Autorità di Sistema Portuale
del Mare Adriatico Meridionale
Bari, Brindisi, Manfredonia, Barletta, Monopoli

PORTO DI BARI

Variante localizzata del Piano Regolatore Portuale, ai sensi dell'art. 22, comma 6 del D.lgs. 169/2016 e ss. mm. ii., finalizzata alla riqualificazione del Molo S. Cataldo e al potenziamento delle infrastrutture asservite alla sede logistica del Corpo delle Capitanerie di Porto.



titolo	elaborato
studio idraulico-marittimo impatto delle nuove opere sulla circolazione idrodinamica nelle aree esterne e interne al porto	RI 3

data e aggiornamenti		
02		
01	aprile 2021	Delibera del Comitato di Gestione n. 4 del 29.04.2021
00	novembre 2019	emissione

progetto del dipartimento tecnico		
progettisti	ing. Paolo Iusco	AdSP MAM
	ing. Annunziata Attolico	AdSP MAM
	ing. Eugenio Pagnotta	AdSP MAM
relazioni specialistiche	prof. ing. Giuseppe R. Tomasicchio	studio idraulico-marittimo
	I.R.I.D.E. Srl di Roma	valutazione ambientale strategica
coordinatore della progettazione	ing. Francesco Di Leverano	AdSP MAM
responsabile unico del procedimento	ing. Paolo Iusco	AdSP MAM

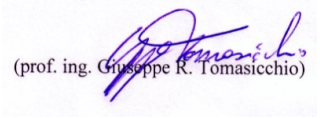
Firmato digitalmente da
PAOLO IUSCO
T = Ingegnere
C = IT

PORTO DI BARI

Variante localizzata del Piano Regolatore Portuale finalizzata al potenziamento delle infrastrutture asservite alla sede logistica di Bari del Corpo delle Capitanerie di Porto.
Servizio per l'esecuzione degli studi Idraulici/Marittimi

Studio dell'impatto delle nuove opere sulla circolazione idrodinamica nelle aree esterne e interne al porto

Bari, dicembre 2019



INDICE

INTRODUZIONE

1. ANALISI DELLA CIRCOLAZIONE

1.1. CONSIDERAZIONI GENERALI

1.2. CIRCOLAZIONE INDOTTA DALLA VARIAZIONE MAREALE

1.2.1. MAREA ASTRONOMICA
1.2.2. SOLUZIONE ANALITICA
1.2.3. SIMULAZIONI CON MODELLO NUMERICO
1.2.4. ANALISI DEI RISULTATI
1.2.5. TEMPI DI RESIDENZA NEL BACINO INTERNO

1.3. CIRCOLAZIONE INDOTTA DAL VENTO

1.4. IMPATTO DELLE NUOVE OPERE SULL'IDRODINAMICA COSTIERA

1.4.1. ALL'INTERNO DEL BACINO PORTUALE
1.4.2. ALL'ESTERNO DEL BACINO PORTUALE

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1. Caratteristiche delle maglie di elementi finiti impiegate nelle simulazioni

Tabella 2. Livelli di marea a Brindisi

Tabella 3. Valori della portata massima e della velocità che attraversa l'imboccatura portuale (scenario attuale e futuro). Soluzione analitica

Tabella 4. Confronto tra i risultati ottenuti mediante il modello analitico (teorico) e mediante il modello numerico (modello) della portata massima e della velocità in corrispondenza dell'imboccatura nelle configurazioni attuale e futura

Tabella 5. Tempi di residenza del bacino interno del porto di Bari per diverse ampiezze di marea (M) nelle configurazioni attuale e futura

Tabella 6. Tempi di residenza del bacino interno del porto di Bari per diverse ampiezze di marea (M) nelle configurazioni attuale e futura

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1. Maglia ad elementi finiti e batimetria nella situazione attuale

Figura 2. Maglia ad elementi finiti e batimetria nella situazione futura

Figura 3. Velocità della corrente di marea (T=12 h, M=0.60 m). Fase di flusso. Configurazione attuale (su) e futura (giù)

Figura 4. Velocità della corrente di marea (T=12 h, M=0.60 m). Fase di riflusso. Configurazione attuale (su) e futura (giù)

Figura 5. Linee di corrente indotte dalla marea. Fasi di flusso e riflusso. Configurazione attuale (su) e futura (giù)

Figura 6. Sezione e 5 punti di controllo definiti nel dominio di calcolo: configurazione attuale (su) e futura (giù)

Figura 7. Andamento della profondità e della velocità lungo la sezione individuata all'imboccatura, in fase di flusso (ingresso dell'onda di marea) e di riflusso (uscita dell'onda di marea), nella configurazione attuale. X=0 molo San Cataldo, X=250 molo foraneo

Figura 8. Andamento della velocità lungo l'imboccatura in condizione di massimo flusso/reflusso, nelle configurazioni attuale e futura. X=0 molo di San Cataldo, X=250 molo foraneo

