

Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Orientale

ACCORDO QUADRO PER IL SERVIZIO DI MODELLISTICA NUMERICA PER
LO STUDIO DEL CLIMA METEOMARINO, DELL'IDRODINAMICA, DEL
TRASPORTO DEI SEDIMENTI E DELLA MORFODINAMICA NELLE AREE
COSTIERE DEI PORTI DI LA SPEZIA E MARINA DI CARRARA

S6

Studio modellistico di morfodinamica costiera

ALLEGATO I

CODICE DOCUMENTO

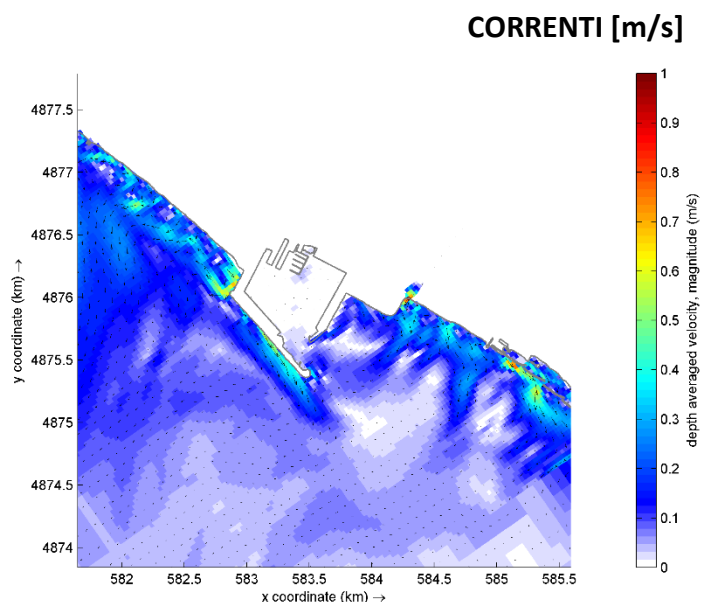
19 003 SR 6A1 0

INDICE

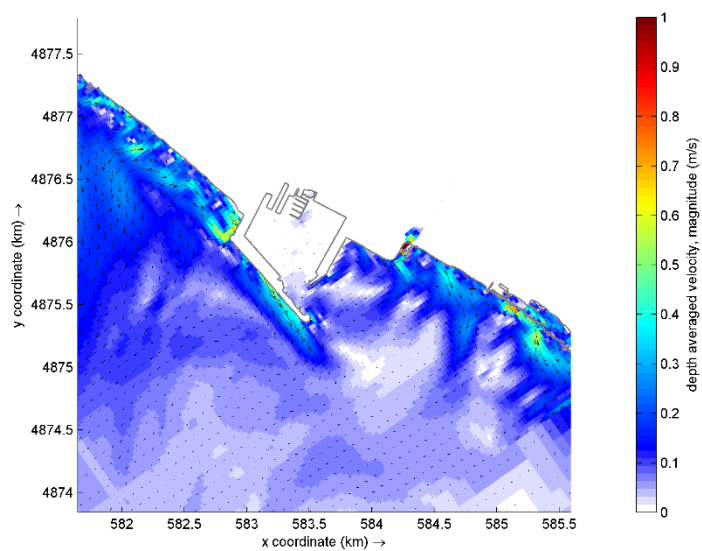
Capitolo 1	Risultati delle simulazioni idrodinamiche e del trasporto solido delle configurazioni preliminari studiate per l'ottimizzazione del layout.....	1
Capitolo 2	Dispersione di traccianti conservativi dai torrenti e fiumi della Versilia (Tracer analysis).....	18
Capitolo 3	Analisi modellistiche per la valutazione dell'effetto delle nuove opere portuali sui flussi sedimentari lungo il litorale – Risultati di dettaglio	1

Capitolo 1 Risultati delle simulazioni idrodinamiche e del trasporto solido delle configurazioni preliminari studiate per l'ottimizzazione del layout

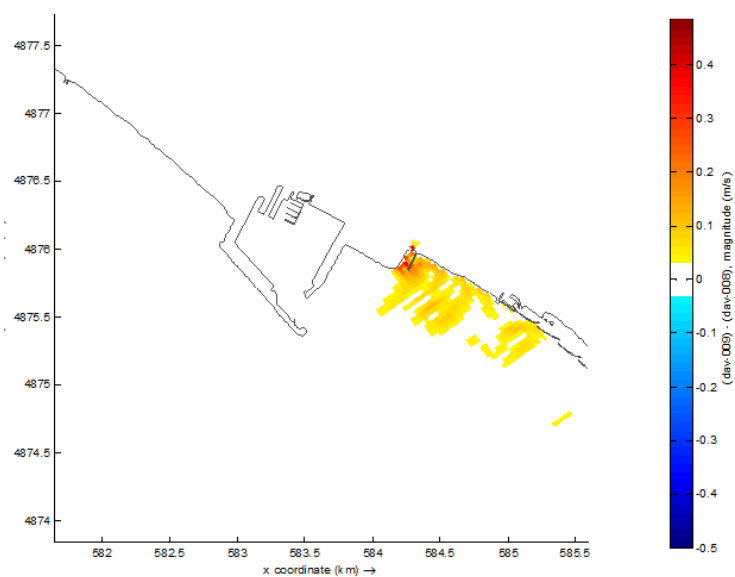
Configurazione	Scenario	Onda	Vento
Attuale	Evento di piena annuale del Carrione e onda da Libeccio	Hs = 3.5 m Dir = 225°N Tp = 10.4 s	Vv = 11 m/s Dv = 235°N
Attuale con pennello alla sx foce Carrione			



ATTUALE SENZA PENNELLO



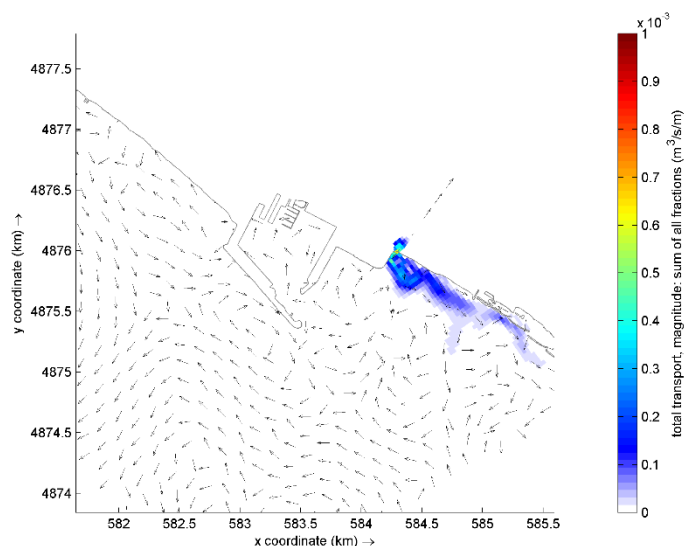
ATTUALE CON PENNELLO



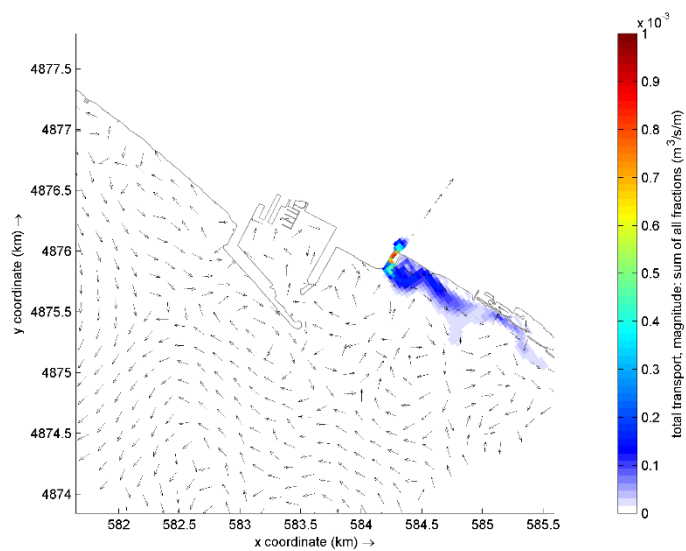
DIFFERENZE

Figura 1.1 Campo di moto [m/s] – condizioni di Libeccio – ($H_s = 3.5$ m, $dir = 225^\circ N$, $T_p = 10.4$ s) – piena annuale T. Carrione.

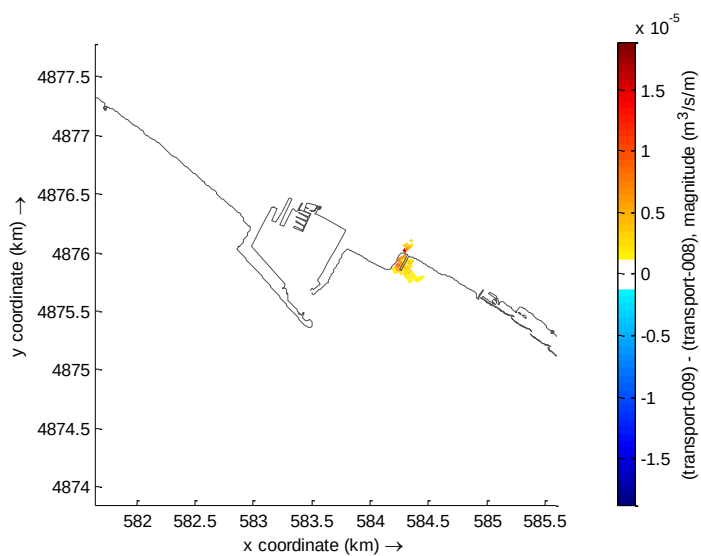
TRASPORTO POTENZIALE [m³/s/m]



ATTUALE SENZA PENNELLO



ATTUALE CON PENNELLO



DIFFERENZE

Figura 1.2 Trasporto potenziale [m³/s/m] – condizioni di Libeccio – (Hs = 3.5 m, dir = 225°N, Tp = 10.4 s) – piena annuale T. Carrione.

Caso	Configurazione	Scenario	Onda	Vento
1	Attuale	Evento di piena annuale del Carrione e onda da Libeccio	Hs = 3.5 m Dir = 225°N Tp = 10.4 s	Vv = 11 m/s Dv = 235°N
3	Proposta PRP A1			
4	Proposta PRP A3			

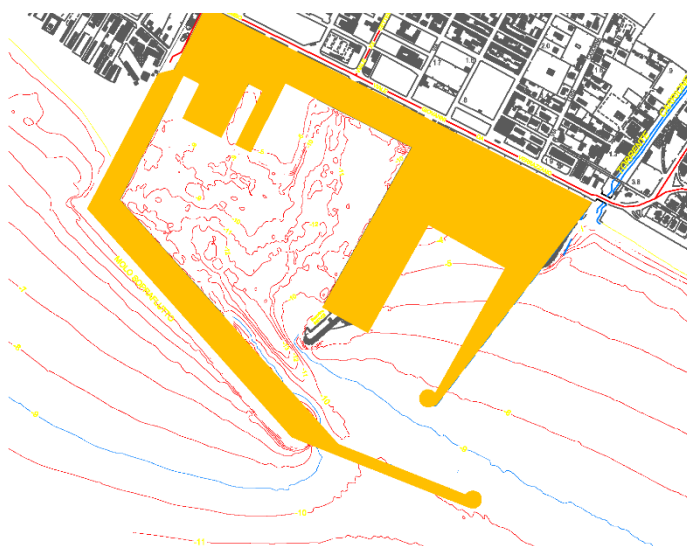
Parametri analizzati:

- moto ondoso
- livelli
- velocità
- dispersione e trasporto dei sedimenti
- sedimentazione

CONFIGURAZIONI ANALIZZATE



configurazione attuale

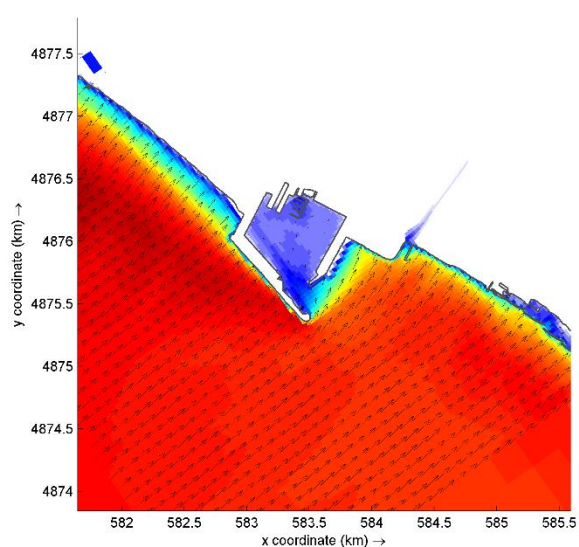


proposta PRP A1

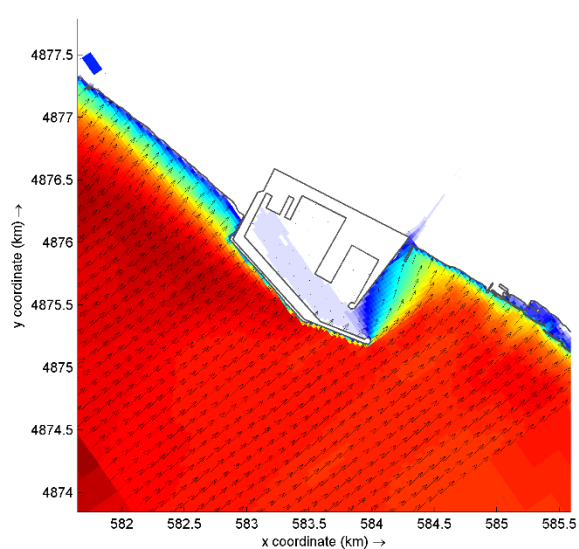


proposta PRP A3

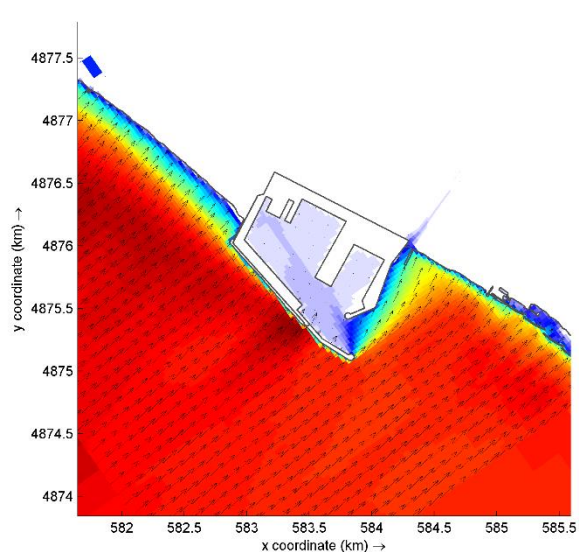
ALTEZZA D'ONDA [m]



ATTUALE



proposta PRP A1



proposta PRP A3

Figura 1.3 Altezza d'onda [m] –
condizioni di Libeccio – ($H_s = 3.5$ m, $dir = 225^\circ N$, $T_p = 10.4$ s) – piena annuale T. Carrione.

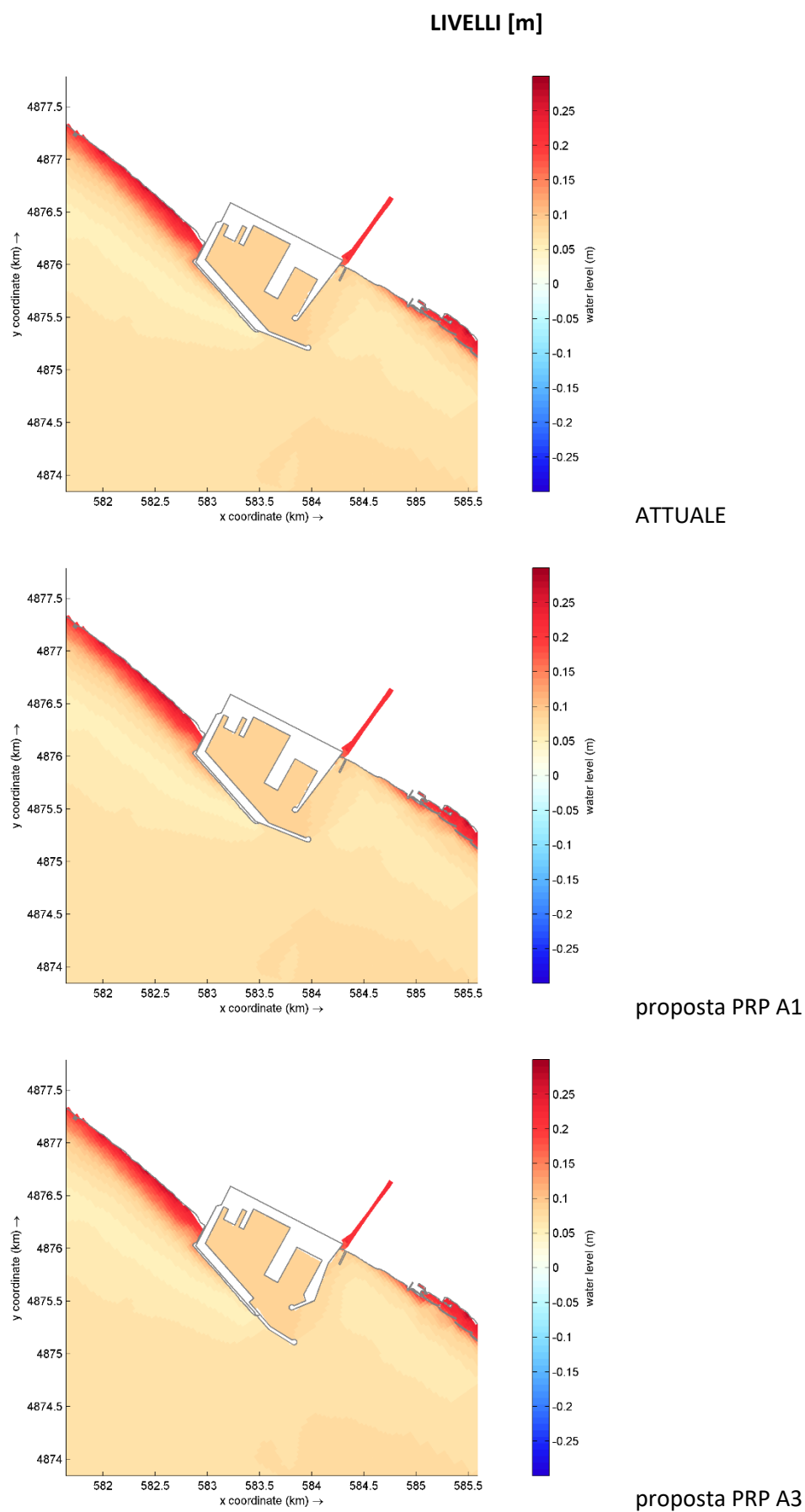
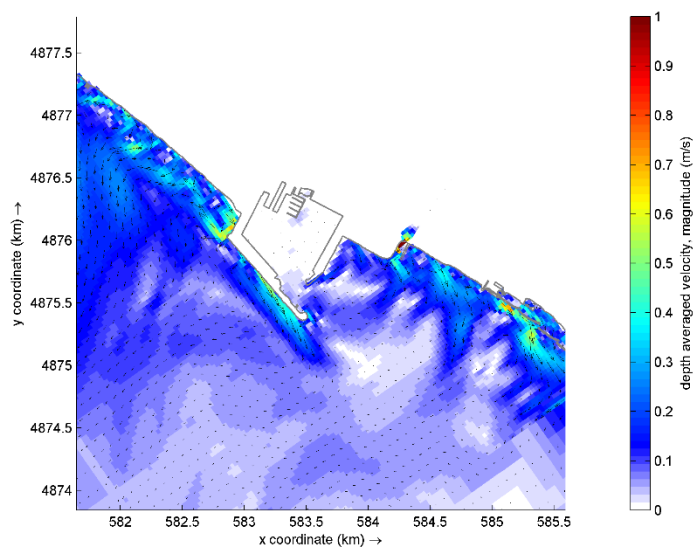
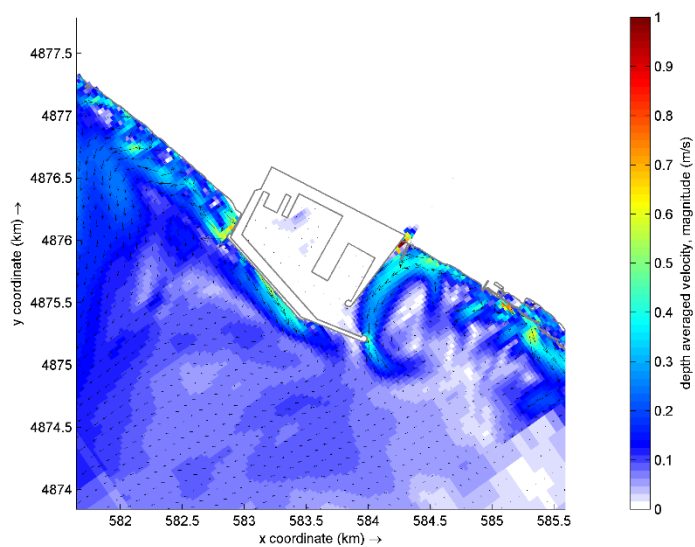


Figura 1.4 Livelli [m] –
condizioni di Libeccio – ($H_s = 3.5$ m, $dir = 225^\circ N$, $T_p = 10.4$ s) – piena annuale T. Carrione.

