dell'ossigeno disciolto $t=102$ ore - valori in mg/l).**

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

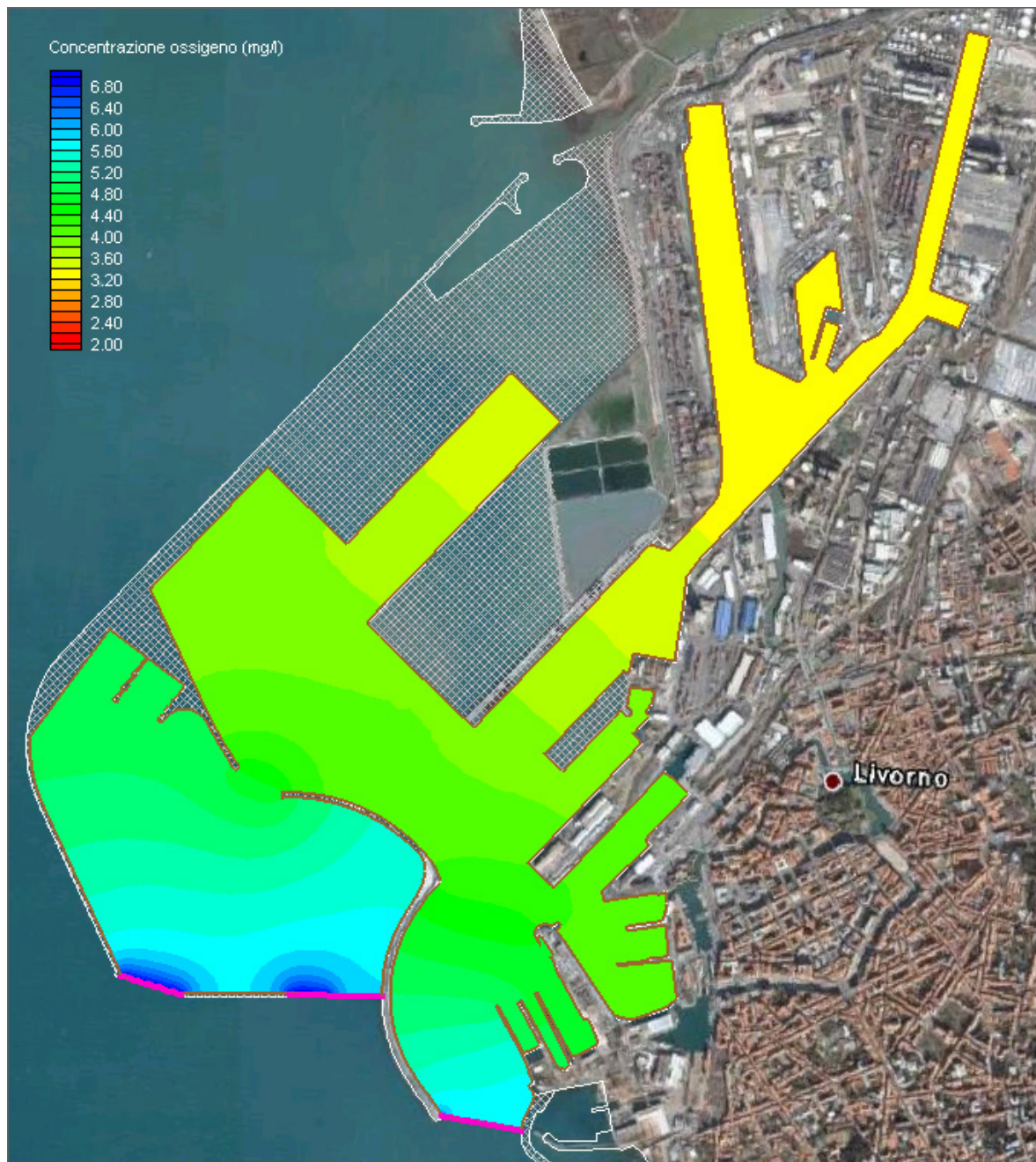


Figura 3.10 – Configurazione di progetto con la sola forzante di marea (concentrazione dell'ossigeno disciolto t=105 ore - valori in mg/l).

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

4 CONCLUSIONI

Attraverso l'applicazione del modello SMS è stato possibile determinare il campo delle velocità indotte dalle sole oscillazioni di marea all'interno dei bacini che caratterizzano il porto di Livorno sia nella configurazione attuale che nella configurazione prevista dal presente studio di Piano Regolatore Portuale 2012.

Sulla base poi dei risultati ottenuti dallo studio della circolazione idrica è stato possibile ricavare l'andamento temporale della concentrazione di ossigeno sull'intero specchio acqueo portuale.

E' importante sottolineare che i risultati ottenuti dalle diverse simulazioni fanno riferimento alle condizioni più gravose ai fini della qualità delle acque.