Figura 9. Andamento nel tempo della superficie libera e della velocità al Punto 2 (nel mezzo dell'imboccatura) nelle configurazioni attuale e futura

Figura 10. Andamento nel tempo del livello della superficie libera e della velocità al Punto 1 (esterno al bacino), nelle configurazioni attuale e futura

Figura 11. Andamento nel tempo del livello della superficie libera e della velocità al Punto 2 (esterno al bacino), nelle configurazioni attuale e futura

Figura 12. Andamento nel tempo del livello della superficie libera e della velocità al Punto 4 (esterno al bacino), nelle configurazioni attuale e futura

Figura 13. Andamento nel tempo del livello della superficie libera e della velocità al Punto 5 (esterno al bacino), nelle configurazioni attuale e futura

Figura 14. Velocità della corrente generata dal vento da E (10 m/s=20 kn). Configurazione attuale (su) e futura (giù)

Figura 15. Linee di corrente generate dal vento da E. Configurazione attuale (su) e futura (giù)

Figura 16. Velocità della corrente generata dal vento da SO (10 m/s=20 kn). Configurazione attuale (su) e futura (giù)

Figura 17. Linee di corrente generate dal vento da SO. Configurazione attuale (su) e futura (giù)

Figura 18. Velocità della corrente generata dal vento da NO (10 m/s=20 kn). Configurazione attuale (su) e futura (giù)

Figura 19. Linee di corrente generate dal vento da NO. Configurazione attuale (su) e futura (giù)

INTRODUZIONE

In data 21.05.2019 è stata stipulata una convenzione tra il Comando Generale delle Capitanerie di Porto – Guardia Costiera e l'Autorità di Sistema Portuale del Mar Adriatico Meridionale (AdSPMAM), in forza della quale il Comando Generale affida all'AdSPMAM l'espletamento delle attività necessarie alla realizzazione di nuovi ormeggi lungo la banchina San Cataldo nel porto di Bari, nonché alla realizzazione di infrastrutture asservite alla logistica.

Il Corpo delle Capitanerie di Porto ha infatti indicato tra i propri fabbisogni infrastrutturali-logistici individuati dal Piano Programmatico degli investimenti 2014-20 predisposto dal Comando Generale, la "Realizzazione di tre punti di ormeggio nel porto di Bari (molo san Cataldo), per una lunghezza di 400 m di banchina e la realizzazione di infrastrutture logistiche asservite alla sede logistica di Bari." Detta esigenza rientra tra quelle oggetto del finanziamento disposto con il DPCM 21 luglio 2017.

Per la realizzazione degli obiettivi previsti nella Convenzione è necessario procedere alla variazione degli strumenti di pianificazione territoriale, realizzando una variante al Piano Regolatore Portuale (PRP) vigente.

L'AdSPMAM intende procedere alla redazione di una "*variante localizzata*" come prevista all'art. 22, comma 6 del D.Lgs. 169/2016 come modificato da ultimo dall'art. 14 del D.Lgs. 232/2017.

Nell'ambito del procedimento, l'AdSPMAM assume la funzione di Stazione appaltante per la progettazione, direzione lavori, misura e contabilità delle opere, collaudo, coordinamento della sicurezza in fase di progettazione ed esecuzione; la copertura finanziaria è resa disponibile dal Comando generale.

In tale ambito, l'AdSP ha nominato progettisti gli ingegneri Paolo Iusco, Annunziata Attolico ed Eugenio Pagnotta, funzionari tecnici dell'Ente.

Con nota prot. 20190024890 del 29/10/2019, l'AdSPMAM ha affidato allo scrivente il servizio per la conduzione "di studi meteomarini ed affini per la verifica delle caratteristiche di navigabilità interna al bacino".

Il servizio di consulenza riguarda "Studi Idraulico-Marittimi" e comprende le seguenti attività:

1. Studio del clima anemometrico e ondoso al largo
2. Studio della propagazione da largo all'imboccatura
3. Studio dell'agitazione ondosa all'interno del bacino portuale
4. Prove con simulatore di manovra di tipo "real time full mission" per la flotta di progetto
5. Studio dell'impatto delle nuove opere sulla circolazione idrodinamica nelle aree esterne al porto"

In estrema sintesi, per comodità del lettore, si ricorda che il porto di Bari è situato in Puglia, lungo il litorale Adriatico, e che il settore di traversia di Bari è compreso tra 295° N e 110° N.
La struttura del porto di Bari è quella tipica di un bacino artificiale protetto da un molo di sopraflutto, denominato molo foraneo e da un molo di sottoflutto, denominato San Cataldo.
Il porto è aperto a NNW ed è esposto ai venti di tramontana e maestrale.

La presente relazione riassume i risultati dello studio di circolazione idrodinamica che è stato condotto per le aree esterne adiacenti al porto, ma anche per quelle interne.

Si fa presente che lo scenario futuro prende in considerazione l'intervento di approfondimento dei fondali già progettato e in fase di bando di gara da parte di AdSPMAM, oltre che le opere di variante localizzata (opere in radice al molo San Cataldo e pontile radicato alla banchina 11 di darsena di Ponente.