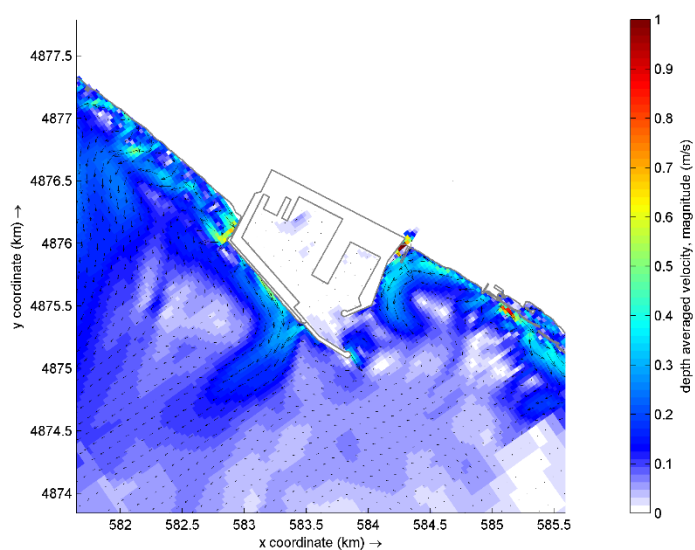
CORRENTI [m/s]



ATTUALE



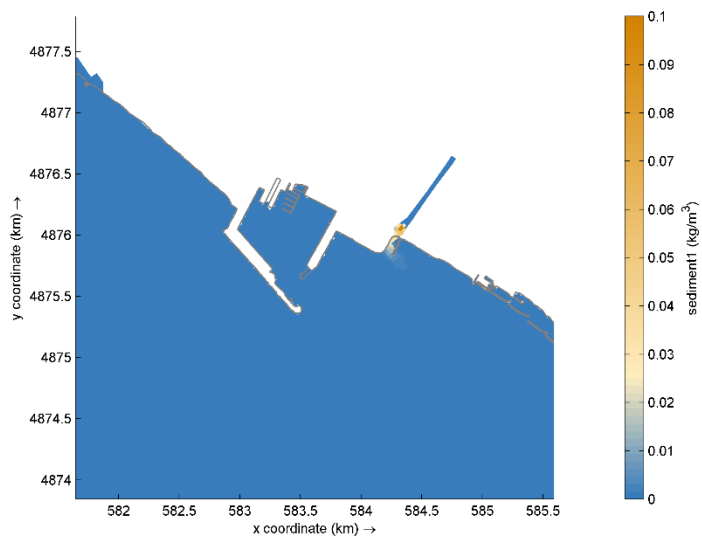
Proposta PRP A1



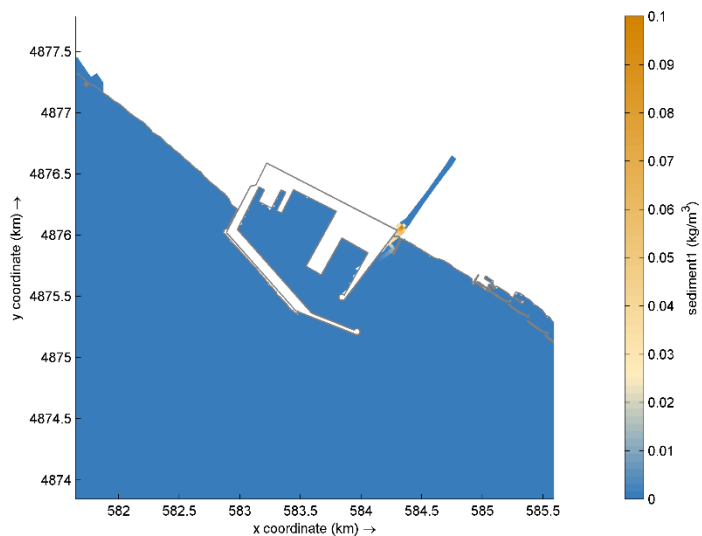
Proposta PRP A3

**Figura 1.5 Campo di moto [m/s] –
condizioni di Libeccio – ($H_s = 3.5$ m, $dir = 225^\circ N$, $T_p = 10.4$ s) – piena annuale T. Carrione.**

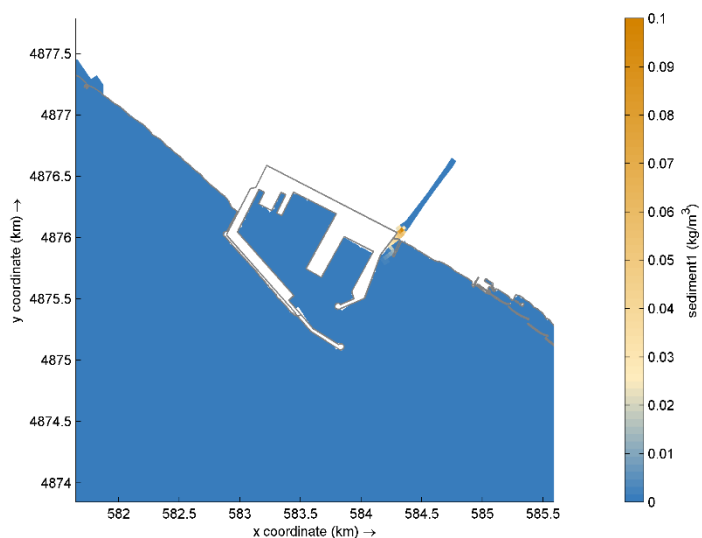
SOLIDI IN SOSPENSIONE [d=100µm] [kg/m³]



ATTUALE



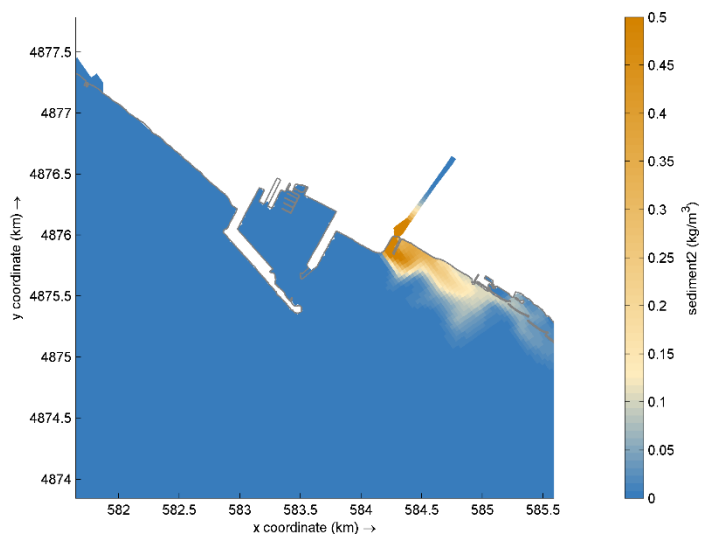
Proposta PRP A1



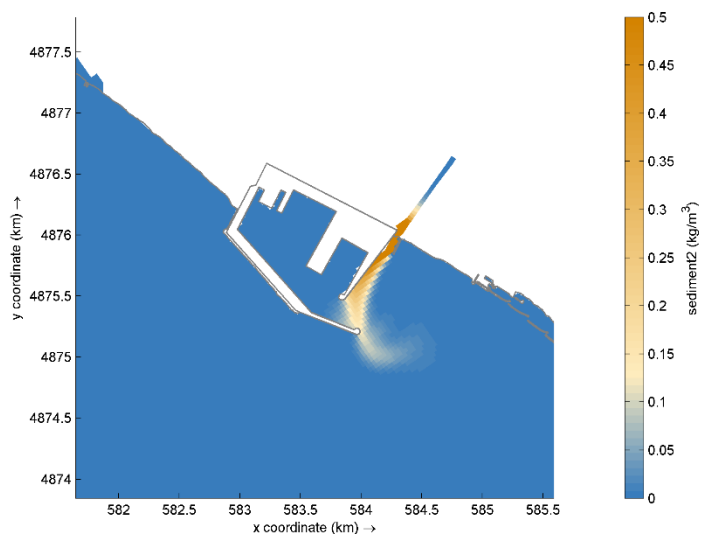
Proposta PRP A3

Figura 1.6 Solidi in sospensione [d=100µm] [kg/m³] – condizioni di Libeccio – (Hs = 3.5 m, dir = 225°N, Tp = 10.4 s) – piena annuale T. Carrione.

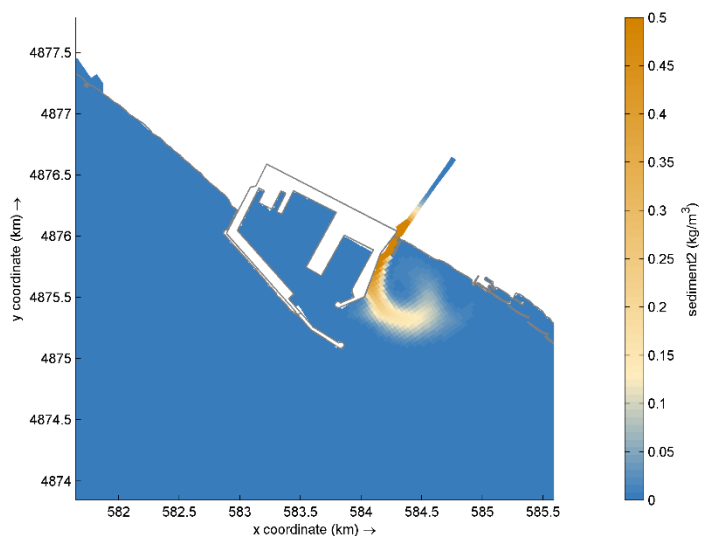
SOLIDI IN SOSPENSIONE [d=200µm] [kg/m³]



ATTUALE



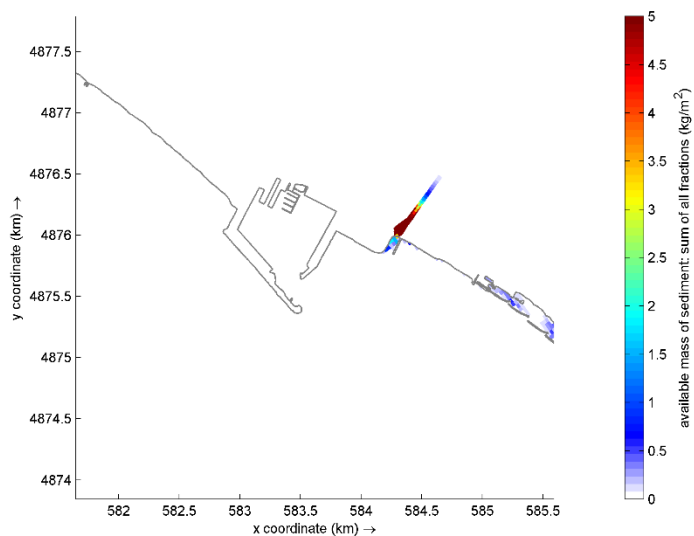
Proposta PRP A1



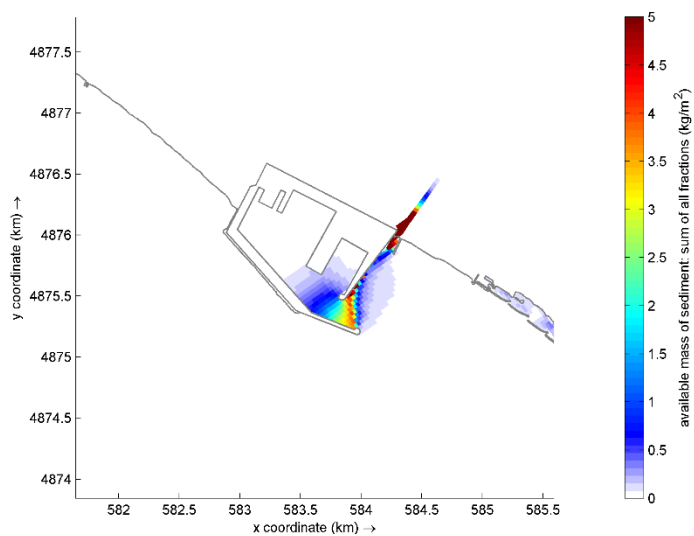
Proposta PRP A3

Figura 1.7 Solidi in sospensione [d=200µm] [kg/m³] – condizioni di Libeccio – (Hs = 3.5 m, dir = 225°N, Tp = 10.4 s) – piena annuale T. Carrione.

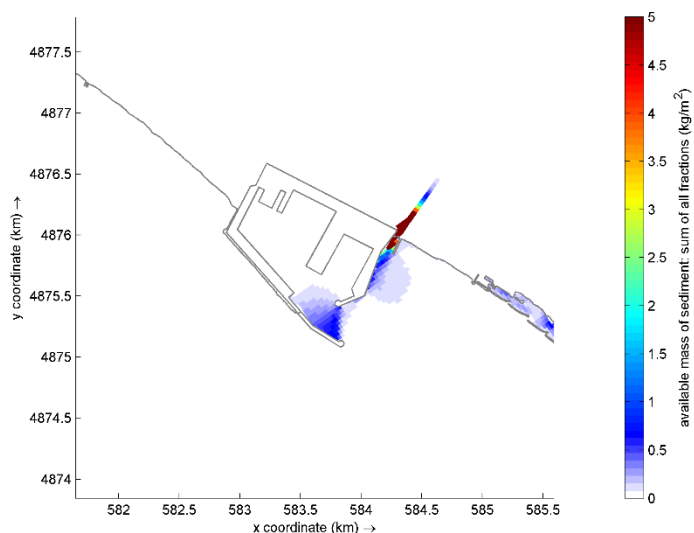
SEDIMENTAZIONE TOTALE [kg/m²]



ATTUALE



Proposta PRP A1



Proposta PRP A3

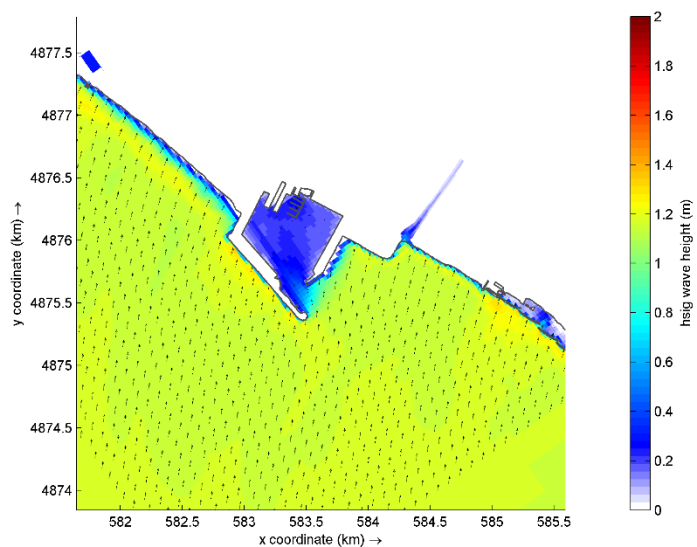
Figura 1.8 Sedimentazione totale [kg/m²] – condizioni di Libeccio – (Hs = 3.5 m, dir = 225°N, Tp = 10.4 s) – piena annuale T. Carrione.

Caso	Configurazione	Scenario	Onda	Vento
5	Attuale	Evento di piena annuale del Carrione e onda da Scirocco	Hs = 2.0 m Dir = 165°N Tp = 8.0 s	Vv = 9 m/s Dv = 130°N
7	Proposta PRP A1			
4	Proposta PRP A3			

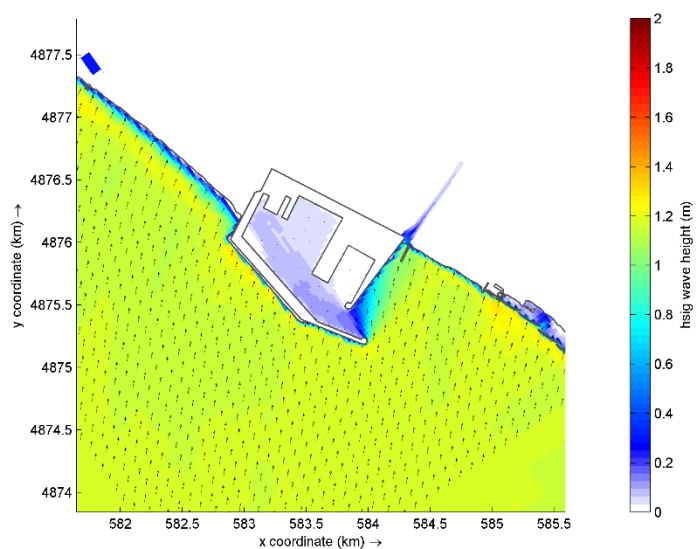
Parametri analizzati:

- moto ondoso
- livelli
- velocità
- dispersione e trasporto dei sedimenti
- sedimentazione

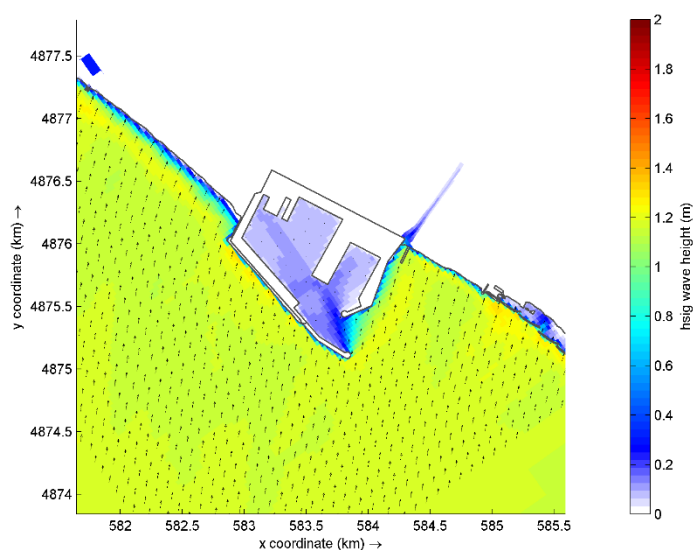
ALTEZZA D'ONDA [m]



ATTUALE

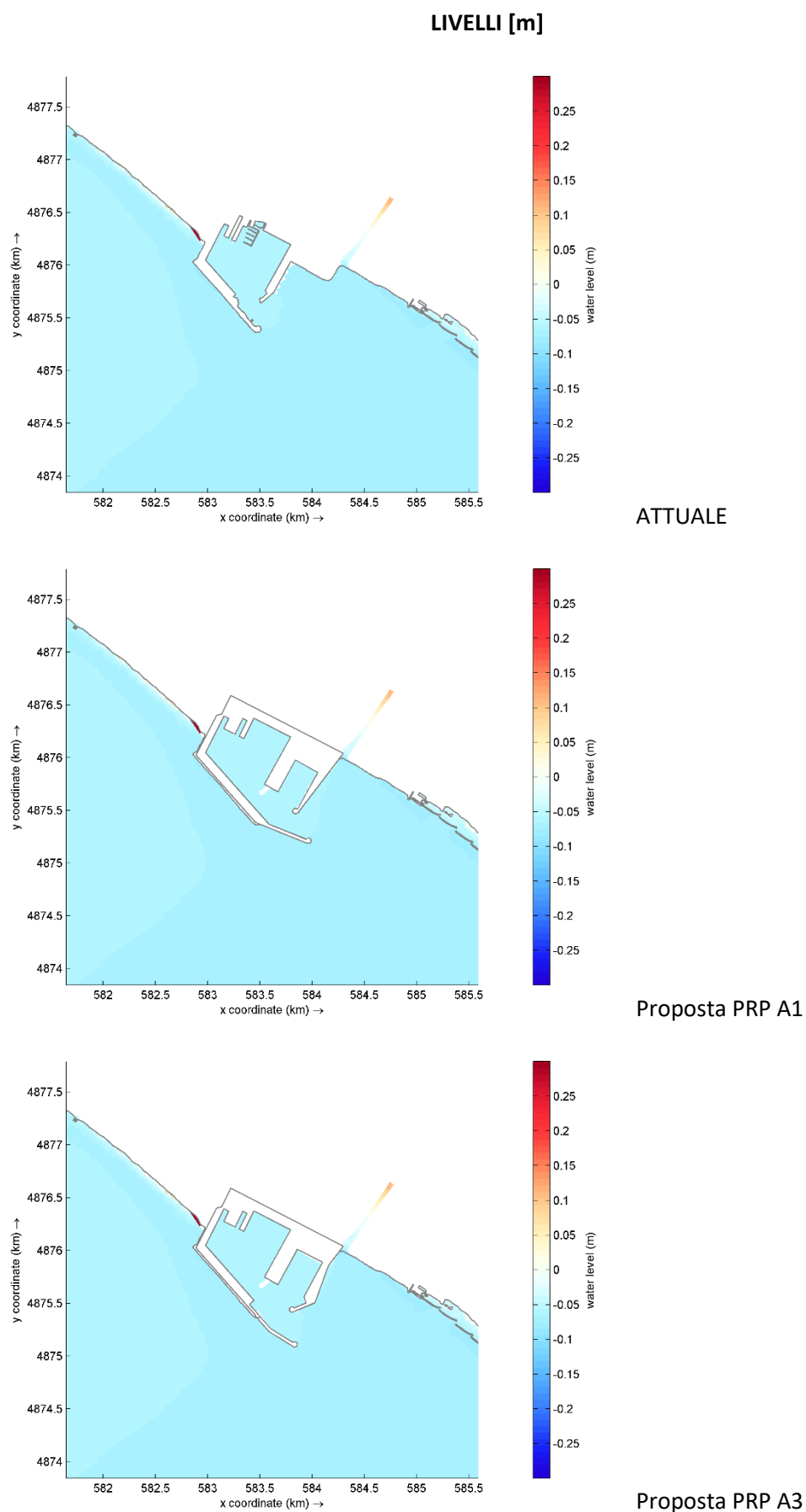


Proposta PRP A1



Proposta PRP A3

Figura 1.9 Altezza d'onda [m] – condizioni di Scirocco – ($H_s = 2.0$ m, $dir = 165^\circ N$, $T_p = 8.0$ s) – piena annuale T. Carrione.