Infatti, nelle condizioni di input per il modello SMS, sono state considerate come forzanti per il campo idrodinamico le sole escursioni di marea tralasciando gli effetti dovuti all'azione del moto ondoso ed all'azione del vento che favoriscono il movimento delle masse d'acqua all'interno dell'intero bacino portuale.

Risulta pertanto evidente che i valori della concentrazione, ottenuti dalle diverse simulazioni, sono ampiamente cautelativi e non forniscono indicazioni quantitative sullo stato assoluto della qualità delle acque.

Peraltro lo scopo principale del presente studio è quello di verificare, comparando i diversi risultati, in quale modo le nuove opere previste dal presente studio di Piano Regolatore Portuale 2012 influenzano la qualità delle acque rispetto alle condizioni attuali.

Analizzando i risultati ottenuti dalle diverse simulazioni ed effettuando una comparazione degli stessi per i due diversi scenari simulati, si evince che l'ampliamento previsto per il porto di Livorno secondo la proposta di Piano Regolatore Portuale 2012 non peggiora in maniera sostanziale la diffusione e la dispersione dell'ossigeno all'interno dei bacini portuali esistenti, lasciando quindi pressoché inalterate le attuali condizioni organolettiche che contraddistinguono i lunghi canali presenti nel porto di Livorno. Peraltro, al fine di migliorare la qualità delle acque nelle zone caratterizzate da basse velocità del campo idrodinamico ovvero da una scarsa capacità di ricambio idrico, con particolare riferimento ai bacini che caratterizzano la Darsena Toscana ed il Canale Industriale, è consigliabile prevedere degli impianti di pompaggio, da studiare e dimensionare in maniera opportuna al fine di determinare

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

le posizioni ottimali, le relative portate di immissione ed i tempi di attivazione degli impianti stessi, che siano in grado di forzare la circolazione naturale attraverso l'immissione di acqua prelevata dall'esterno dei bacini portuali e migliorare quindi la capacità di ricambio dell'intero sistema.

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

5 APPENDICE: DESCRIZIONE DEL MODELLO MATEMATICO SMS

5.1 Introduzione

Il sistema TABS è stato sviluppato dalla United States Army Engineering Waterways Experiment Station per simulare numerosi problemi idrodinamici in acque basse.

Il modello SMS è provvisto di pre-post processore grafico per programmi che richiedono griglie 2D agli elementi finiti sviluppato dall'Engineering Computer Graphics Laboratory a Brigham.

I programmi contenuti nel pacchetto TABS possono essere usati per analizzare le variazioni di livello ed il campo di velocità per problemi idrodinamici in acque basse. Il TABS fornisce sia soluzioni in moto permanente che in moto vario, in altre parole la soluzione può trovarsi sia per istanti di tempo che per una serie di passi temporali.

I programmi del pacchetto TABS contengono, inoltre, un codice per la simulazione della diffusione di inquinanti, dell'erosione e del trasporto solido.

In una tipica applicazione, SMS viene utilizzato per costruire un reticolo agli elementi finiti della regione simulata e per applicare condizioni al contorno. Le informazioni che descrivono le griglie vengono quindi salvate in un file geometrico ed in uno o più file in cui sono contenute le condizioni al contorno.

Il software TABS è quindi utilizzato per eseguire analisi idrodinamiche attraverso simulazioni numeriche. Le soluzioni creano uno o più file contenenti, tra le altre cose, i livelli di superficie idrica e il campo di velocità in ciascun nodo della griglia presa in esame. Questi file soluzione possono essere introdotti nel modello SMS che consente una loro visualizzazione sotto forma di grafici vettoriali a colori, corredati se necessario dell'andamento temporale delle differenti grandezze di interesse.

Il modello SMS può essere utilizzato, anche, come un pre e post processore per altri programmi agli elementi finiti, purché questi programmi siano compatibili con i formati utilizzati. Il modello SMS è idoneo per la costruzione di griglie grandi e complesse (potendo raggiungere anche centinaia di elementi) di forma arbitraria.

L'intero pacchetto software è disponibile a livello commerciale ed è provvisto del manuale per l'utente.

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

I due componenti principali del sistema TABS, il codice RMA-2 per la determinazione del campo idrodinamico ed il codice RMA-4 per l'individuazione della concentrazione dell'ossigeno disciolto, vengono descritte di seguito.

5.2 Codice RMA-2

Il cuore del sistema TABS è rappresentato dal programma RMA-2 per la simulazione di moti a superficie libera. L'RMA-2 è un programma bidimensionale agli elementi finiti per la soluzione di problemi idrodinamici, che fornisce risultati mediati sulla verticale.