1 ANALISI DELLA CIRCOLAZIONE

1.1 CONSIDERAZIONI GENERALI

L'obiettivo del presente studio è la determinazione della circolazione idrodinamica indotta dalla variazione mareale (determinante la portata che attraversa l'imboccatura e quindi il ricambio idrico nel porto) e dal vento per il porto di Bari.

Benché l'affidamento del servizio fosse limitato allo studio idrodinamico per determinare "l'impatto delle nuove opere sulla circolazione idrodinamica nelle aree esterne al porto", il presente studio si è occupato anche della circolazione idrodinamica che si verifica nelle aree interne al porto.

L'analisi è stato condotta nell'ipotesi di non contemporaneità dell'azione delle forzanti marea e vento.

Le simulazioni della circolazione idrodinamica sono state condotte mediante il modello numerico ADCIRC (Advanced CIRCulation Multi-dimensional Hydrodynamic Model), sviluppato dall'US Army Corps of Engineers; ADCIRC è un modello idrodinamico ad elementi finiti multidimensionali di ultima generazione (adcirc.org, en.wikipedia.org/wiki/ADCIRC).

Il dominio di calcolo è stato discretizzato in elementi finiti triangolari di dimensioni proporzionali alla velocità delle onde lunghe, $(gh)^{1/2}$, per due configurazioni: attuale (**Figura 20**) e futura di variante localizzata (**Figura 21**). La Tabella 7 mostra il numero di nodi ed elementi delle maglie computazionali adottate.

Tabella 7. Caratteristiche delle maglie di elementi finiti impiegate per le simulazioni