**Figura 1.10 Livelli [m] –
condizioni di Scirocco – ($H_s = 2.0$ m, $dir = 165^\circ N$, $T_p = 8.0$ s) – piena annuale T. Carrione.**

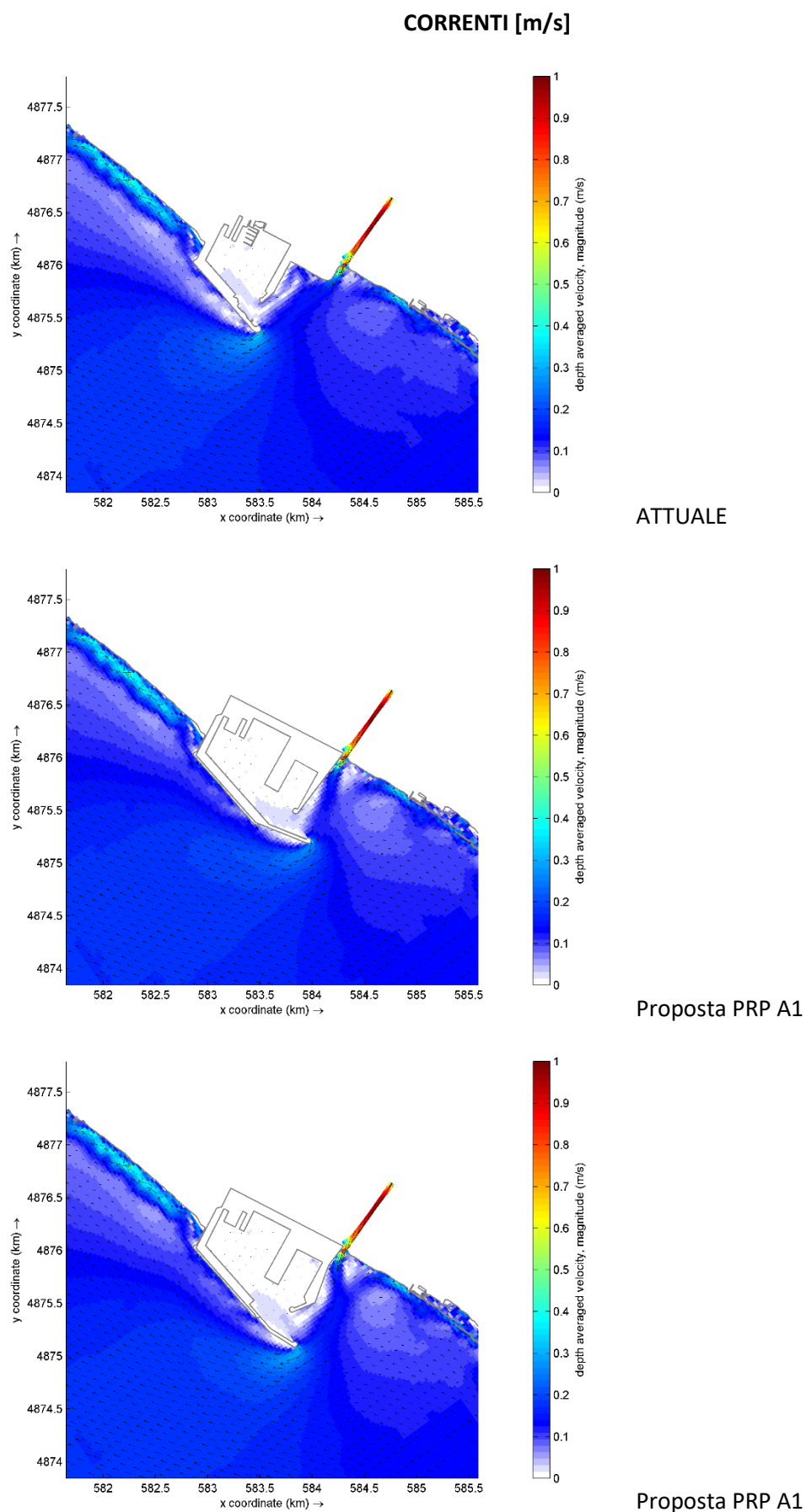
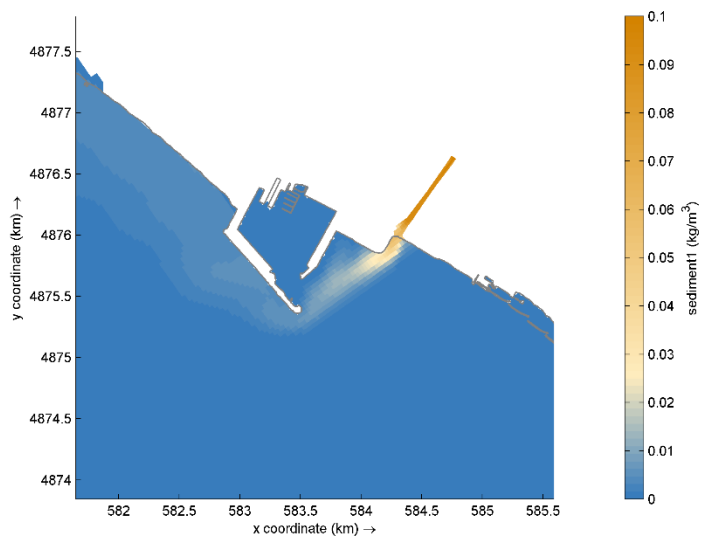
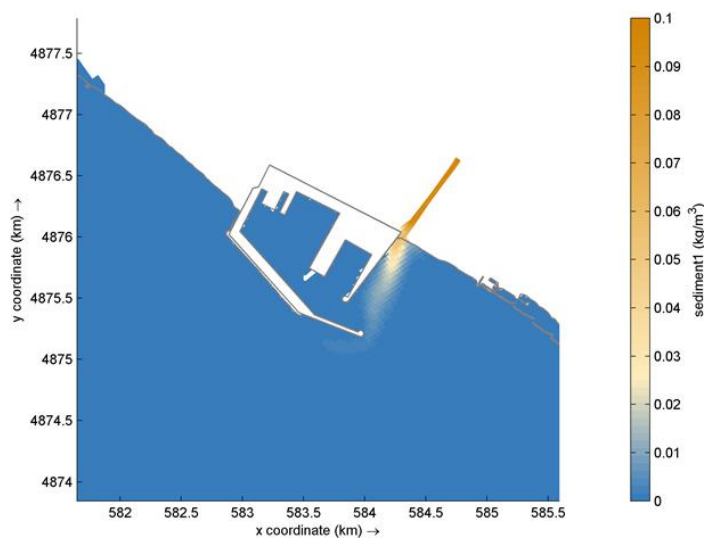


Figura 1.11 Campo di moto [m/s] – condizioni di Scirocco – ($H_s = 2.0$ m, $dir = 165^\circ N$, $T_p = 8.0$ s) – piena annuale T. Carrione.

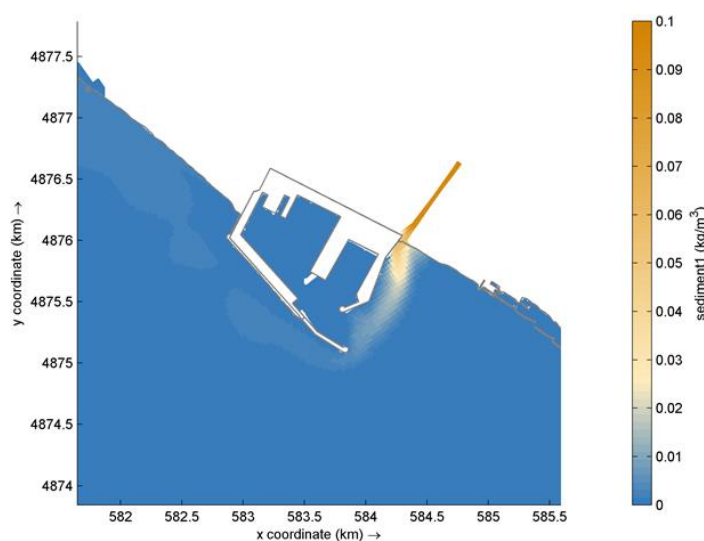
SOLIDI IN SOSPENSIONE [d=100µm] [kg/m³]



ATTUALE



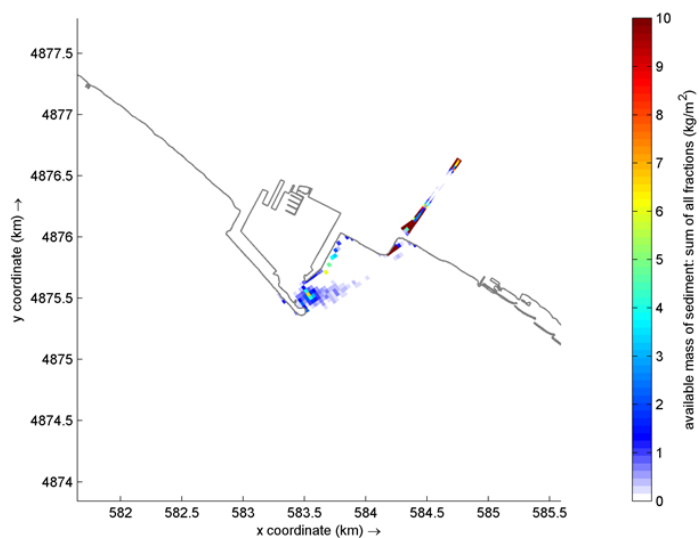
Proposta PRP A1



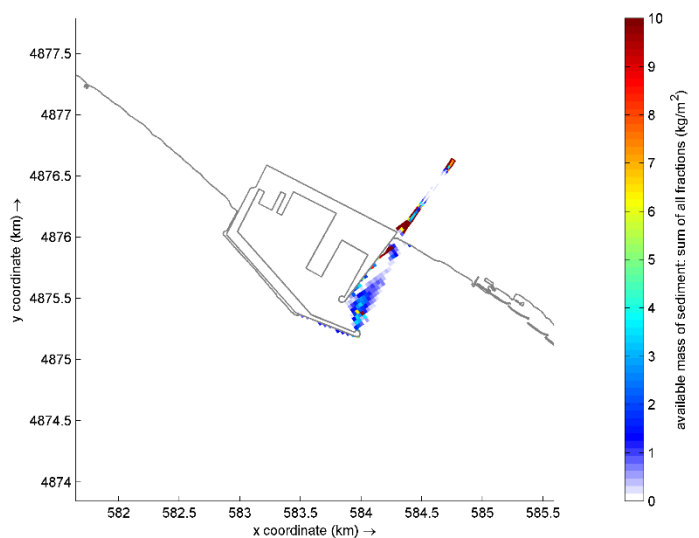
Proposta PRP A3

Figura 1.12 Solidi in sospensione [d=100µm] [kg/m³] – condizioni di Scirocco – (Hs = 2.0 m, dir = 165°N, Tp = 8.0 s) – piena annuale T. Carrione.

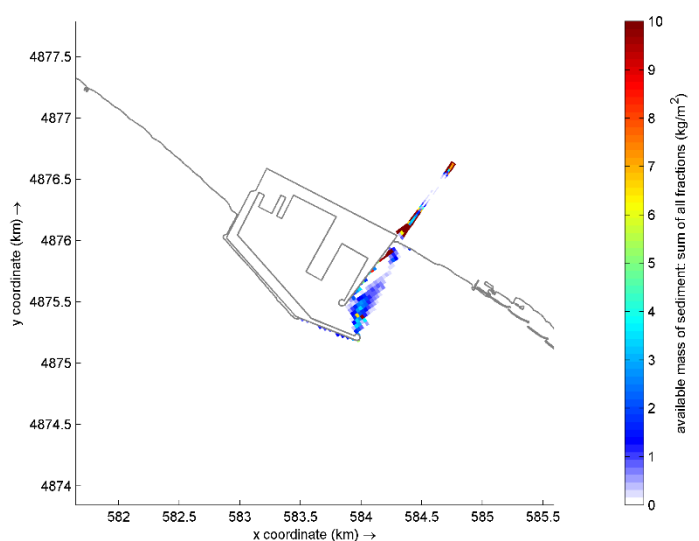
SEDIMENTAZIONE TOTALE [kg/m²]



ATTUALE



Proposta PRP A1



Proposta PRP A3

Figura 1.13 Sedimentazione totale [kg/m²] – condizioni di Scirocco – (Hs = 2.0 m, dir = 165°N, Tp = 8.0 s) – piena annuale T. Carrione.

Capitolo 2 Dispersione di traccianti conservativi dai torrenti e fiumi della Versilia (Tracer analysis)

Si riportano nel presente capitolo i risultati della analisi della dispersione di traccianti rilasciati nei principali corpi idrici sfocianti nella Versilia (vedi Figura 2.1).

Configurazione	Scenario	Onda	Vento
Attuale	Evento di piena annuale nei diversi corpi idrici	Hs = 3.5 m Dir = 225°N Tp = 10.4 s	Vv = 11 m/s Dv = 235°N

Tabella 2-1 Condizioni al contorno applicate per l'analisi con i traccianti passivi.

Le simulazioni hanno considerato un evento tipico di piena caratterizzato da una durata di 24 h con andamento trapezoidale ed una fase di esaurimento di ulteriori 2 giorni in cui sono state applicate al contorno le portate medie annuali. In Tabella 2-1 sono riportate le portate al colmo, medie annuali applicate; le concentrazioni del tracciante conservativo applicate sono state pari all'unità (1 kg/m³).

Corpo idrico	Portata di picco	Portata di media annuale
Fiume Magra	140 m ³ /s	35 kg/m ³
Torrente Carrione	80 m ³ /s	1 kg/m ³
T. Parmignola	10 m ³ /s	1 kg/m ³
T. Lavello	10 m ³ /s	0.1 kg/m ³
T. Ricortola	10 m ³ /s	0.1 kg/m ³
Fiume Frigido	10 m ³ /s	2 kg/m ³
T. Versilia	10 m ³ /s	1.5 kg/m ³
T. Camaione	10 m ³ /s	1 kg/m ³
Fiume Serchio	220 m ³ /s	55 kg/m ³
Fiume Arno	440 m ³ /s	110 kg/m ³

Tabella 2-2 Portate e concentrazione tracciante considerate nelle simulazioni.

Nella Figura 2.2 sono riportate le mappe con la distribuzione di concentrazione di tracciante per i diversi corpi idrici.

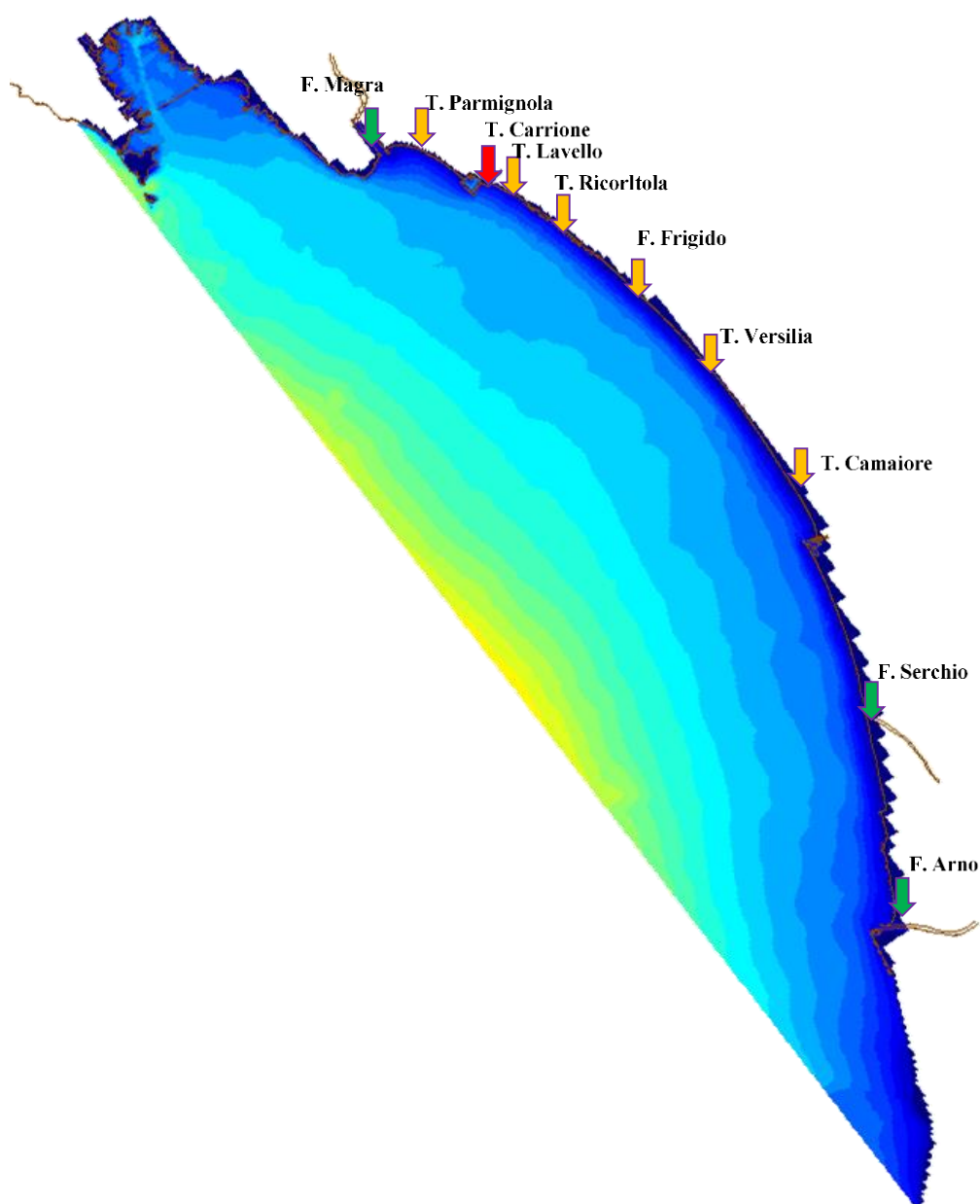


Figura 2.1 Corpi idrici considerati nella analisi della dispersione di traccianti passivi.