Originariamente, l'RMA-2 è stato sviluppato da Norton ed altri (1973) della Resource Managment Associates, Inc. di Davis, in California. Diverse modifiche al codice originale sono state fatte da alcuni ricercatori della Waterway Experiment Station (Thomas e McAnally, 1991).

5.3 Applicazioni

L'RMA-2 può essere utilizzato per calcolare i livelli di superficie idrica e il campo di velocità nei punti nodali di una griglia agli elementi finiti che rappresenta un corpo d'acqua come ad esempio un fiume, un porto o un estuario.

L'RMA-2 può fornire soluzioni sia in moto permanente che in moto vario. In altre parole, le condizioni al contorno (portata entrante, livelli di superficie idrica) variano nel tempo e la soluzione si può trovare per un determinato numero di passi temporali. Ciò rende possibile la simulazione di condizioni dinamiche per le correnti causate da portate variabili o cicli mareali.

L'RMA-2 non è applicabile a problemi con correnti supercritiche.

L'output dell'RMA-2 viene registrato in un file soluzione binario. Il file può contenere la soluzione di uno o più passi temporali, in funzione del fatto che sia stata eseguita un'analisi stazionaria o transitoria. Il file soluzione può essere introdotto nel processore grafico SMS per una rappresentazione grafica dei risultati.

5.4 Equazioni utilizzate

Le equazioni che governano il moto delle acque poco profonde, risolte dall'RMA-2, sono le seguenti:

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \left(\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial a_0}{\partial x} \right) - \frac{\varepsilon_{xx}}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{\varepsilon_{xy}}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{gu}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \left(\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\partial a_0}{\partial y} \right) - \frac{\varepsilon_{yx}}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - \frac{\varepsilon_{yy}}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{gv}{C^2 h} \sqrt{u^2 + v^2} = 0$$

dove

x = distanza nella direzione x (longitudinale alla direzione della corrente) [L]

u = velocità orizzontale della corrente nella direzione x [LT^{-1}]

y = distanza nella direzione y (laterale alla direzione della corrente) [L]

v = velocità orizzontale della corrente nella direzione y [LT^{-1}]

t = tempo [T]

g = accelerazione dovuta alla gravità [LT^{-2}]

h = profondità dell'acqua [L]

a_0 = quota del fondo [L]

ρ = densità del fluido [ML^{-3}]

ε_{xx} = coefficiente di scambio turbolento normale nella direzione x [$MT^{-1}L^{-1}$]

ε_{xy} = coefficiente di scambio turbolento tangenziale nella direzione x [$MT^{-1}L^{-1}$]

ε_{yx} = coefficiente di scambio turbolento tangenziale nella direzione y [$MT^{-1}L^{-1}$]

ε_{yy} = coefficiente di scambio turbolento normale nella direzione y [$MT^{-1}L^{-1}$]

C = coefficiente di scabrezza di Chezy (derivato dal coefficiente di Manning n) [$L^{2/3}T^{-1}$]

5.5 RMA-4

L'RMA-4 è la parte del sistema TABS utilizzata per la simulazione della diffusione dell'ossigeno disciolto e per il trasporto di inquinanti. Utilizza la soluzione idrodinamica dell'RMA-2 per definire un campo di velocità per una data griglia. Inoltre legge un insieme di condizioni specificati dall'utente come input. Tali condizioni sono specificati come valori di massa o concentrazione e da tassi di decadimento per ciascun componente. L'RMA-4 quindi simula la diffusione e/o dissipazione del costituente per un dato numero di passi temporali.

L'output dell'RMA-4 è registrato in un file soluzione binario. Il file soluzione può essere introdotto nel SMS per una rappresentazione grafica dei risultati.

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

5.6 Equazioni utilizzate

L'equazione che governa la convezione-diffusione risolta dall'RMA-4 è la seguente:

$$h \left(\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} - D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - \sigma + kc \right) = 0$$

dove

x = distanza nella direzione x (longitudinale alla direzione della corrente) [L]

u = velocità orizzontale della corrente nella direzione x [LT⁻¹]

y = distanza nella direzione y (laterale alla direzione della corrente) [L]

v = velocità orizzontale della corrente nella direzione y [LT⁻¹]

t = tempo [T]

c = concentrazione del costituente [ML⁻³]

D_x = coefficiente di diffusione turbolento nella direzione x [L²T⁻¹]

D_y = coefficiente di diffusione turbolento nella direzione y [L²T⁻¹]

σ = sorgente o uscita locale del costituente [MT⁻¹L⁻²]

k = tasso di decadimento del costituente [T⁻¹]

5.7 Processo di Simulazione

In un tipico problema di simulazione con il software TABS, la sequenza di operazioni per effettuare le simulazioni vengono eseguite secondo una specifica sequenza. Ciascuno di questi passi viene brevemente descritto di seguito.