	Nodi	**Elementi**
Situazione Attuale	4.208	7.698
Situazione Futura	3.378	6.127

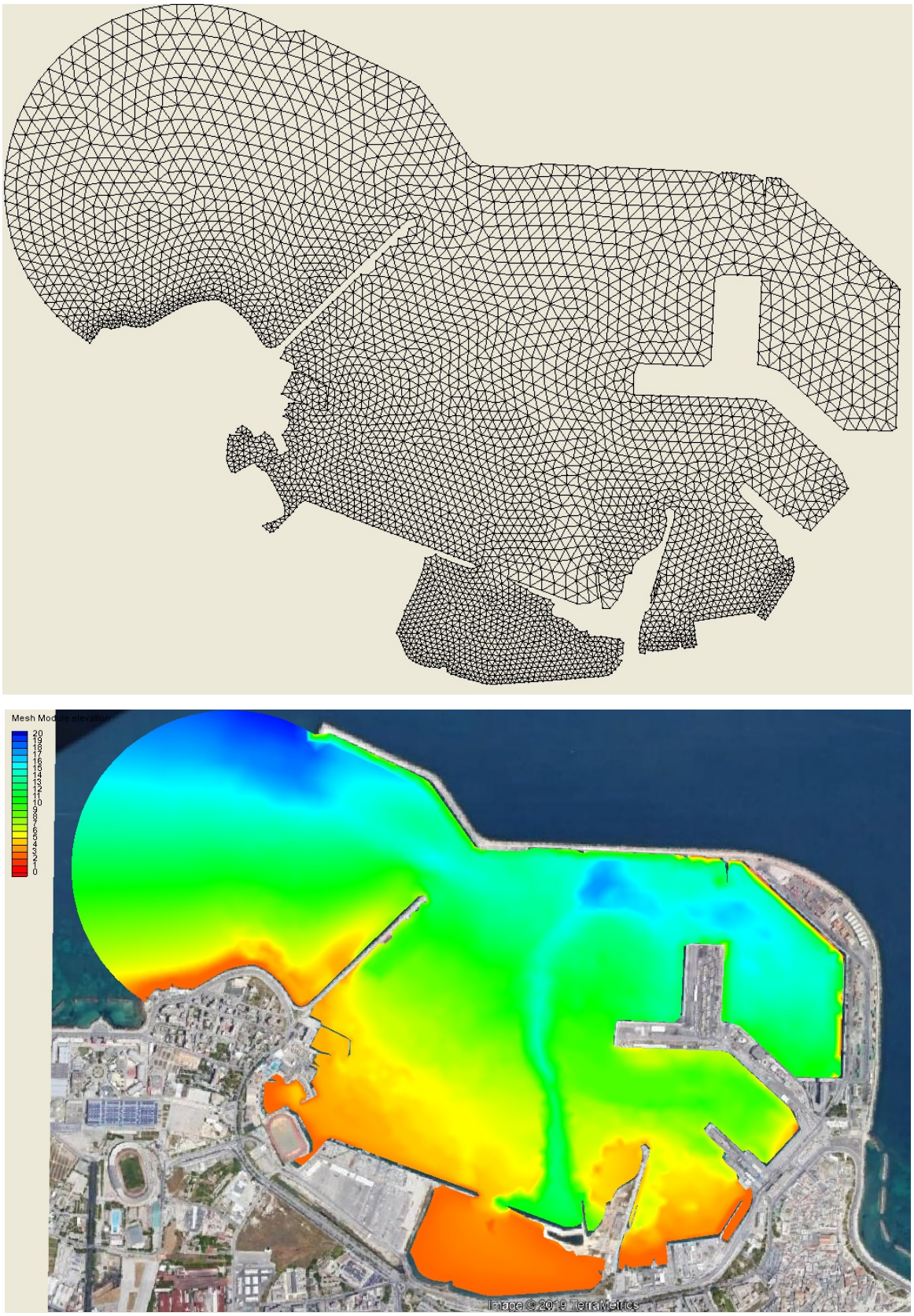


Figura 20. Maglia ad elementi finiti e batimetria nella situazione attuale

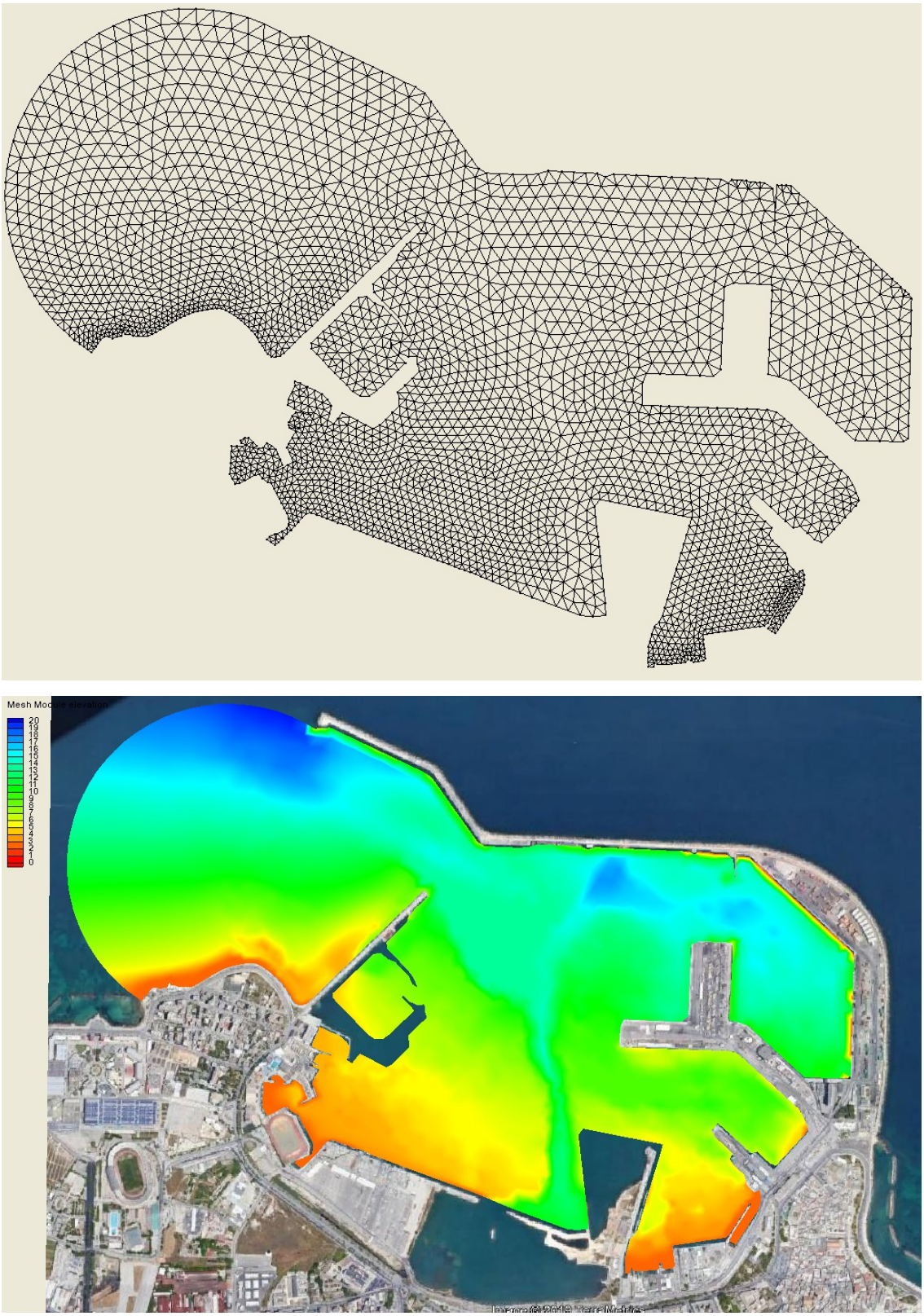


Figura 21. Maglia ad elementi finiti e batimetria nella situazione futura

1.2 CIRCOLAZIONE INDOTTA DALLA VARIAZIONE MAREALE

1.2.1 MAREA ASTRONOMICA

Nel mar Mediterraneo la marea astronomica è di tipo misto, semi-diurno, di tipo prevalentemente semidiurno, con due massimi e due minimi nelle 24 ore. Le ampiezze della marea sono generalmente modeste, nell'ordine di pochi decimetri.