CONCENTRAZIONI DEI TRACCIANTI PASSIVI [kg/m³]

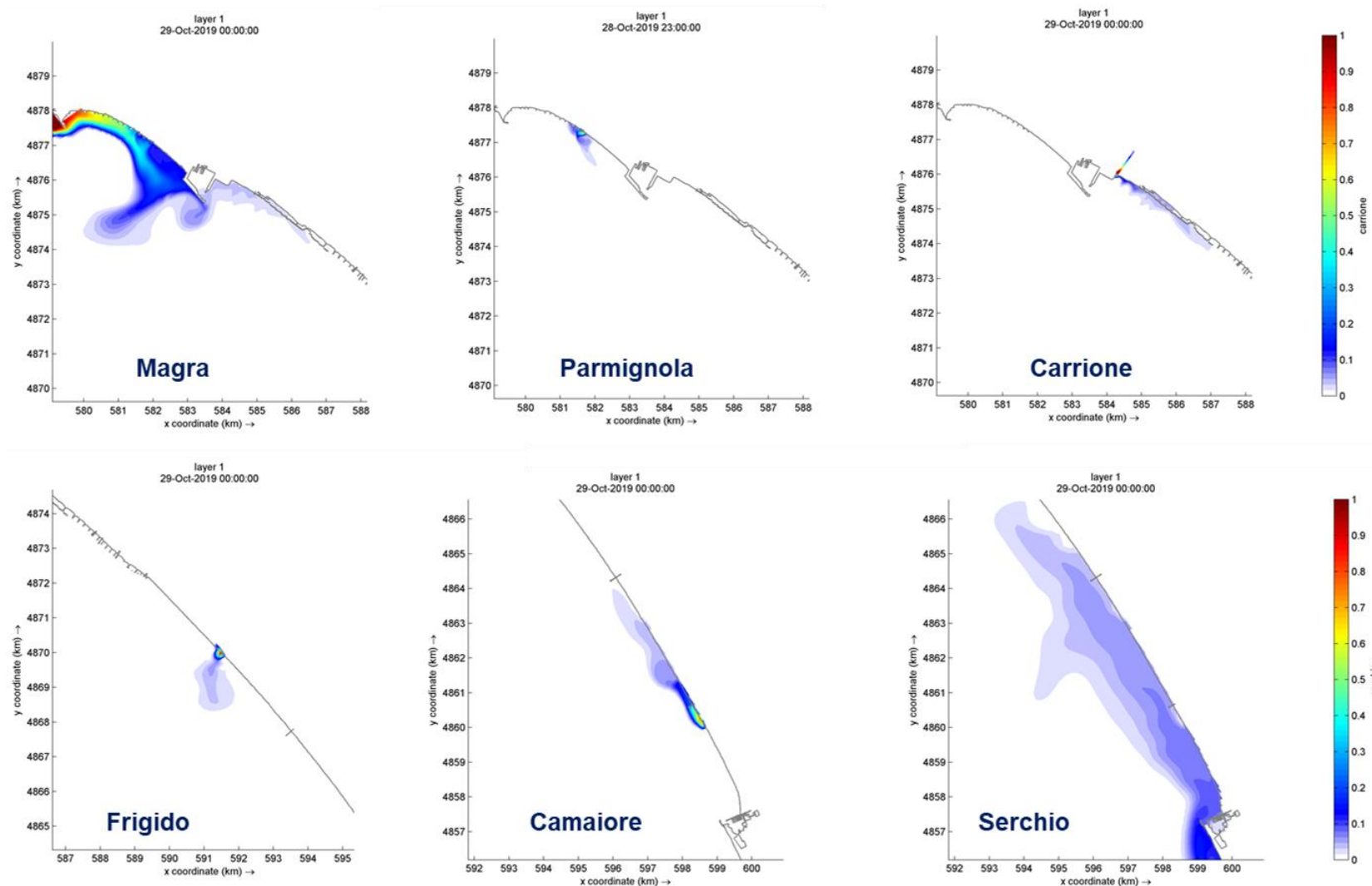


Figura 2.2 Concentrazioni di traccianti passivi [kg/m³]-
condizioni Libeccio – (Hs = 3.5 m, dir = 225°N, Tp = 10.4 s) – portata media annuale.

Capitolo 3 Analisi modellistiche per la valutazione dell'effetto delle nove opere portuali sui flussi sedimentari lungo il litorale – Risultati di dettaglio

Si riportano nel presente allegato i risultati idro-morfologici ottenuti negli scenari descritti in relazione e, per comodità di lettura, sotto riportati.

Scenario	Configurazione	Onda	Vento
1	- Attuale - Proposta PRP	Hs = 1.16 m Dir = 225°N Tp = 8.4 s	Vv = 7 m/s Dv = 224°N
2	- Attuale - Proposta PRP	Hs = 1.33 m Dir = 240°N Tp = 8.6 s	Vv = 7.2 m/s Dv = 252°N
3	- Attuale - Proposta PRP	Hs = 2.42 m Dir = 225°N Tp = 9.8 s	Vv = 9 m/s Dv = 224°N
4	- Attuale - Proposta PRP	Hs = 3.35 m Dir = 240°N Tp = 10.5 s	Vv = 10.9 m/s Dv = 252°N

Tabella 3-1 Condizioni al contorno applicate per ogni scenario

Si ricorda che in tali scenari si sono considerate le portate liquide (medie annuali) e le concentrazioni per le due frazioni di sedimento riportate nella Tabella 3-2.

Corpo idrico	Portata liquida	Concentrazione Sed1 (D ₅₀ =100 µm)	Concentrazione Sed2 (D ₅₀ =200 µm)
Torrente Carrione	1 m ³ /s	0.1 kg/m ³	0.1 kg/m ³
Fiume Magra	35 m ³ /s	0.1 kg/m ³	0.1 kg/m ³
Fiume Serchio	55 m ³ /s	0.1 kg/m ³	0.1 kg/m ³
Fiume Arno	110 m ³ /s	0.1 kg/m ³	0.1 kg/m ³

Tabella 3-2 Portate e concentrazioni dei sedimenti considerate nelle simulazioni.

Per ogni scenario sono riportati:

- Moto ondoso nella situazione attuale e con intervento, per tutte le condizioni d'onda (da Figura 3-1 a Figura 3-4)
- Campo di moto nella situazione attuale e con intervento, per tutte le condizioni d'onda (da Figura 3-5 a Figura 3-8)
- Trasporto potenziale nella situazione attuale e con intervento, per tutte le condizioni d'onda (da Figura 3-9 a Figura 3-12)
- Concentrazione dei sedimenti in sospensione nella situazione attuale e con intervento, per tutte le condizioni d'onda (da Figura 3-13 a Figura 3-16 per la frazione 100 µm e da Figura 3-21 a Figura 3-24 per la frazione 200 µm)

- Pattern di sedimentazione nella situazione attuale e con intervento, per tutte le condizioni d'onda (da Figura 3-21 a Figura 3-24).

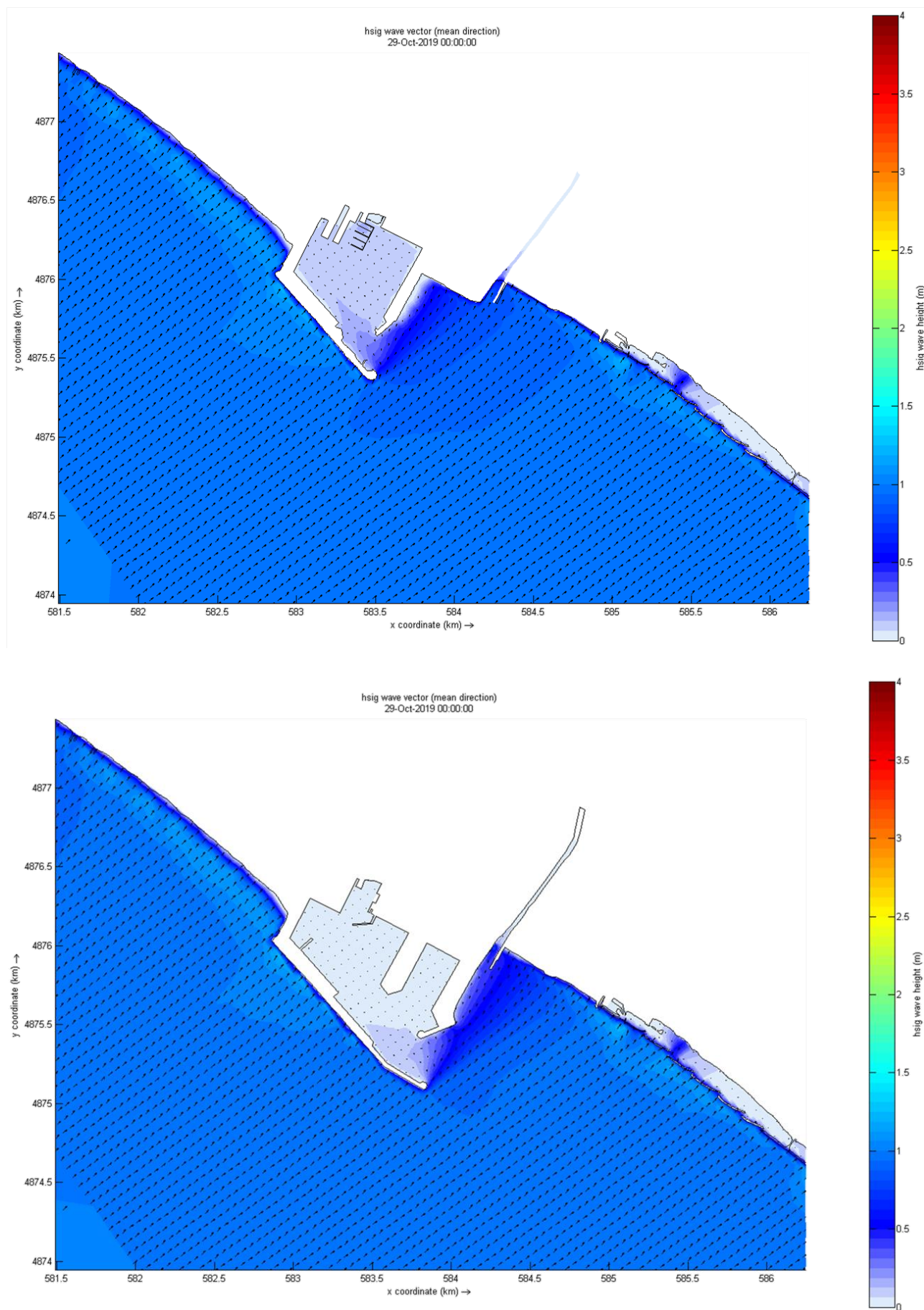


Figura 3-1 Scenario 1: Moto ondoso [m] –
condizioni di Libeccio – ($H_s = 1.16$ m; $dir = 225^\circ N$, $T_p = 8.4$ s).
Sopra: Configurazione attuale; Sotto: Configurazione proposta PRP.

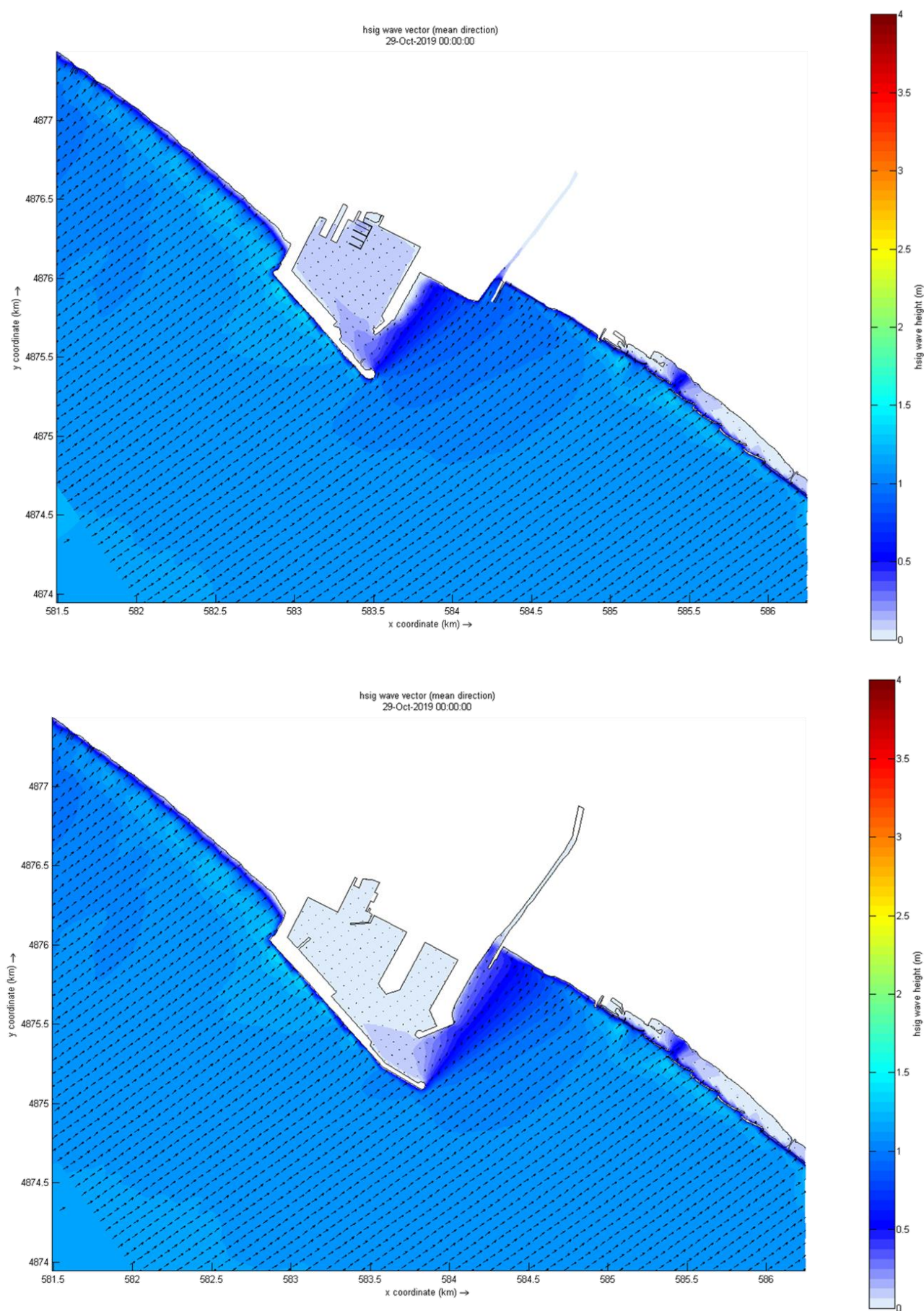


Figura 3-2 Scenario 2: Moto ondoso [m] –
condizioni di Libeccio – ($H_s = 1.33$ m; $dir = 240^\circ N$, $T_p = 8.6$ s).
Sopra: Configurazione attuale; Sotto: Configurazione proposta PRP.

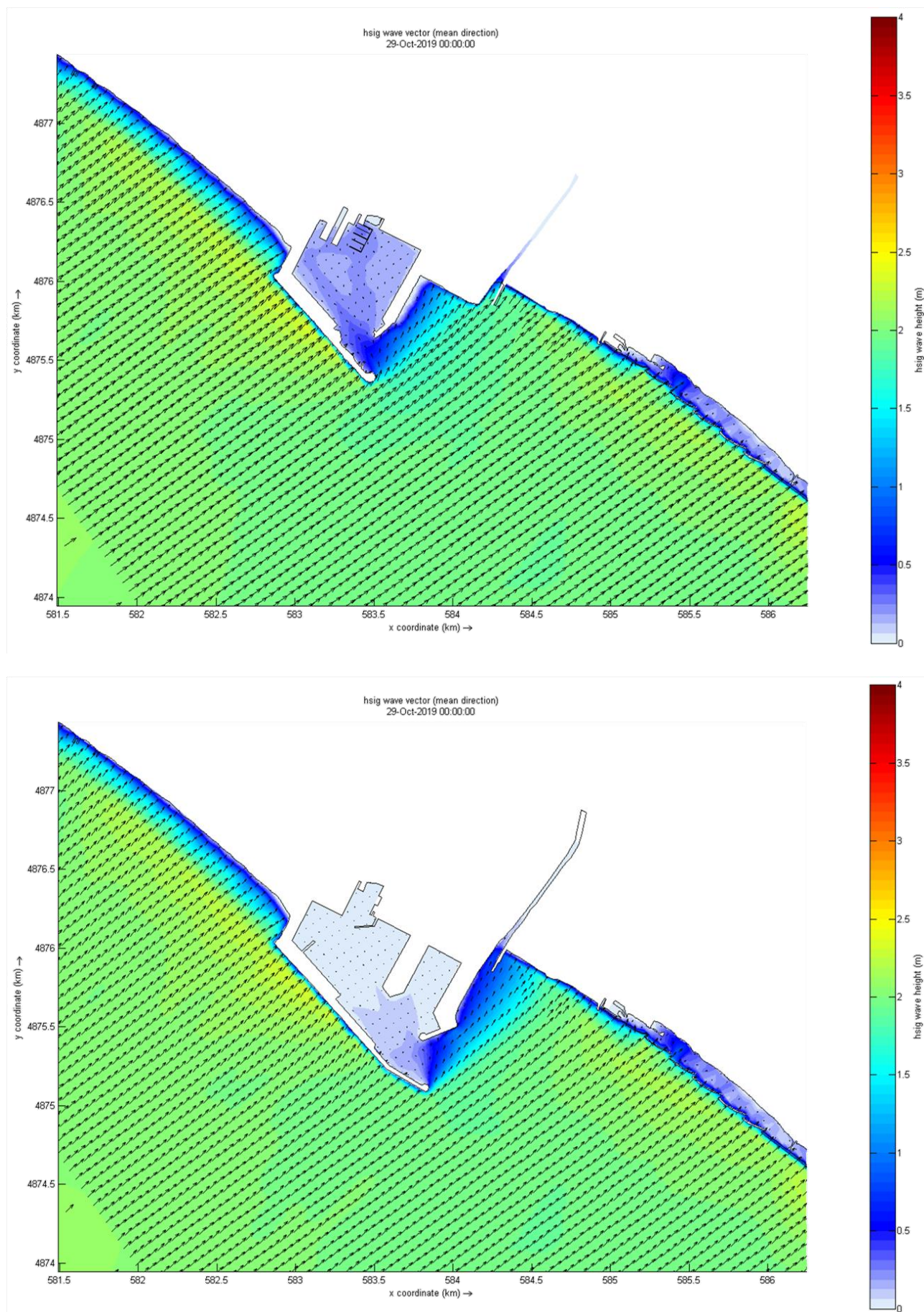


Figura 3-3 Scenario 3: Moto ondoso [m] –
condizioni di Libeccio – ($H_s = 2.42$ m; $dir = 225^\circ N$, $T_p = 9.8$ s).
Sopra: Configurazione attuale; Sotto: Configurazione proposta PRP.