5.7.1 COSTRUZIONE DELLA GRIGLIA

Anzitutto deve essere costruita una griglia agli elementi finiti che descriva la batimetria (geometria della superficie del fondo) del corpo d'acqua che deve essere simulato. I dati geometrici nella forma di coordinate xyz vengono inseriti nel SMS ed usati come base per la costruzione di una griglia agli elementi finiti.

Nei casi in cui è disponibile una carta delle isobate, i punti possono essere digitalizzati dalle linee isobate e introdotti nel SMS per la costruzione della griglia. Se non si dispone di una batimetria possono essere utilizzati rilievi o misure di indagini dirette.

Il software SMS è provvisto di numerosi strumenti per la generazione di una griglia e per l'editing interattivo. Questi strumenti sono descritti più dettagliatamente nel tutorial e nel

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

manuale di riferimento. La geometria della griglia viene salvata dal SMS in un file di testo di tipo ASCII.

5.7.2 CONDIZIONI AL CONTORNO

Una volta costruita la griglia l'utente assegna le condizioni al contorno alla griglia. Le condizioni al contorno vengono usualmente introdotte come una portata entrante ad una estremità della griglia e come una prevalenza o un livello di superficie idrica all'estremità opposta della griglia. L'utente deve anche introdurre il coefficiente di Manning n ed i coefficienti di scambio turbolento per differenti regioni della griglia. Tutti questi parametri possono essere introdotti interattivamente utilizzando il software SMS. Le condizioni al contorno vengono salvate dal SMS in un file di testo ASCII distinto dal file geometrico, ma comprendente le indicazioni in esso contenute.

5.7.3 GFGEN

Una volta costruita la griglia, viene eseguito il programma GFGEN prima di effettuare le simulazioni con l'RMA-2. Il GFGEN è un pre processore geometrico propedeutico per l'RMA-2. Il GFGEN legge il file di testo ASCII che descrive la geometria e lo valida e quindi lo trasforma in un equivalente file binario.

5.7.4 RMA-2

Il passo successivo nel processo di simulazione è quello di effettuare le simulazioni con il programma RMA-2. L'RMA-2 legge il file di testo ASCII con l'indicazione delle condizioni al contorno e il file geometrico binario preparato precedentemente dal programma GFGEN. A questo punto il programma RMA-2 calcola la soluzione idrodinamica nei differenti punti della griglia considerata e genera un file soluzione binario da introdurre nel processore grafico del SMS.

5.7.5 POST-PROCESSING CON IL SMS

Dopo aver effettuato le simulazioni con il programma RMA-2, i risultati devono essere osservati con il processore grafico SMS. Il software SMS consente di visualizzare i diagrammi vettoriali

 Autorità Portuale di Livorno Piano Regolatore Portuale 2012	Raggruppamento: Modimar s.r.l. Alberto Noli Technital s.p.a. Sciro Bureau Veritas s.p.a. Acquatecno s.r.l.	Titolo: Elaborato: Studio della circolazione idrica e della qualità delle acque all'interno del porto					
		Data: marzo 2012					
		10	010	RR	012	-0	MAR

della velocità e grafici a colori sia della velocità che del livello idrico superficiale. Per le soluzioni transitorie si può generare l'andamento temporale per i nodi selezionati e le sequenze di animazione. Prima di visualizzare la soluzione idrodinamica, l'utente deve verificare che i risultati siano congruenti con la realtà fisica. Se necessario deve essere ridefinita in dettaglio la griglia oppure devono essere modificati i coefficienti di input e successivamente deve essere effettuata una nuova soluzione.

5.7.6 VALIDAZIONE

In molti casi, l'RMA-2 viene utilizzato per simulare l'effetto di una nuova struttura sull'idrodinamica di un corpo d'acqua. In genere in tali casi si segue l'intero processo sopra descritto con una griglia che rappresenta il corpo d'acqua nello stato attuale. Una volta che il modello è stato tarato (confrontandolo con misure o indagini disponibili), il SMS può essere utilizzato per modificare la griglia in modo tale che essa rappresenti le condizioni successive alla realizzazione della struttura presa in esame. L'RMA-2 viene quindi utilizzato ancora una volta per simulare l'effetto della nuova struttura sull'idrodinamica, in modo da verificare le modifiche indotte sul campo idrodinamico.

5.7.7 RMA-4

Viene utilizzato quando si esegue uno studio del trasporto di un inquinante o la diffusione dell'ossigeno disciolto con l'RMA-4. E' necessario preliminarmente determinare la soluzione idrodinamica usando l'RMA-2 come sopra descritto. L'insieme delle velocità di corrente che risulta da questa analisi viene utilizzato insieme con quello delle fonti puntuali d'inquinamento per simulare il trasporto di inquinanti con l'RMA-4.