Nel mar Adriatico le ampiezze massime della marea astronomica aumentano a nord: da 0.50 m nel basso Adriatico (Brindisi) a 1.10 m nell'alto Adriatico (Venezia).

I livelli di marea astronomica attesi a Brindisi, riferiti al livello medio mare (MSL) ed al livello di riferimento delle carte nautiche (Chart Datum CD), sono riportati in **Tabella 8**. A Bari (110 km NO di Brindisi) l'ampiezza della marea è leggermente più alta che a Brindisi; a Bari si verificano le seguenti ampiezze di marea:

- Bassa (ampiezza di 0.20 m)
- Media (ampiezza di 0.40 m)
- Alta (ampiezza di 0.60 m)

Tabella 8. Livelli di marea a Brindisi

		m (MSL)	m (CD)
Livello della più alta marea astronomica	**HAT**	0.23	0.38
Livello medio delle alte maree sizigiali	**MHWS**	0.15	0.30
Livello medio delle più alte alte maree	**MHHW**	0.12	0.28
Livello medio mare	**MSL**	0.00	0.15
Livello medio delle più basse basse maree	**MLLW**	-0.12	0.025
Livello medio delle basse maree sizigiali	**MLWS**	-0.15	0.00
Livello della più bassa marea astronomica	**LAT**	-0.23	-0.08

Il tema del valore della marea da assumersi per Bari è stato già affrontato nella relazione di consulenza specialistica *"Studio del clima anemometrico e ondoso al largo e studio della propagazione da largo all'imboccatura"* posto a corredo degli elaborati per la variante al PRP vigente. Si è osservato

che la marea lungo tutta la costa pugliese presenta escursioni di modesta entità. La componente astronomica è caratterizzata da un ciclo prevalentemente semidiurno con escursione di circa 32 cm alle sigizie e di 9 cm alle quadrature. Più importante è la componente meteorologica associata al passaggio di perturbazioni ed a fluttuazioni stagionali della pressione.

Il Servizio Mareografico, in un periodo di complessivi 324 giorni relativi anni 1987-88 ha osservato in seguenti valori riferiti allo zero del mareografo:

Livello massimo + 25 cm il 3.8.1988

Livello minimo – 51 cm il 3.4.1988

Il livello medio mare si colloca intorno a – 15 cm.

Una regolarizzazione delle quote estreme mensili di marea per i dati 1987-88 porta alle seguenti stime di condizioni centenarie:

Livello massimo + 50 cm sullo zero del mareografo

Livello minimo - 70 cm sullo zero del mareografo

I suddetti valori debbono essere considerati con le riserve derivanti dalla brevità del periodo di registrazione da cui sono stati desunti.

Più di recente, ulteriori dati sono stati registrati a cura di ISPRA nel periodo 02.01.2010 – 01.10.2019 al mareografo posto in corrispondenza della testata della banchina n. 12 nel porto di Bari; i dati diffusi da ISPRA sono limitati al periodo 02.01.2010 – 30.09.2015 e in tale arco temporale (trascurando un picco anomalo di livello minimo) si sono manifestati:

Livello massimo + 57 cm sullo zero del mareografo

Livello minimo - 60 cm sullo zero del mareografo

Tali valori sono in accordo con quelli osservati nel periodo 1987-88.

1.2.2 SOLUZIONE ANALITICA

In bacini semichiusi dotati di un'imboccatura e di una variazione del livello della superficie libera dovuta alla marea, è possibile studiare il fenomeno dell'andamento nel tempo della portata che attraversa l'imboccatura mediante una semplice soluzione analitica, valida nell'ipotesi che di trascurare le dissipazioni di energia indotte dall'attrito al fondo, dalle condizioni laterali e dalla

turbolenza. Utilizzando l'equazione di continuità, la portata che attraversa l'imboccatura deve eguagliare la variazione del volume della massa idrica nel porto:

$$Q(t) = A * dZ/dt$$

ove Q(t) è la portata che attraversa l'imboccatura, A la superficie dello specchio acqueo nel porto e Z è il livello della superficie libera; t è il tempo.

Con l'ipotesi che le dissipazioni di energia sono nulle, è ragionevole assumere che i livelli della superficie libera all'interno e all'esterno del porto sono uguali, sebbene caratterizzati da un piccolo sfasamento.

Per una marea con periodo T e ampiezza M, i.e. $Z(t)=(M/2)\sin(2\pi t/T)$, si ottiene facilmente:

$$Q(t) = (\pi M*A/T) * \cos(2\pi t/T) = Qmax * \cos(2\pi t/T)$$

ove Qmax ($=\pi M*A/T$) è il valore massimo della portata che attraversa l'imboccatura che si verifica in corrispondenza del valore medio della marea, sia con portata entrante che con portata uscente dal bacino portuale (riempimento-svuotamento). In corrispondenza dei valori massimo e minimo della marea, le portate che attraversano l'imboccatura sono nulle.