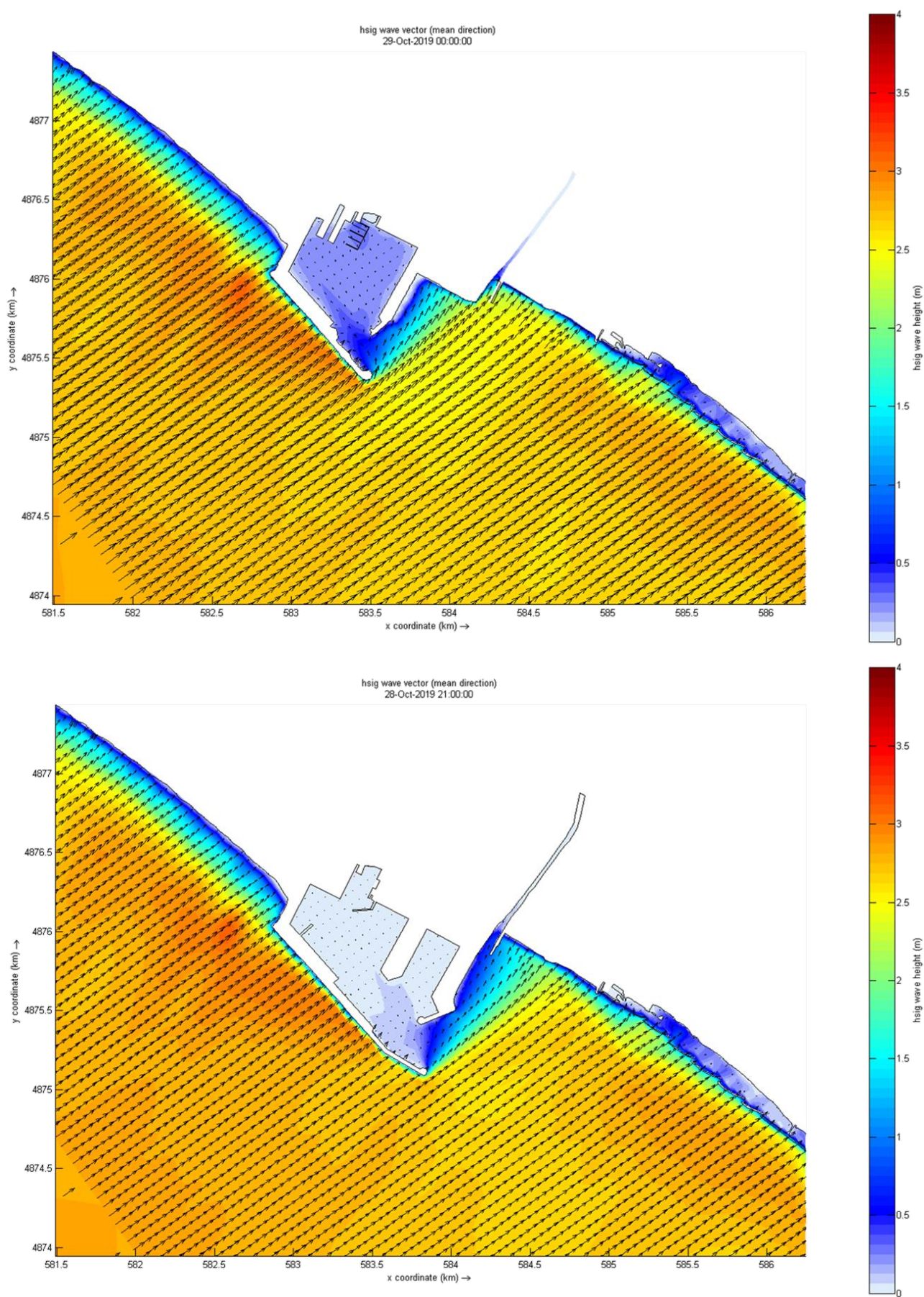
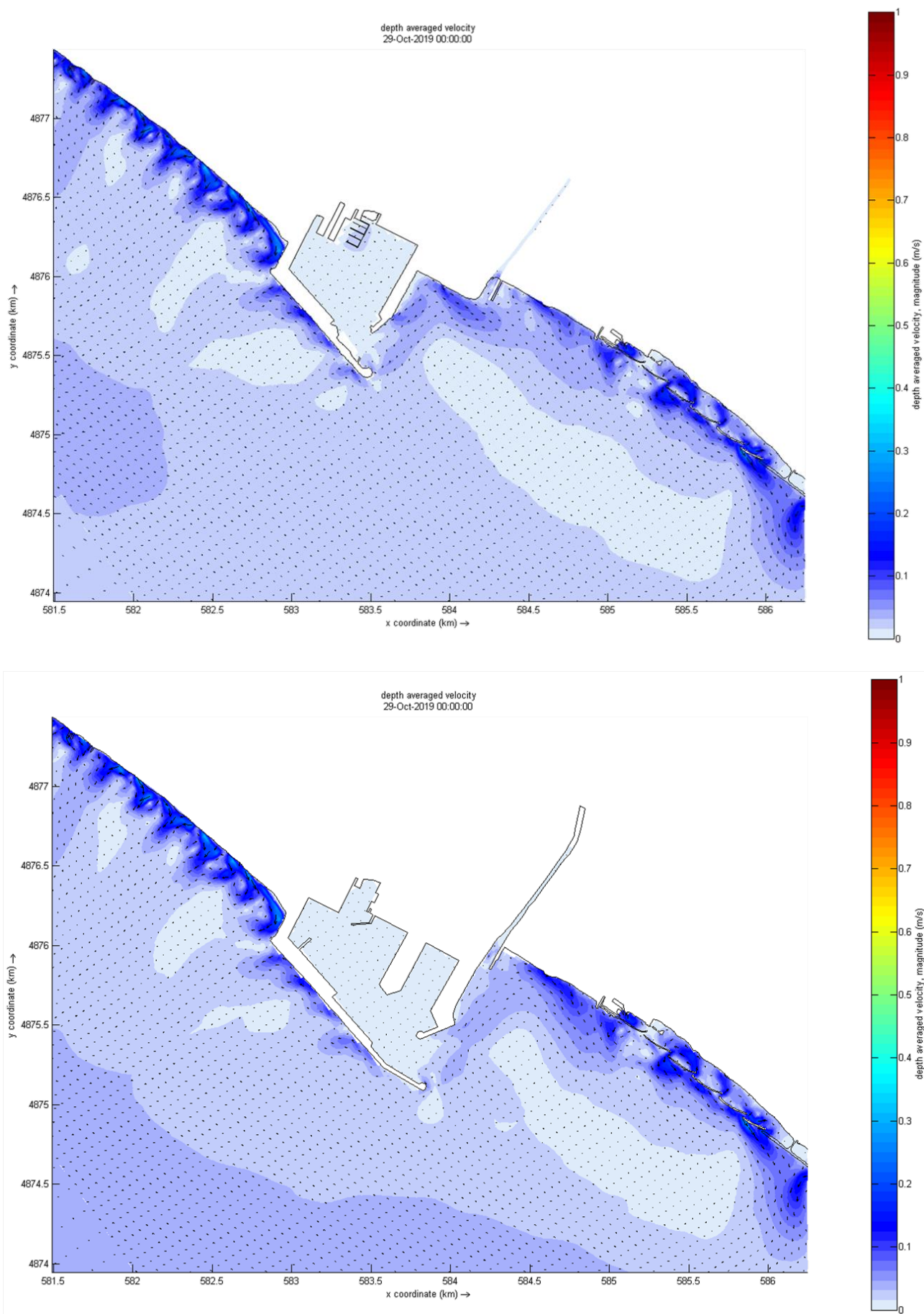


Figura 3-4 Scenario 4: Moto ondoso [m] –
condizioni di Libeccio – ($H_s = 3.35$ m; $dir = 240^\circ N$, $T_p = 10.5$ s).
Sopra: Configurazione attuale; Sotto: Configurazione proposta PRP.



**Figura 3-5 Scenario 1: Campo di moto [m/s] – condizioni di Libeccio – (Hs = 1.16 m; dir = 225°N, TP = 8.4 s).
Sopra: Configurazione attuale; Sotto: Configurazione proposta PRP.**

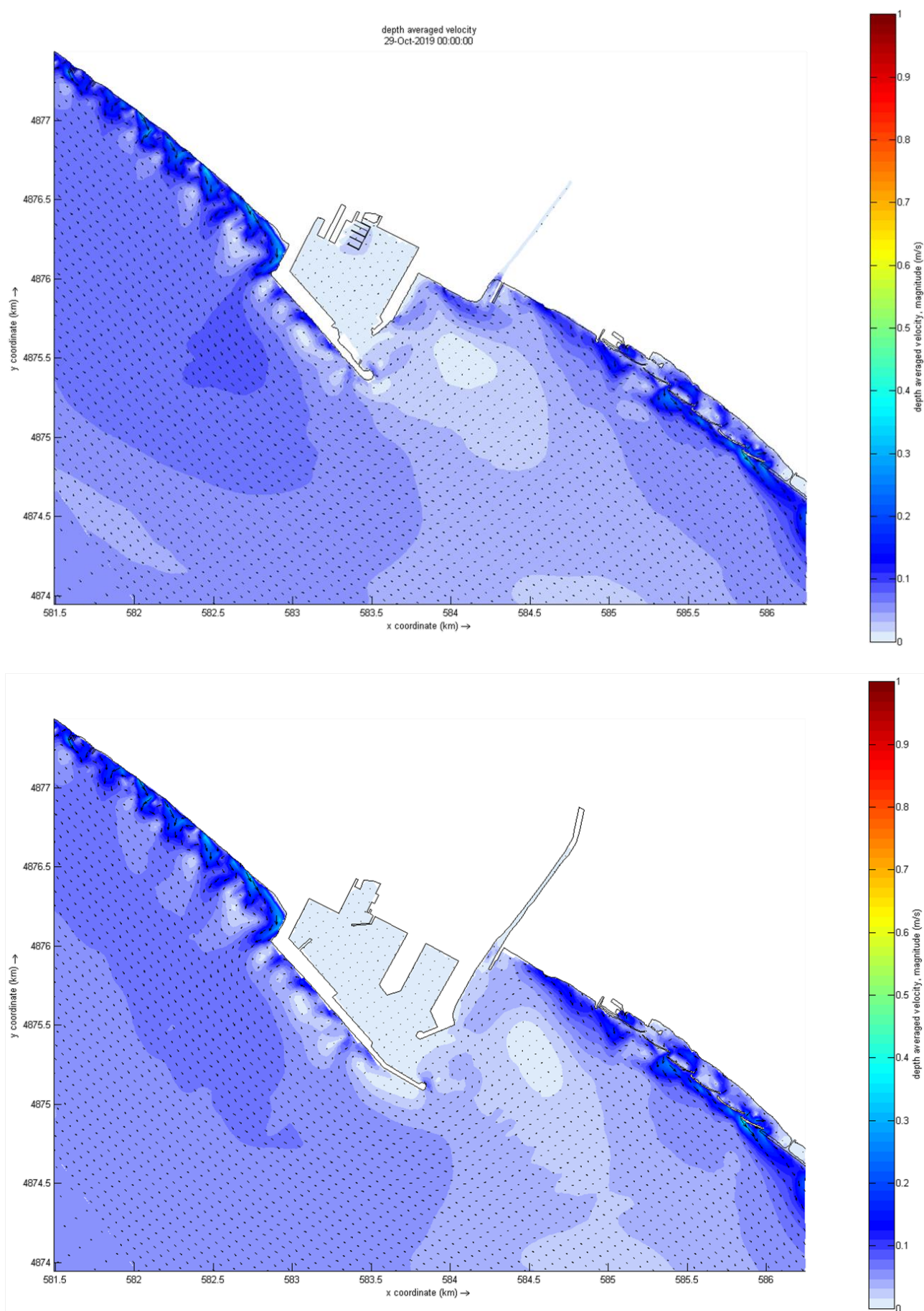


Figura 3-6 Scenario 2: Campo di moto [m/s] –
condizioni di Libeccio – ($H_s = 1.33$ m; $\text{dir} = 240^\circ\text{N}$, $TP = 8.6$ s).
Sopra: Configurazione attuale; Sotto: Configurazione proposta PRP.

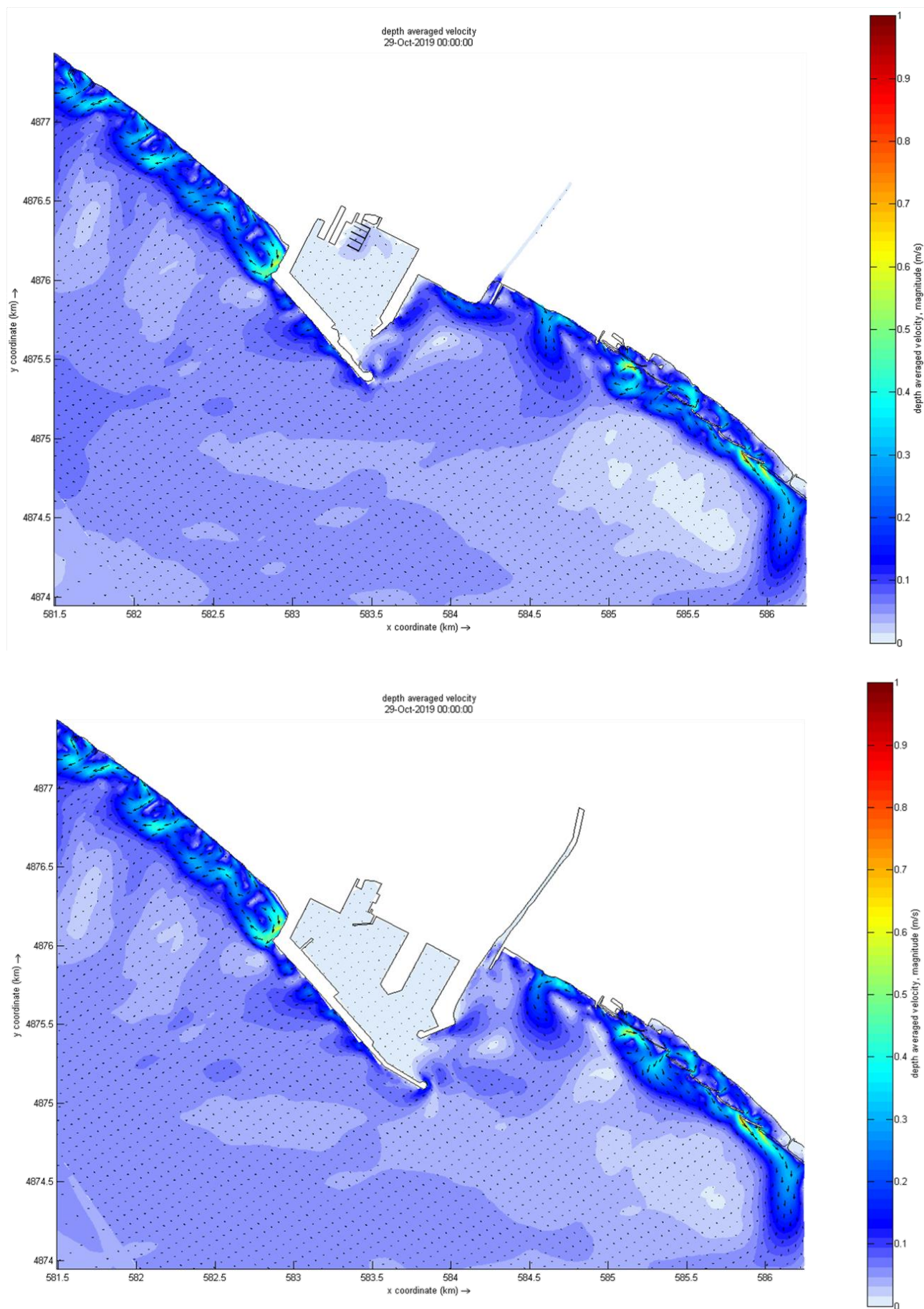
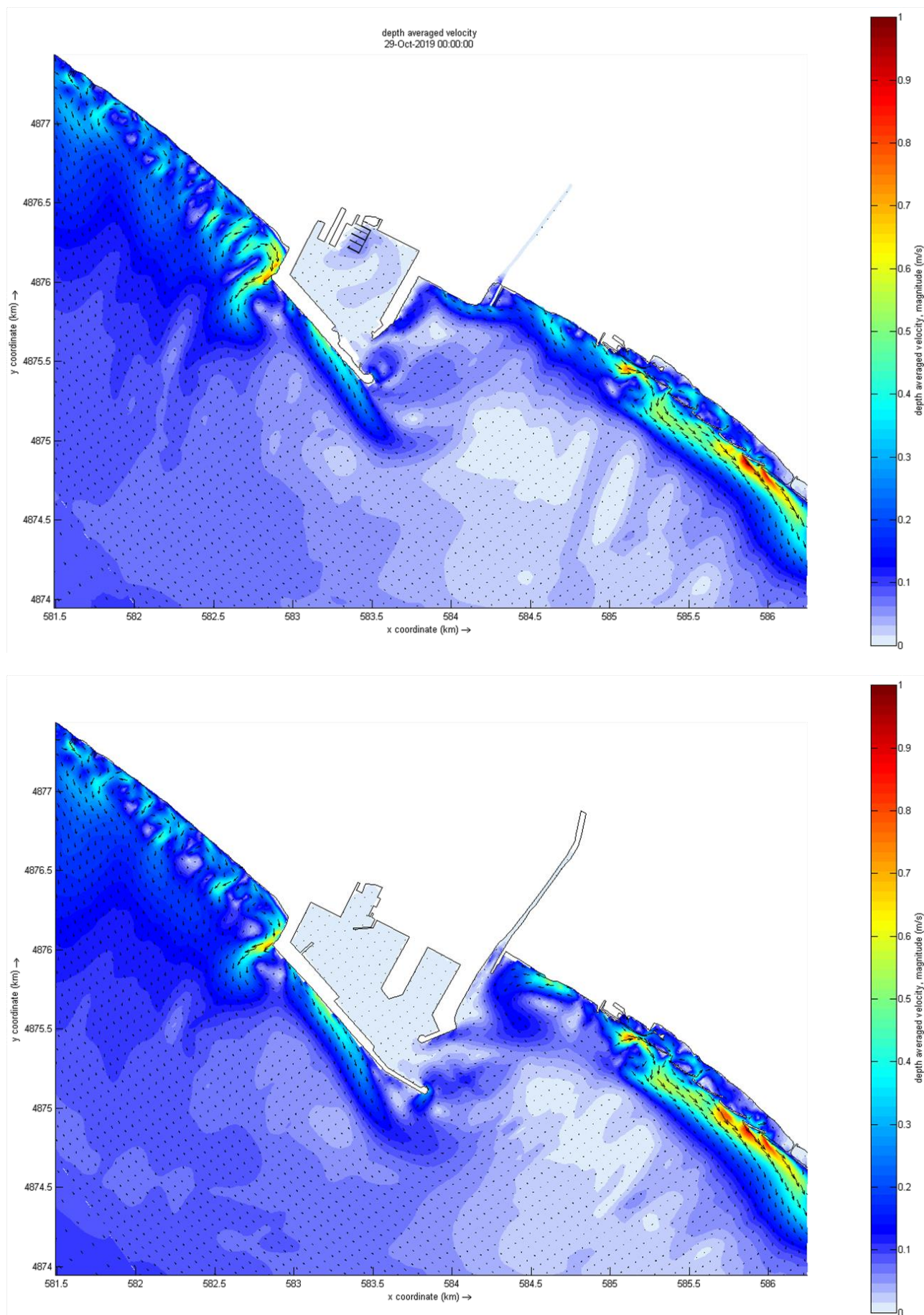
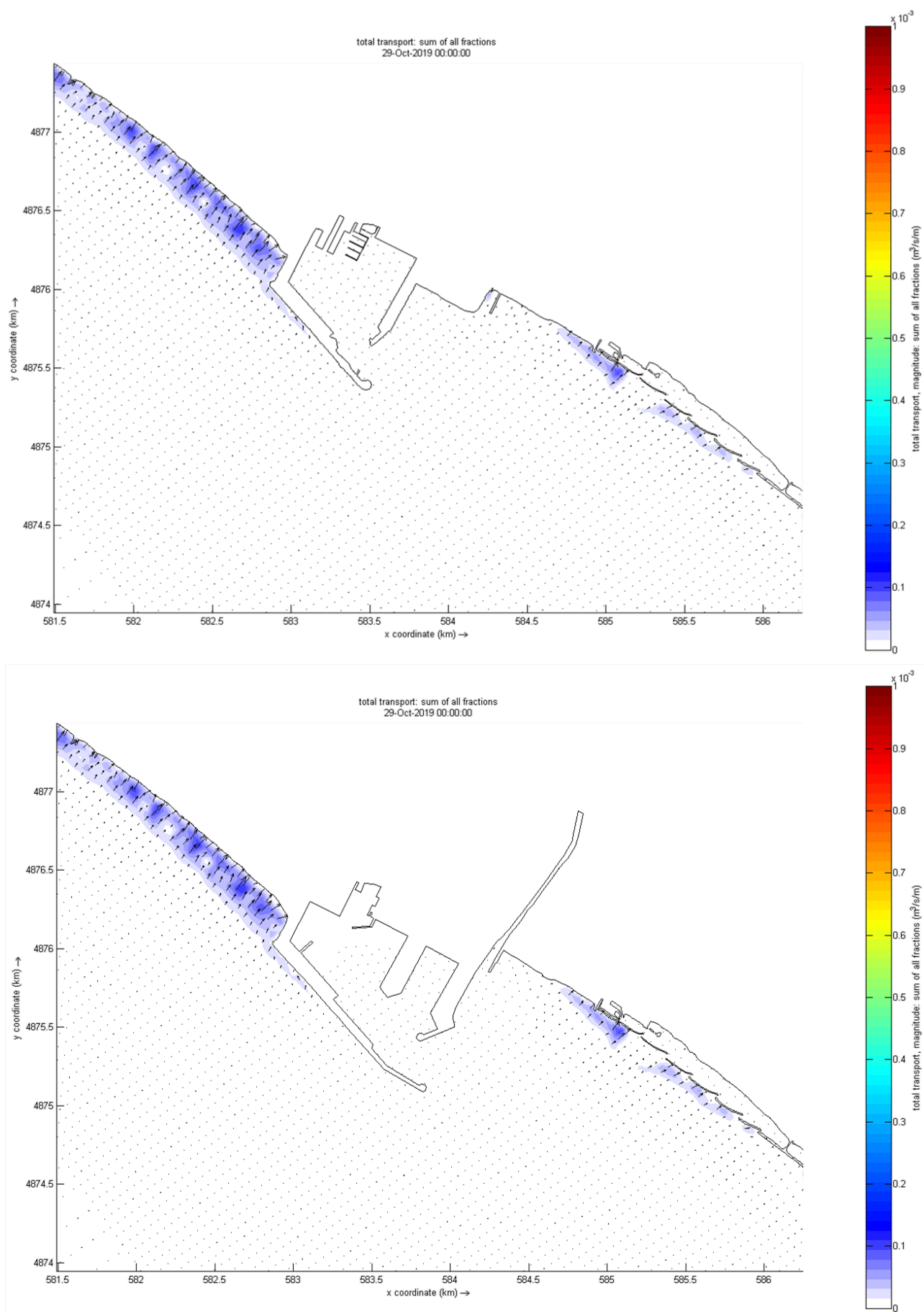