La **Tabella 9** mostra i risultati ottenuti con l'applicazione del semplice modello analitico qui descritto per lo specchio acqueo interno del porto di Bari, nella condizione attuale e in quella futura e per una marea astronomica semi diurna con T = 12 e h = 43,200 s e per una variazione mareale di 0,60 m. La Tabella 3 mostra anche i risultati in termini di velocità massima ottenuti nell'ipotesi che l'imboccatura venga attraversata da una corrente uniforme (larghezza = 250 m, profondità = 13 m).

Si osserva che ad una riduzione della superficie dello specchio acqueo pari al 13,25 %, conseguente alla realizzazione delle nuove opere in variante al PRP vigente, corrisponde una riduzione analoga della portata e della velocità che attraversa l'imboccatura del porto.

Tabella 9. Valori della portata massima e della velocità che attraversa l'imboccatura portuale (scenario attuale e futuro). Soluzione analitica

	Attuale	Futura
Area (m2)	2,271,411	1,970,428
Qmax (m3/s)	99.1	86.0
Vmax (cm/s)	3.05	2.65

1.2.3 SIMULAZIONI CON MODELLO NUMERICO

L'escursione di marea è piccola rispetto alla profondità, pertanto si può ipotizzare una variazione lineare della portata indotta dalla variazione mareale nel bacino portuale. Sotto tale ipotesi, il campo delle velocità che si verifica per escursioni di marea pari a 0,4 e 0,2 m può essere scalato di 2/3 e 1/3, rispettivamente.

Per una marea semi-diurna con periodo di 12 ore e escursione 0,60 m, la Figura 3 mostra il campo delle velocità (mediata lungo la verticale) in condizione di portata massima in ingresso. La Figura 4 si riferisce, per condizioni analoghe, alla condizione di portata massima in uscita. Per entrambe le Figure, quanto illustrato si riferisce ai livelli intermedi nell'escursione di marea. Una migliore rappresentazione del campo delle velocità si ha in Figura 5, ove è mostrato l'andamento delle linee di corrente; tale rappresentazione è utile soprattutto ad individuare le aree che presentano un maggiore tempo di ricambio delle acque. Dalle Figure si osserva la vicinanza delle linee di corrente e quindi una maggiore velocità in prossimità dell'imboccatura. Si osserva anche che nello scenario futuro le velocità con cui i volumi idrici attraversano l'imboccatura, sia in ingresso che in uscita, risultano minori rispetto allo scenario attuale.

Allo scopo di ottenere risultati quantitativi, è stata individuata una sezione in corrispondenza dell'imboccatura e 5 punti di controllo (1 al di fuori del bacino, 1 all'imboccatura e 3 interni al bacino) ove sono stati ottenuti i valori della superficie libera e della velocità (**Figura 25**). Tali valori sono discussi nel seguito:

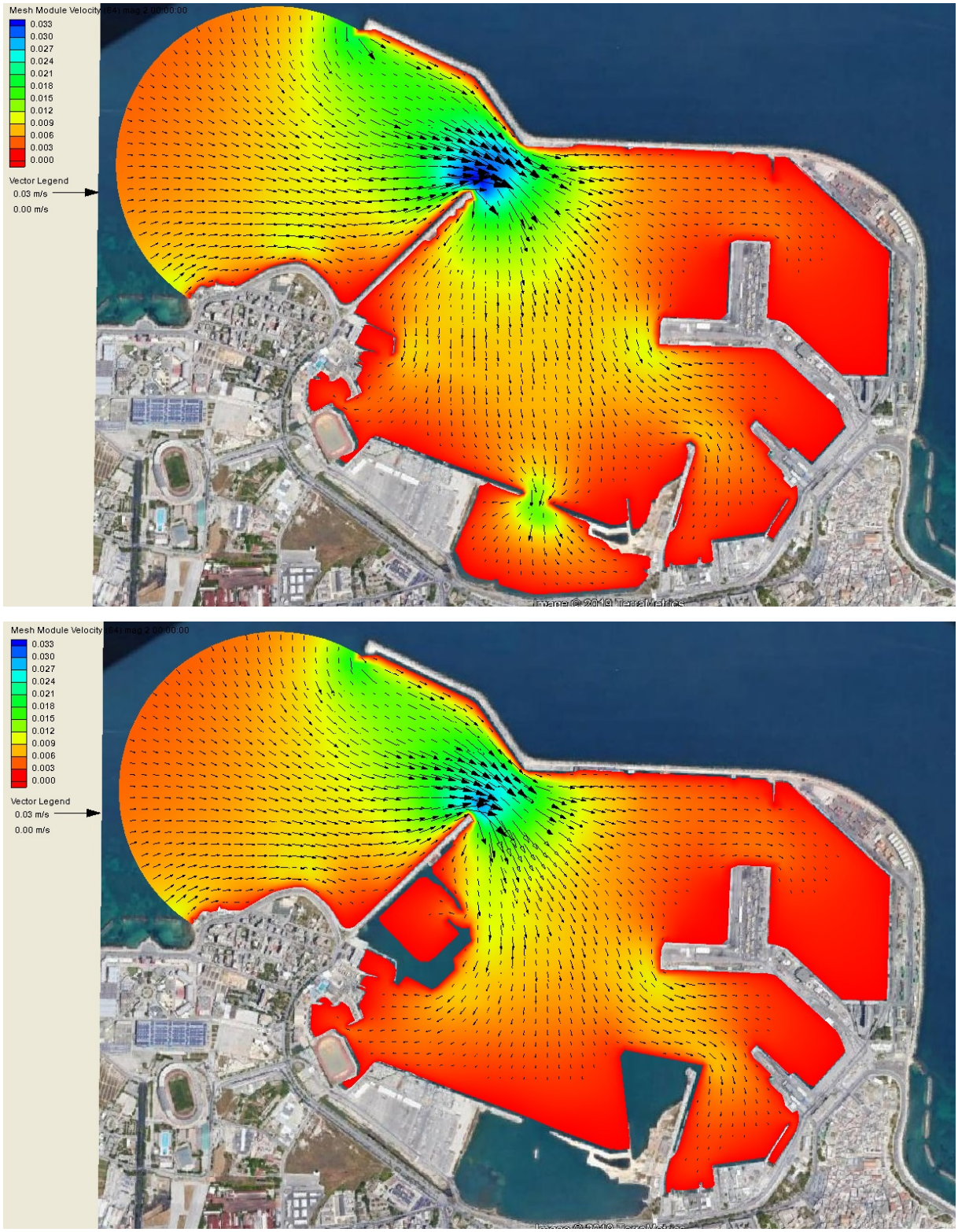


Figura 22. Velocità della corrente di marea (T=12 h, M=0.60 m). Fase di flusso. Configurazione attuale (su) e futura (giù)