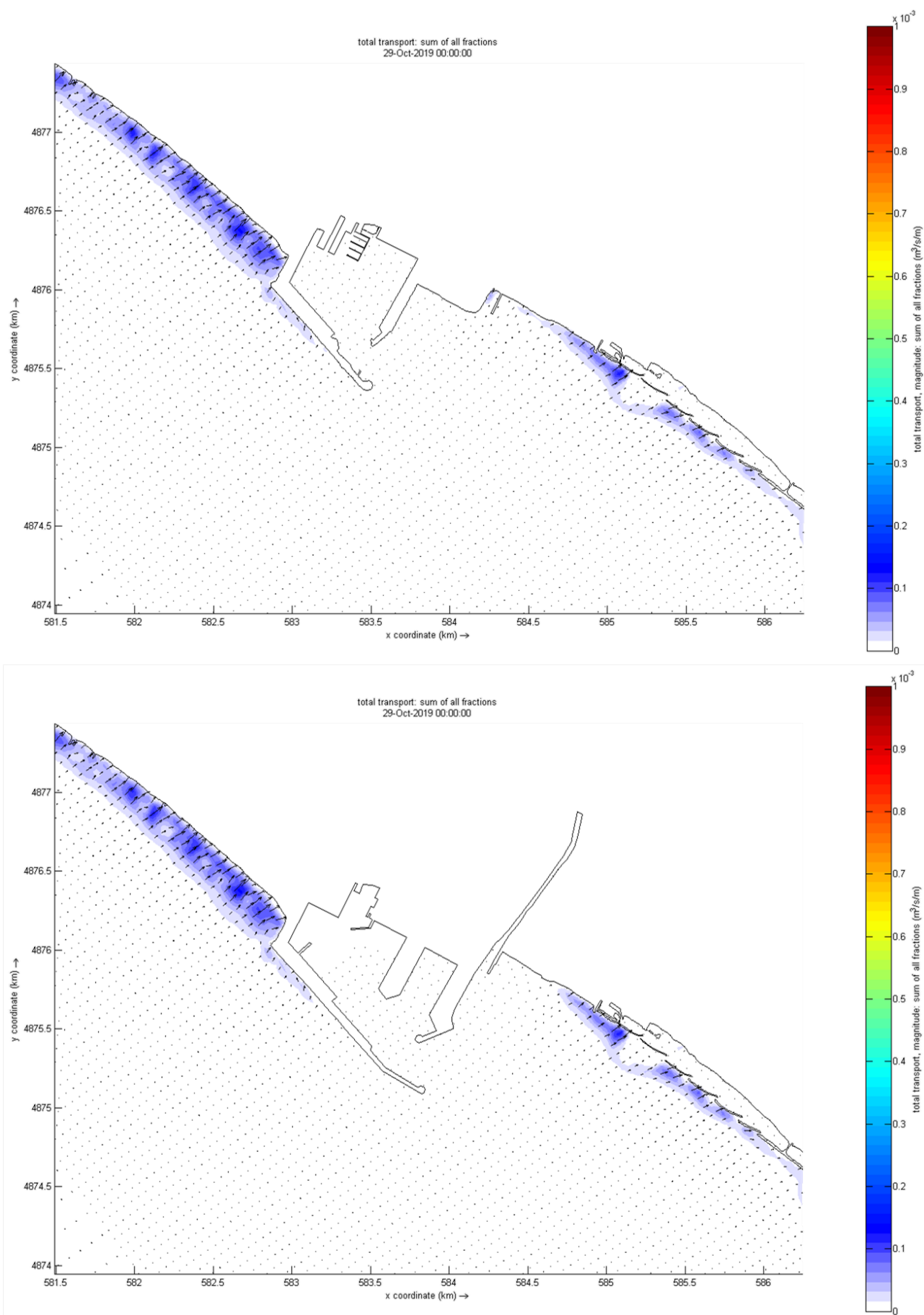
Figura 3-7 Scenario 3: Campo di moto [m/s] – condizioni di Libeccio – ($H_s = 2.42$ m; $\text{dir} = 225^\circ\text{N}$, $T_p = 9.8$ s).
Sopra: Configurazione attuale; Sotto: Configurazione proposta PRP.



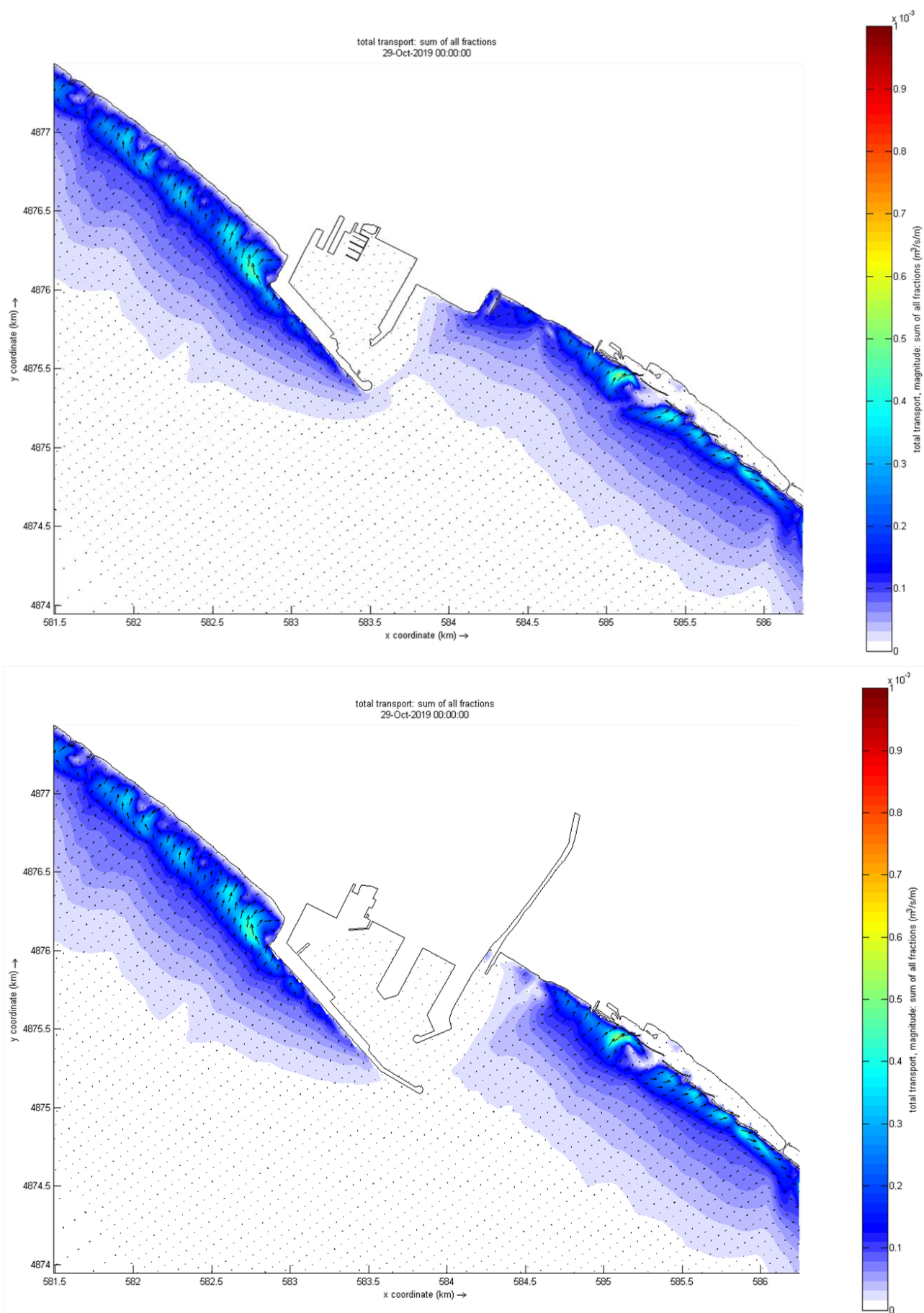
**Figura 3-8 Scenario 4: Campo di moto [m/s] – condizioni di Libeccio – ($H_s = 3.35$ m; $\text{dir} = 240^\circ\text{N}$, $T_p = 10.5$ s).
Sopra: Configurazione attuale; Sotto: Configurazione proposta PRP.**



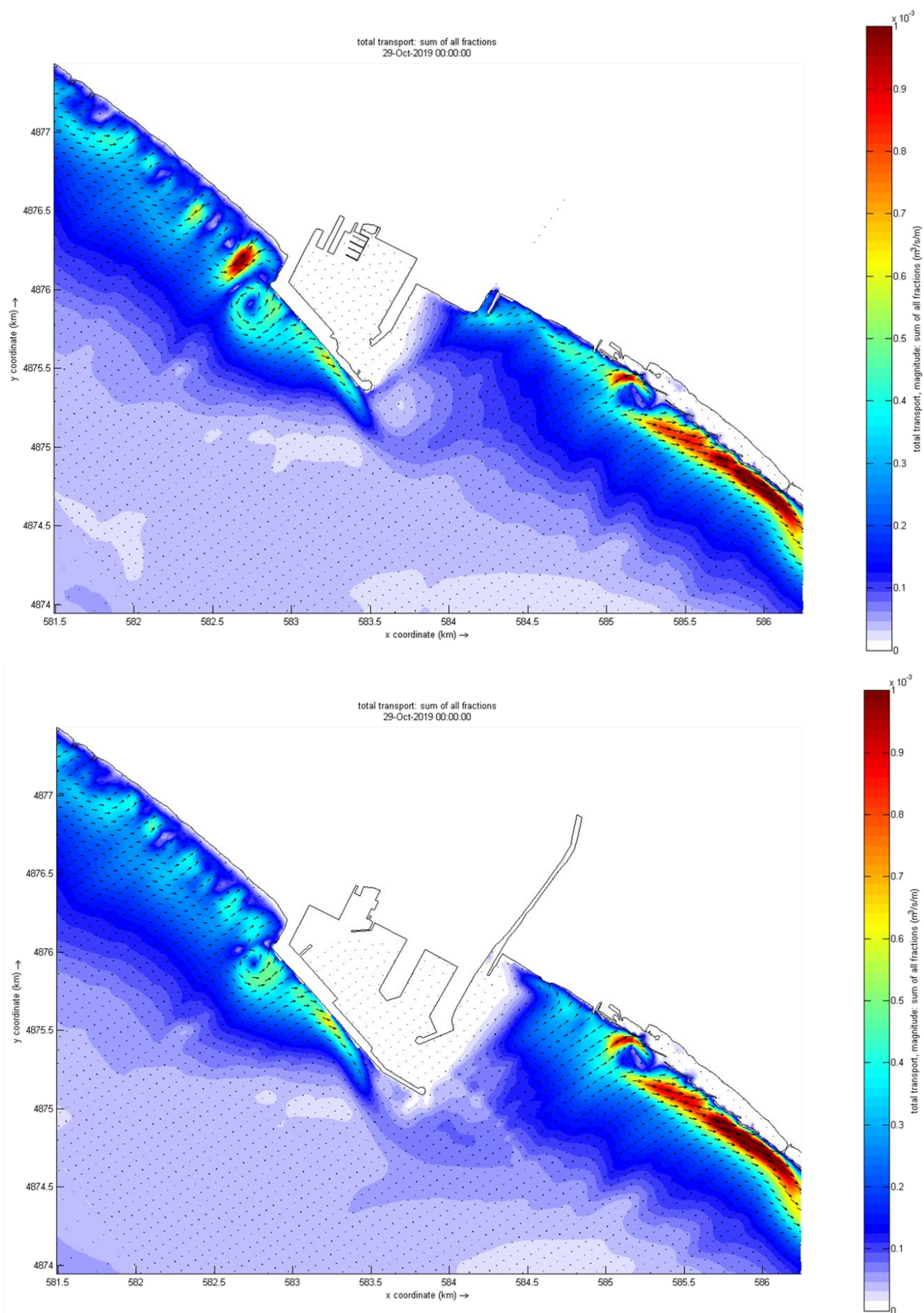
**Figura 3-9 Scenario 1: Trasporto potenziale [$\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$] –
condizioni di Libeccio – ($H_s = 1.16 \text{ m}$; $\text{dir} = 225^\circ\text{N}$, $T_p = 8.4 \text{ s}$).
Sopra: Configurazione attuale; Sotto: Configurazione proposta PRP.**



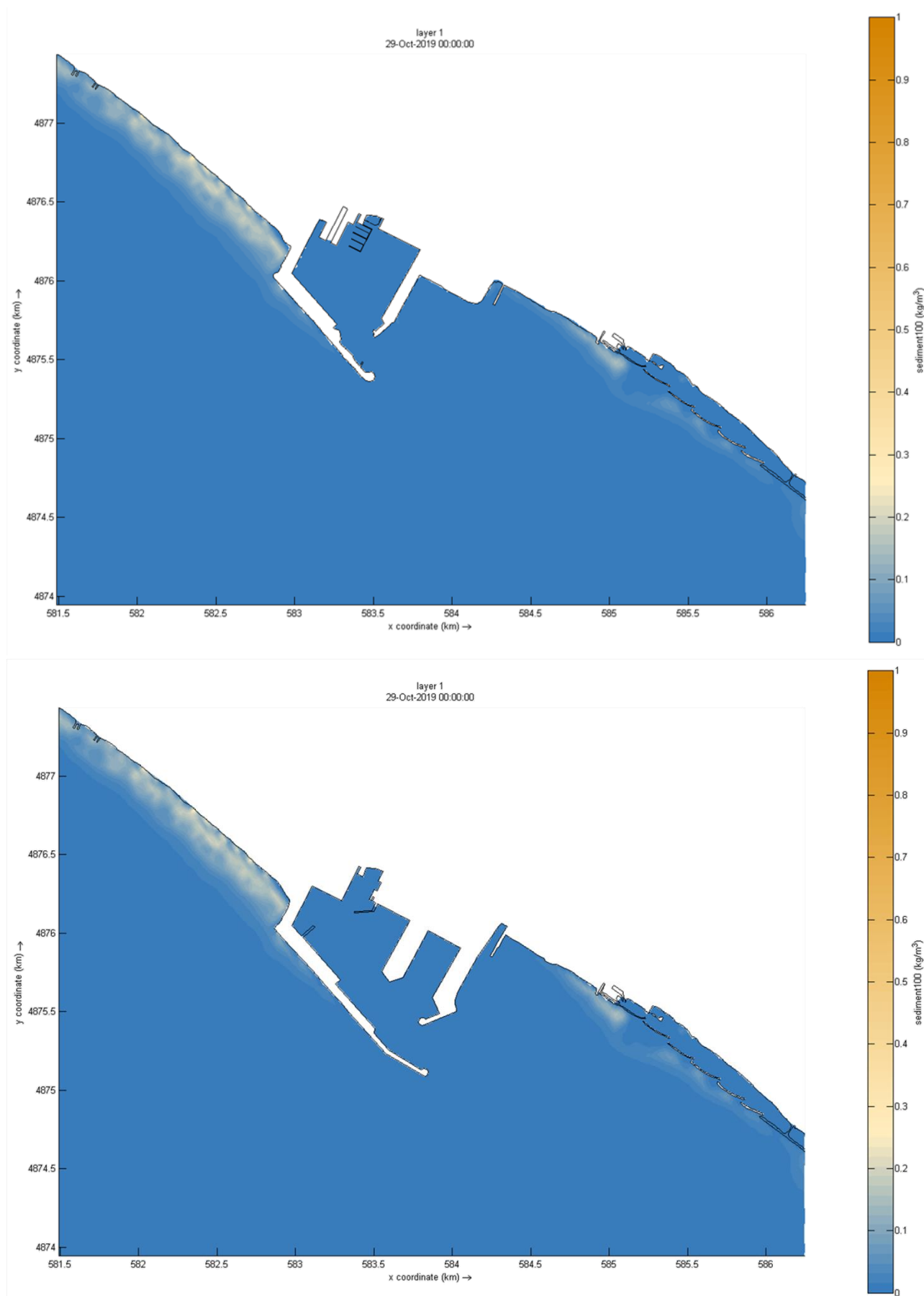
**Figura 3-10 Scenario 2: Trasporto potenziale [$\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$] – condizioni di Libeccio – ($H_s = 1.33 \text{ m}$; dir 240°N , $T_p = 8.6 \text{ s}$).
Sopra: Configurazione attuale; Sotto: Configurazione proposta PRP.**



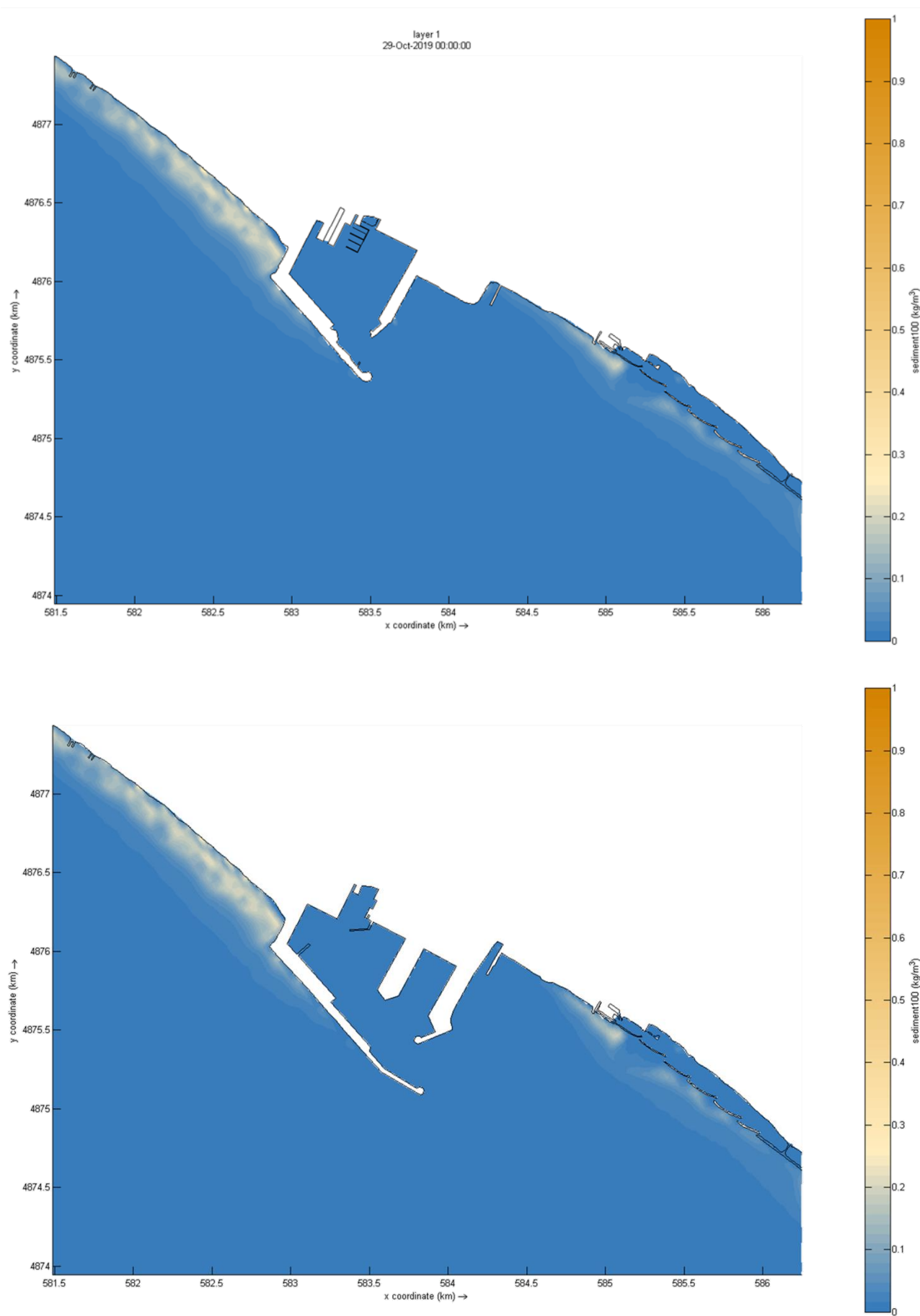
**Figura 3-11 Scenario 3: Trasporto potenziale [$\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$] – condizioni di Libeccio – ($H_s = 2.42 \text{ m}$; dir 225°N , $T_p = 9.8 \text{ s}$).
Sopra: Configurazione attuale; Sotto: Configurazione proposta PRP.**



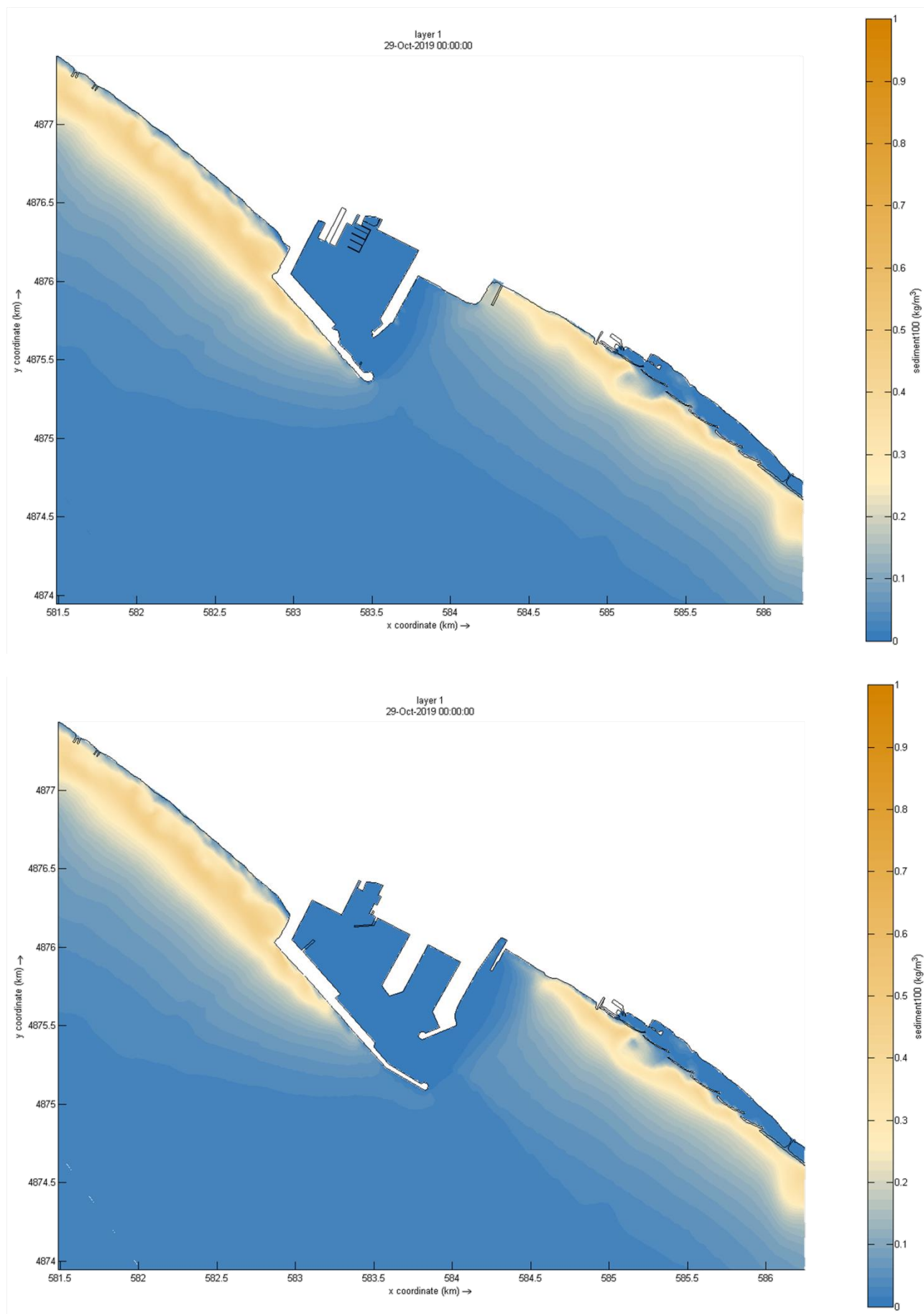
**Figura 3-12 Scenario 4: Trasporto potenziale [$\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$] – condizioni di Libeccio – ($H_s = 3.35 \text{ m}$; dir 240°N , $T_p = 10.5 \text{ s}$).
Sopra: Configurazione attuale; Sotto: Configurazione proposta PRP.**



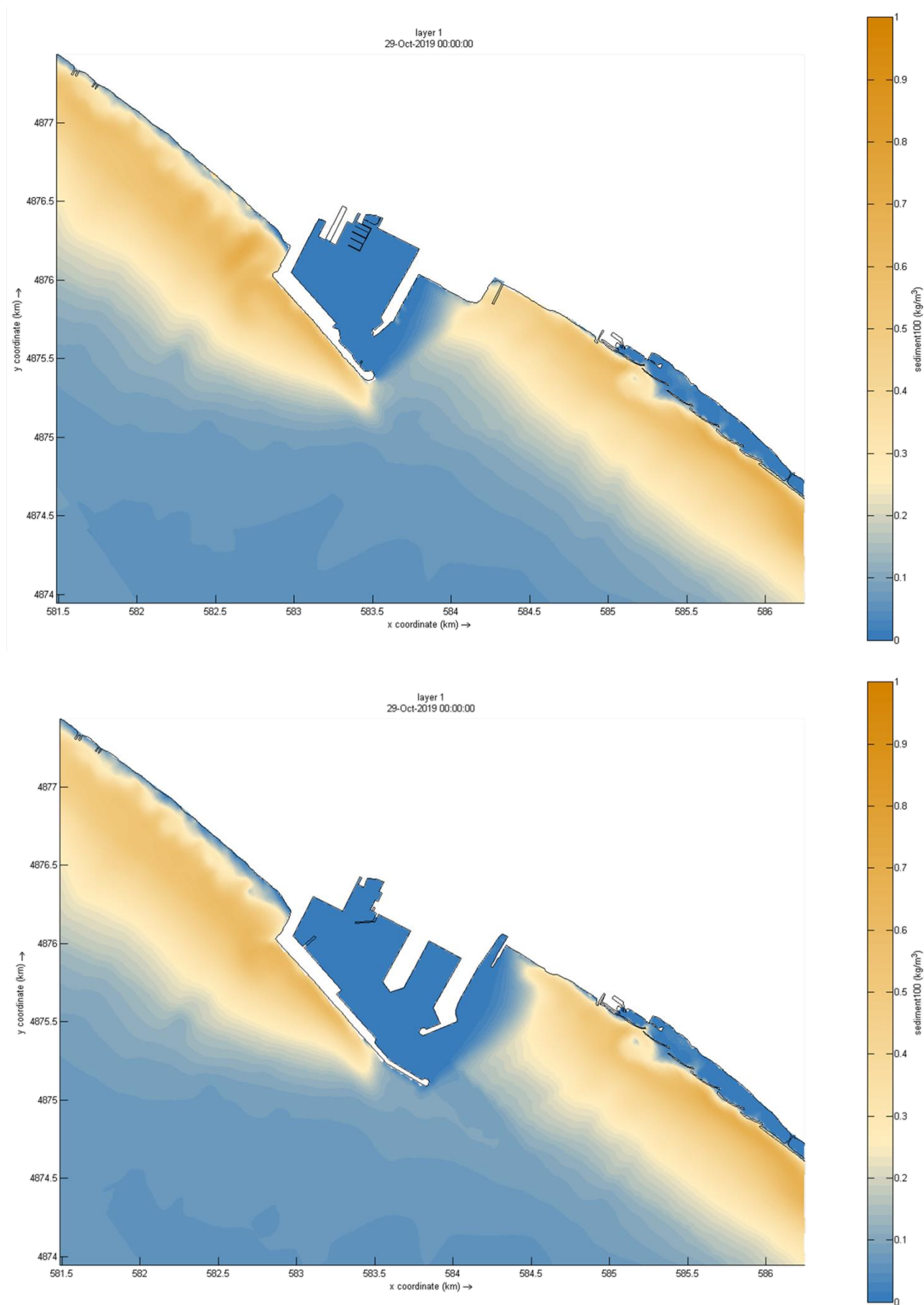
**Figura 3-13 Scenario 1: Sedimenti in sospensione 100 µm [kg/m³] – condizioni di Libeccio – ($H_s = 1.16$ m; $\text{dir} = 225^\circ\text{N}$, $T_p = 8.4$ s).
Sopra: Configurazione attuale; Sotto: Configurazione proposta PRP.**



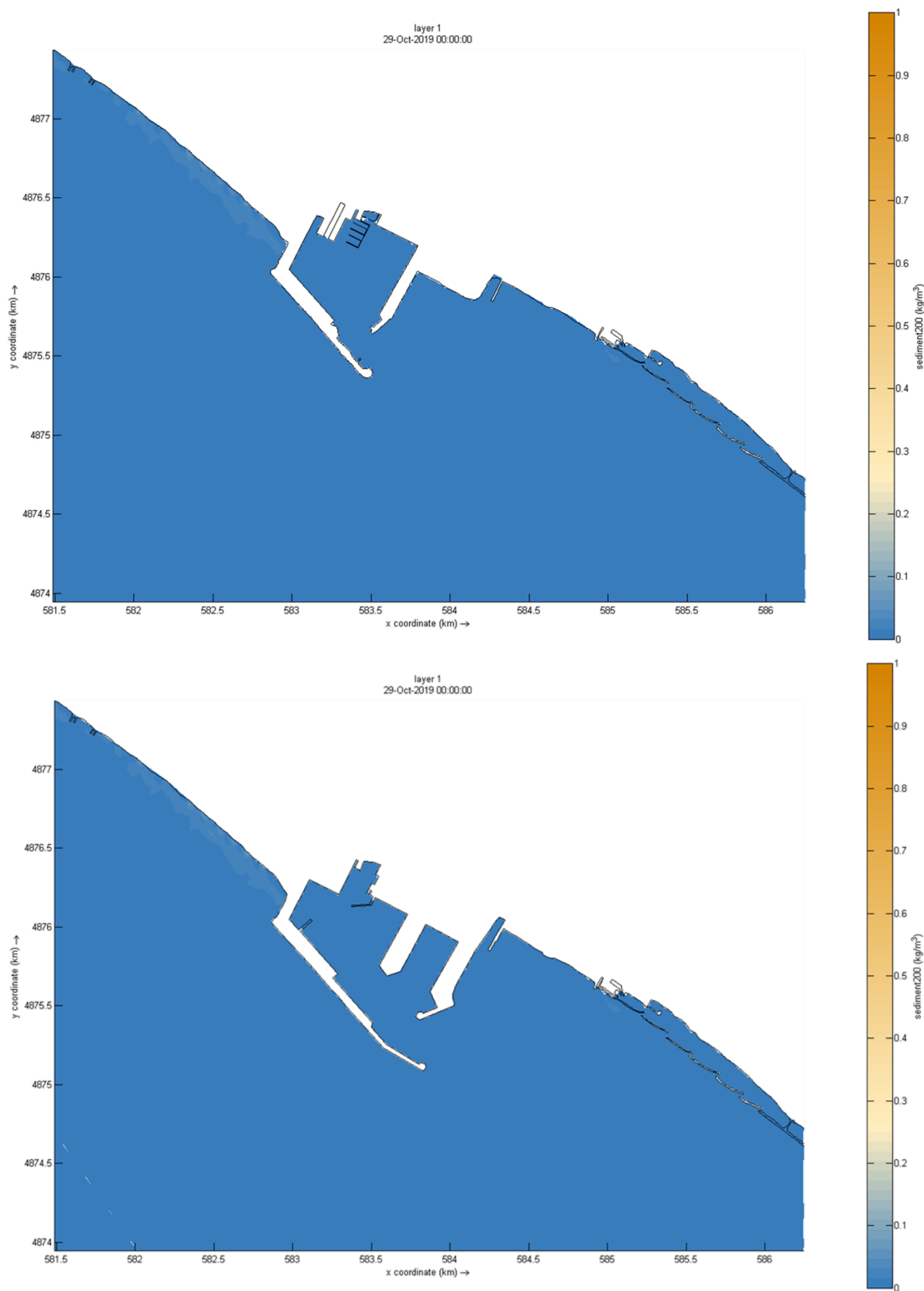
**Figura 3-14 Scenario 2: Sedimenti in sospensione 100 µm [kg/m³] – condizioni di Libeccio – ($H_s = 1.33$ m; dir 240°N, $T_p = 8.6$ s).
Sopra: Configurazione attuale; Sotto: Configurazione proposta PRP.**



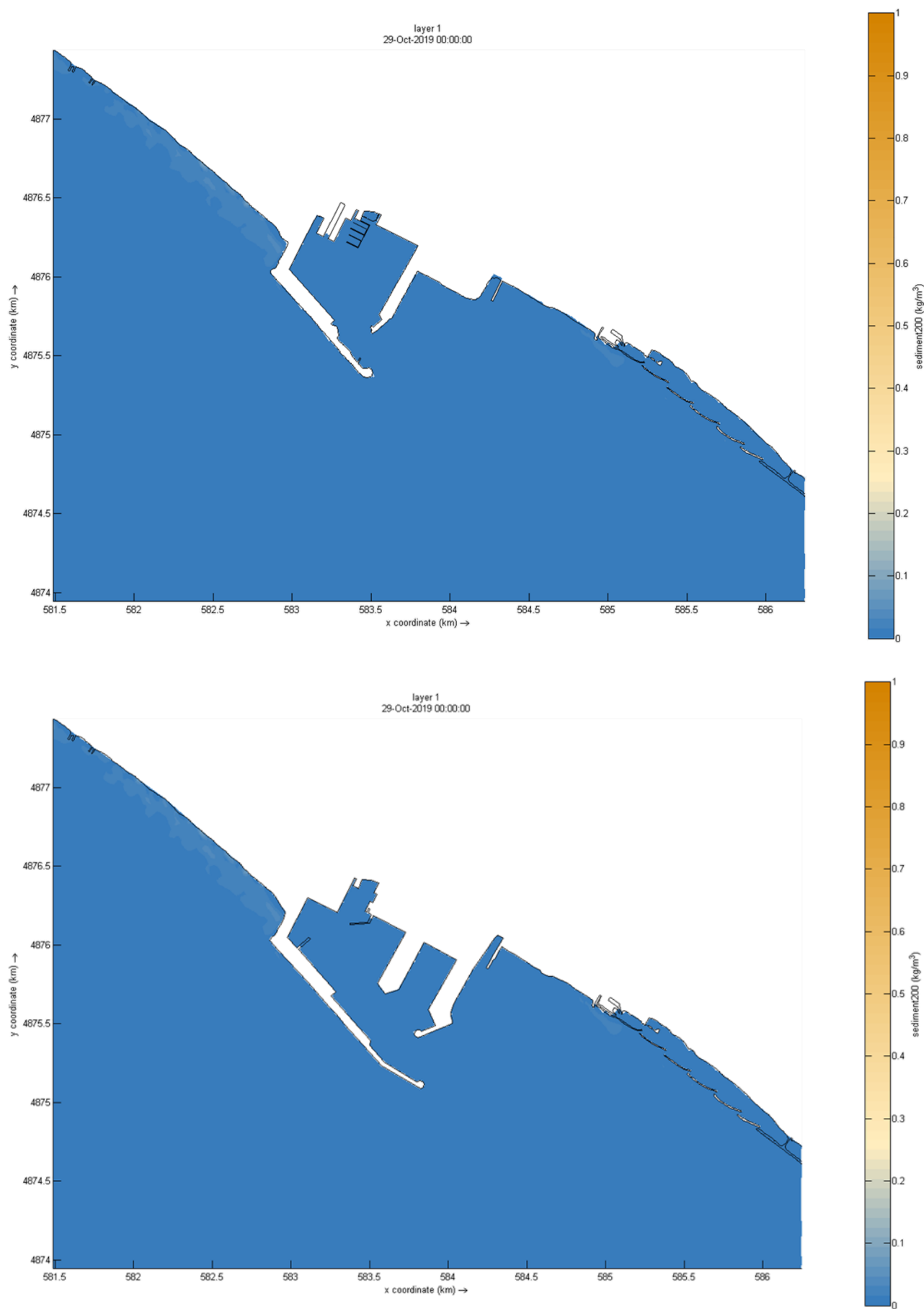
**Figura 3-15 Scenario 3: Sedimenti in sospensione 100 μm [kg/m³] – condizioni di Libeccio – ($H_s = 2.42$ m; dir 225°N , $T_p = 9.8$ s).
Sopra: Configurazione attuale; Sotto: Configurazione proposta PRP.**



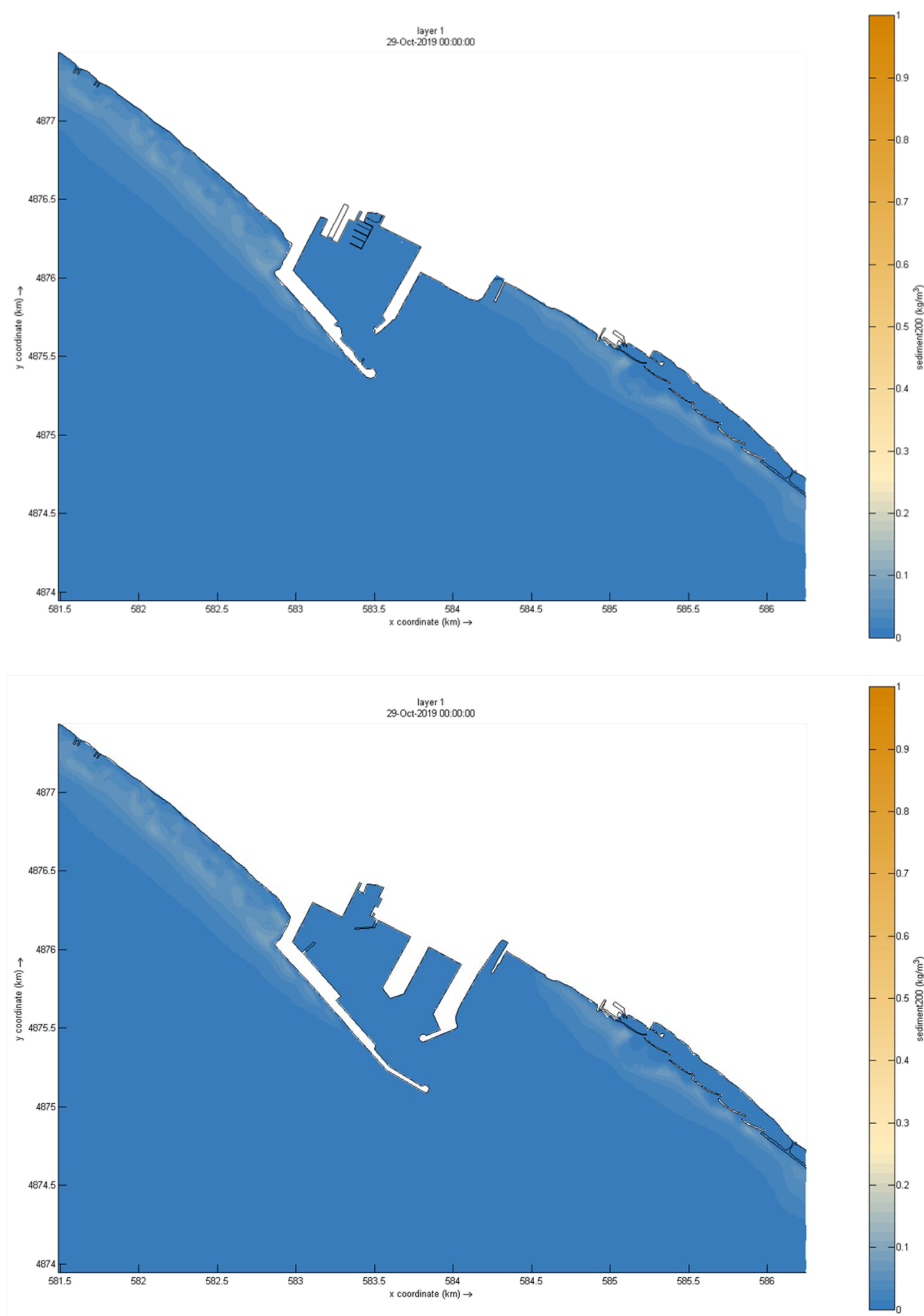
**Figura 3-16 Scenario 4: Sedimenti in sospensione 100 mm [kg/m³] – condizioni di Libeccio – ($H_s = 3.35$ m; dir 240° N, $T_p = 10.5$ s).
Sopra: Configurazione attuale; Sotto: Configurazione proposta PRP.**



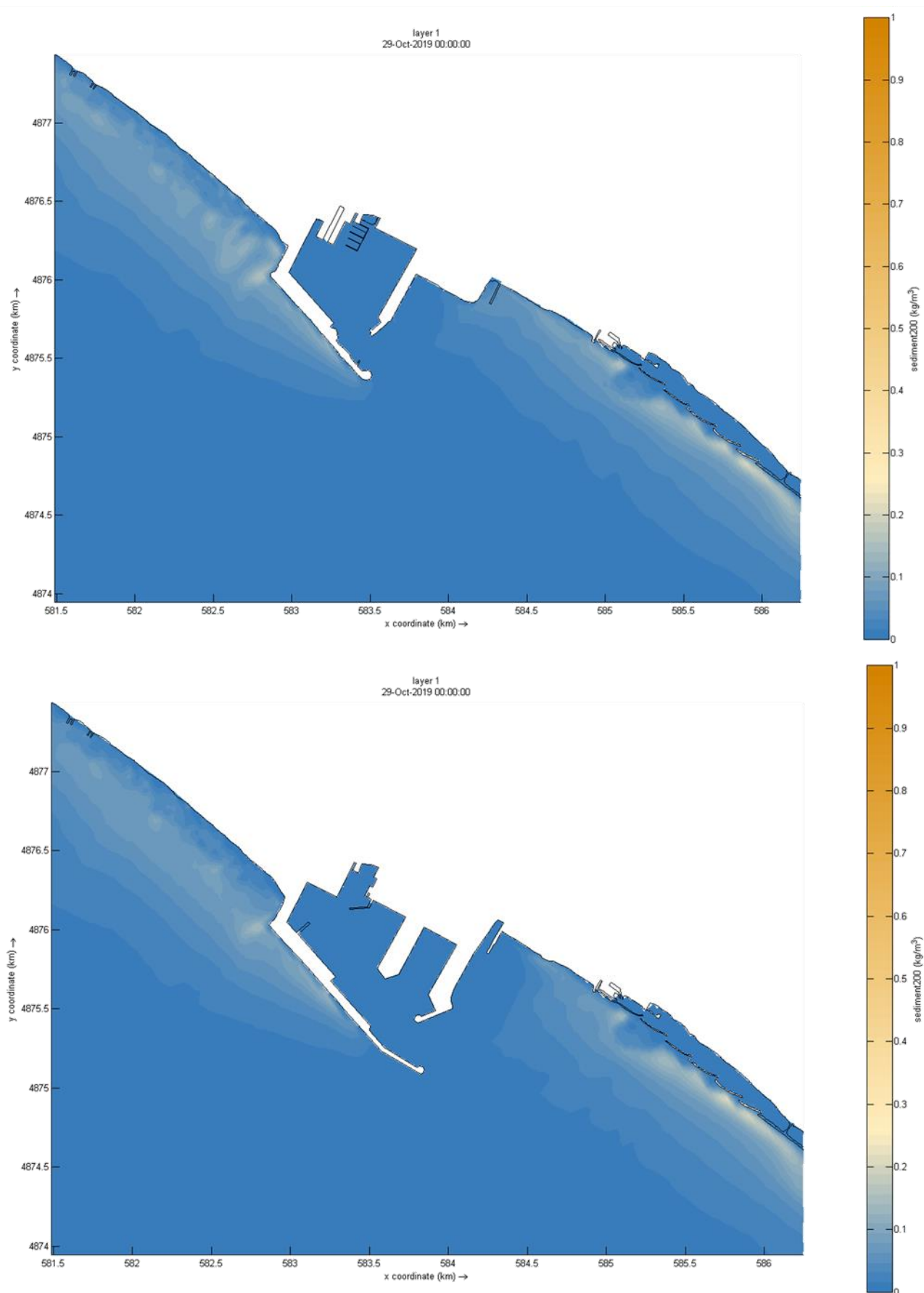
**Figura 3-17 Scenario 1: Sedimenti in sospensione 200 µm [kg/m³] – condizioni di Libeccio – ($H_s = 1.16$ m; $dir = 225^\circ N$, $T_p = 8.4$ s).
Sopra: Configurazione attuale; Sotto: Configurazione proposta PRP.**



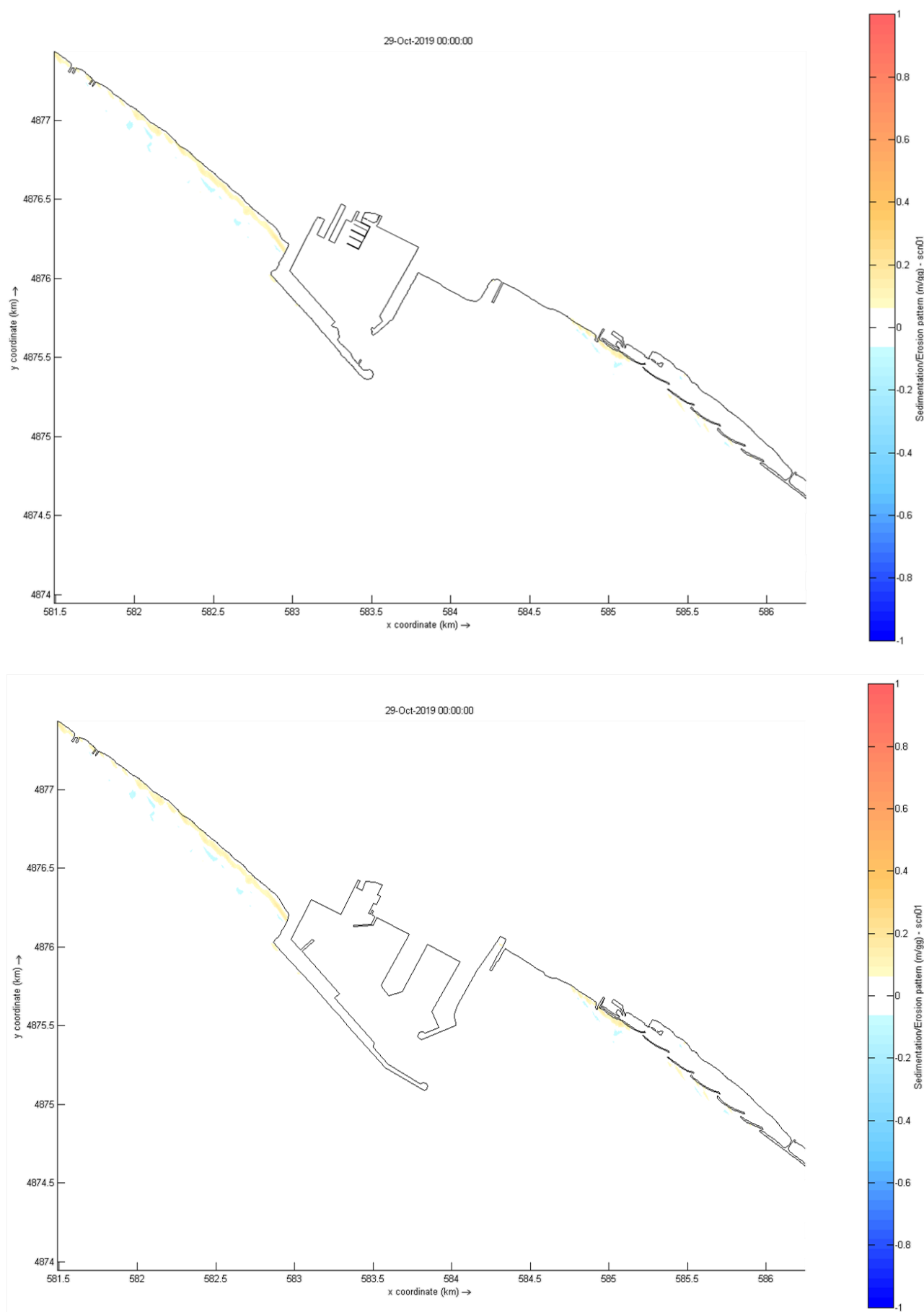
**Figura 3-18 Scenario 2: Sedimenti in sospensione 200 μm [kg/m^3] – condizioni di Libeccio – ($H_s = 1.33$ m; dir 240°N , $T_p = 8.6$ s).
Sopra: Configurazione attuale; Sotto: Configurazione proposta PRP.**



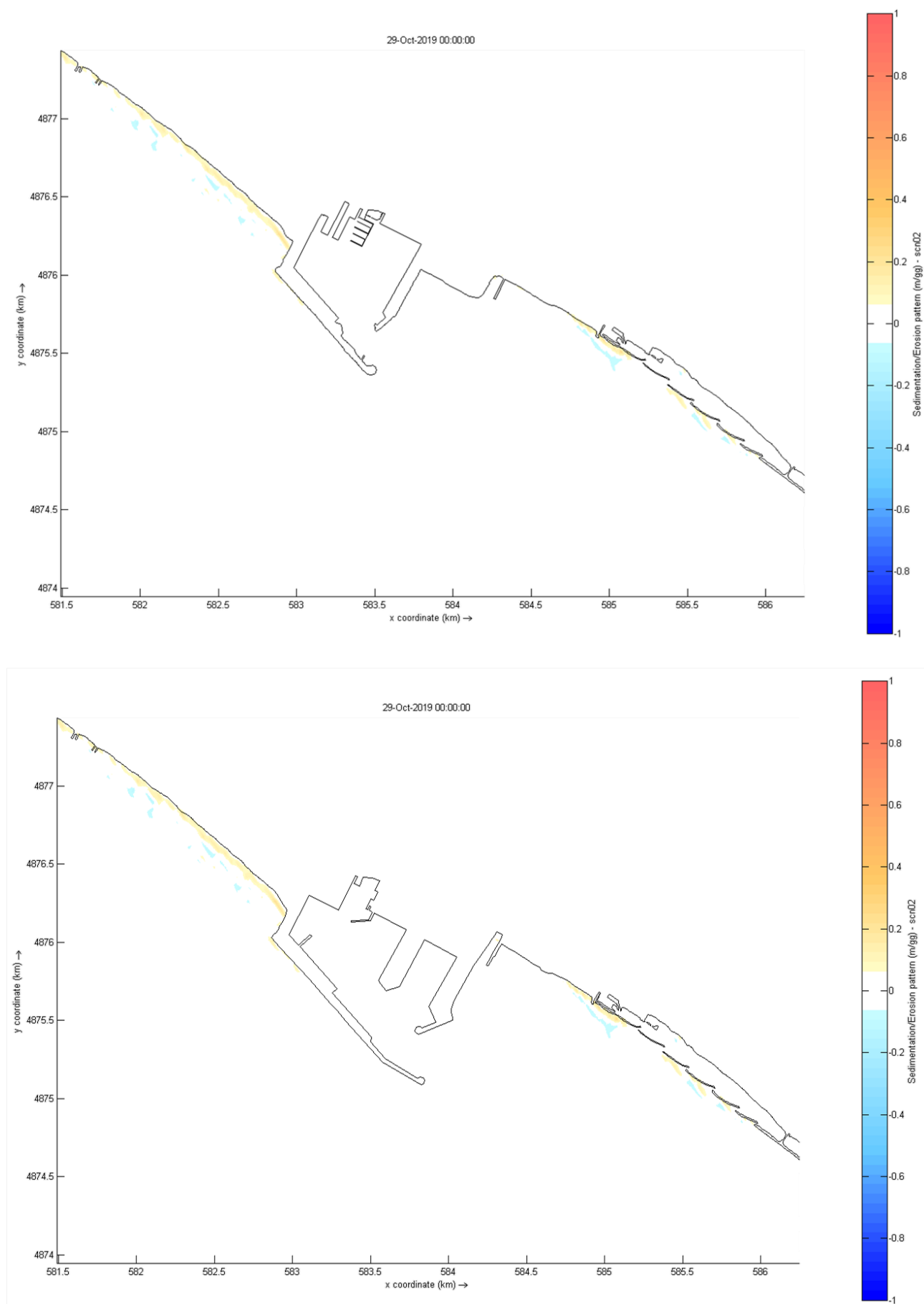
**Figura 3-19 Scenario 3: Sedimenti in sospensione $200 \mu\text{m}$ [kg/m^3] – condizioni di Libeccio – ($H_s = 2.42 \text{ m}$; dir 225°N , $T_p = 9.8 \text{ s}$).
Sopra: Configurazione attuale; Sotto: Configurazione proposta PRP.**



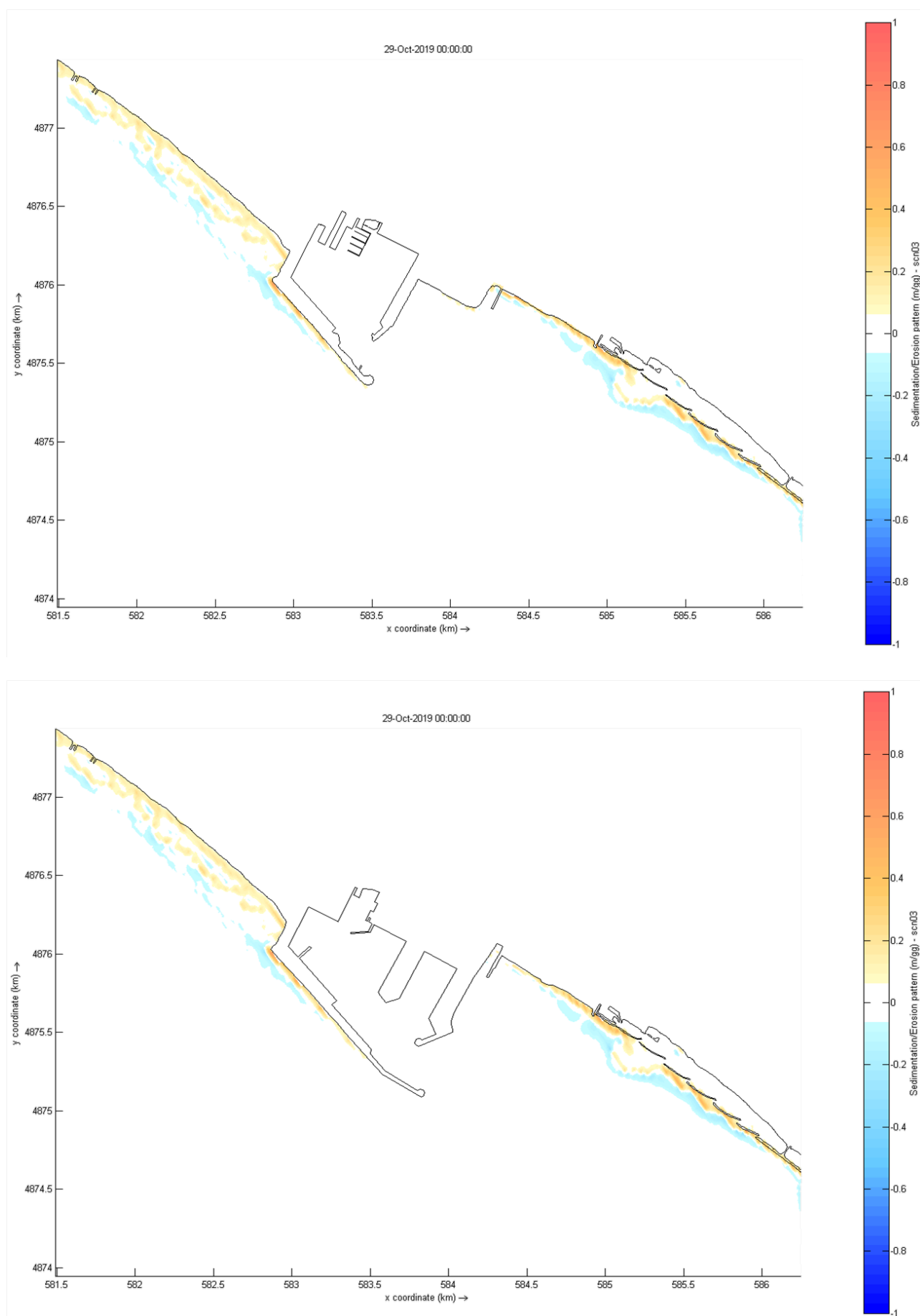
**Figura 3-20 Scenario 4: Sedimenti in sospensione 200 µm [kg/m³] – condizioni di Libeccio – ($H_s = 3.35$ m; dir 240°N, $T_p = 10.5$ s).
Sopra: Configurazione attuale; Sotto: Configurazione proposta PRP.**



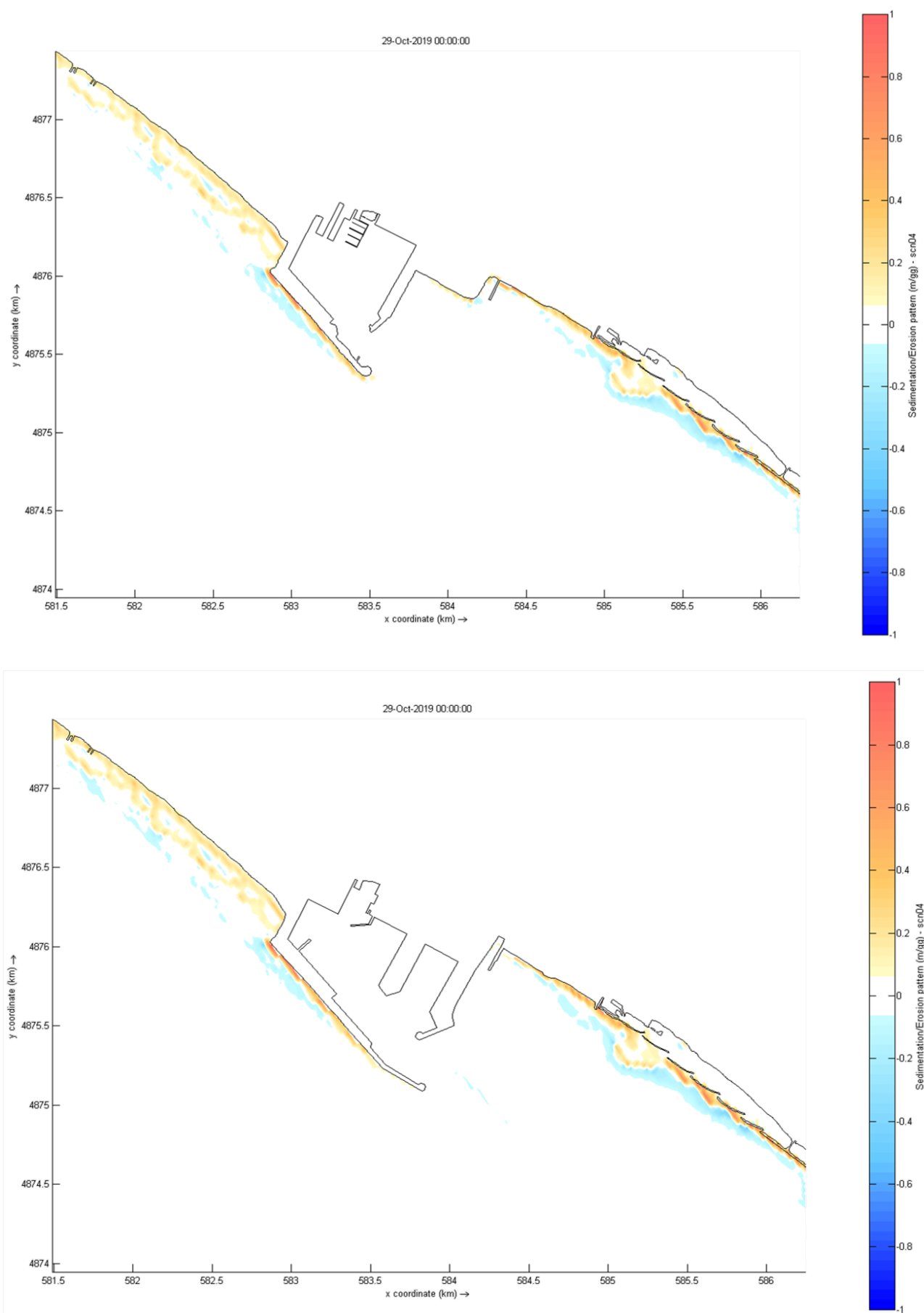
**Figura 3-21 Scenario 1: Pattern di sedimentazione/erosione [m/giorno] – condizioni di Libeccio – ($H_s = 1.16$ m; $dir = 225^\circ N$, $T_p = 8.4$ s).
Sopra: Configurazione attuale; Sotto: Configurazione proposta PRP.**



**Figura 3-22 Scenario 2: Pattern di sedimentazione/erosione [m/giorno] - condizioni di Libeccio - ($H_s = 1.33$ m; dir 240° N, $T_p = 8.6$ s).
Sopra: Configurazione attuale; Sotto: Configurazione proposta PRP.**



**Figura 3-23 Scenario 3: Pattern di sedimentazione/erosione [m/giorno] – condizioni di Libeccio – (Hs = 2.42 m; dir 225°N, Tp = 9.8 s).
 Sopra: Configurazione attuale; Sotto: Configurazione proposta PRP.**



**Figura 3-24 Scenario 4: Pattern di sedimentazione/erosione [m/giorno] – condizioni di Libeccio – ($H_s = 3.35$ m; dir 240° N, $T_p = 10.5$ s).
Sopra: Configurazione attuale; Sotto: Configurazione proposta PRP.**