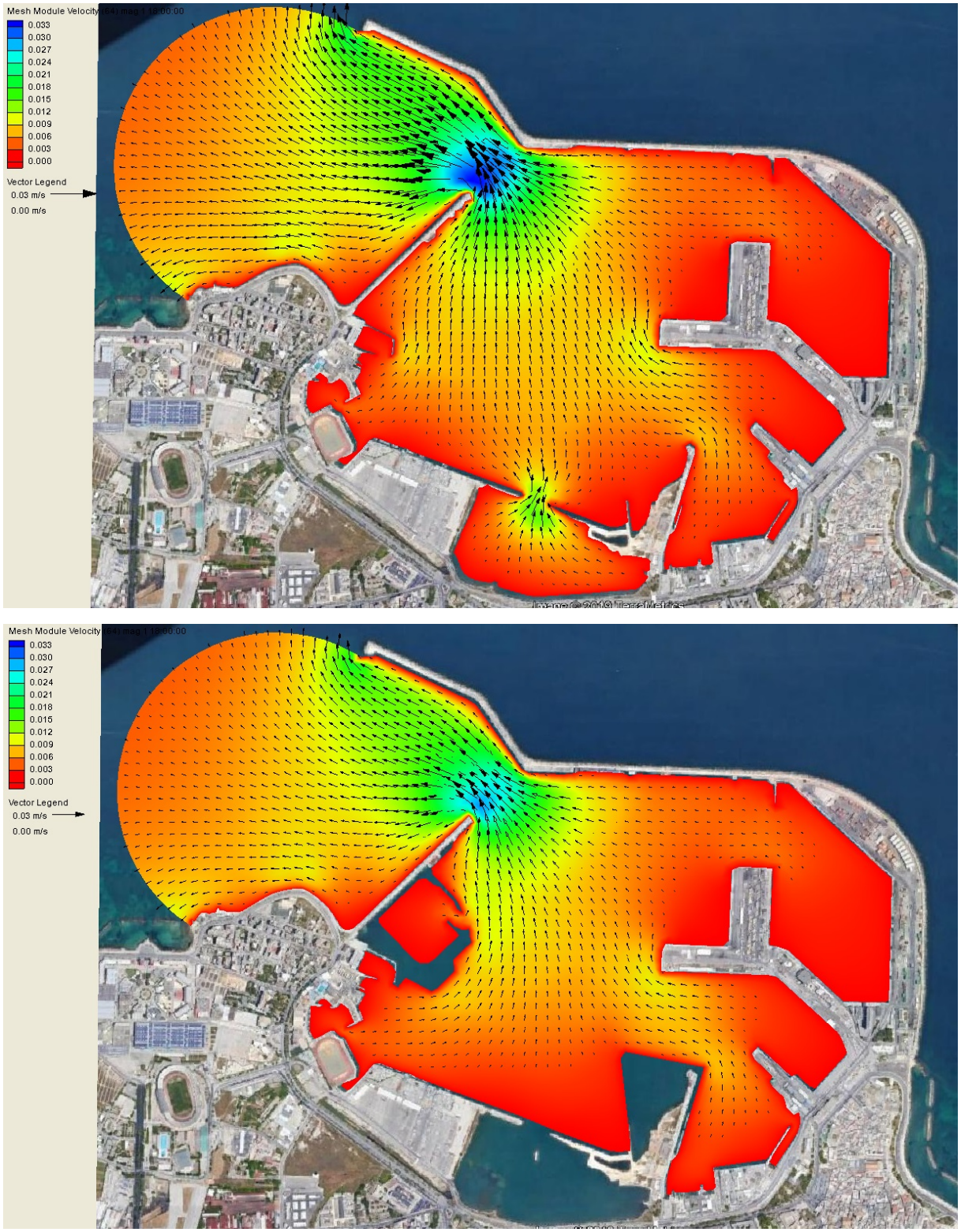


Figura 23. Velocità della corrente di marea (T=12 h, M=0.60 m). Fase di riflusso. Configurazione attuale (su) e futura (giù)

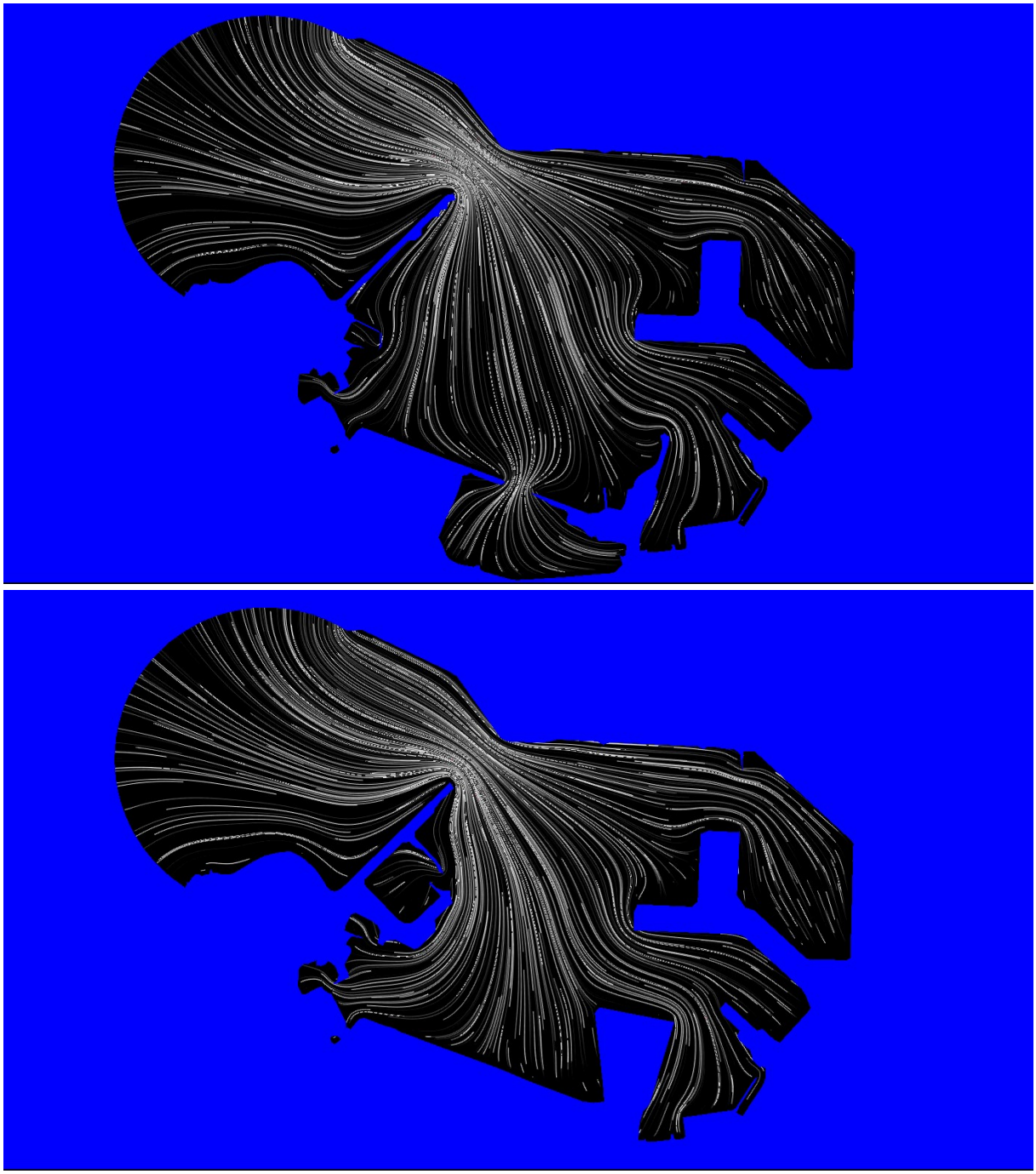


Figura 24. Linee di corrente indotte dalla marea. Fasi di flusso e riflusso. Configurazione attuale (su) e futura (giù)

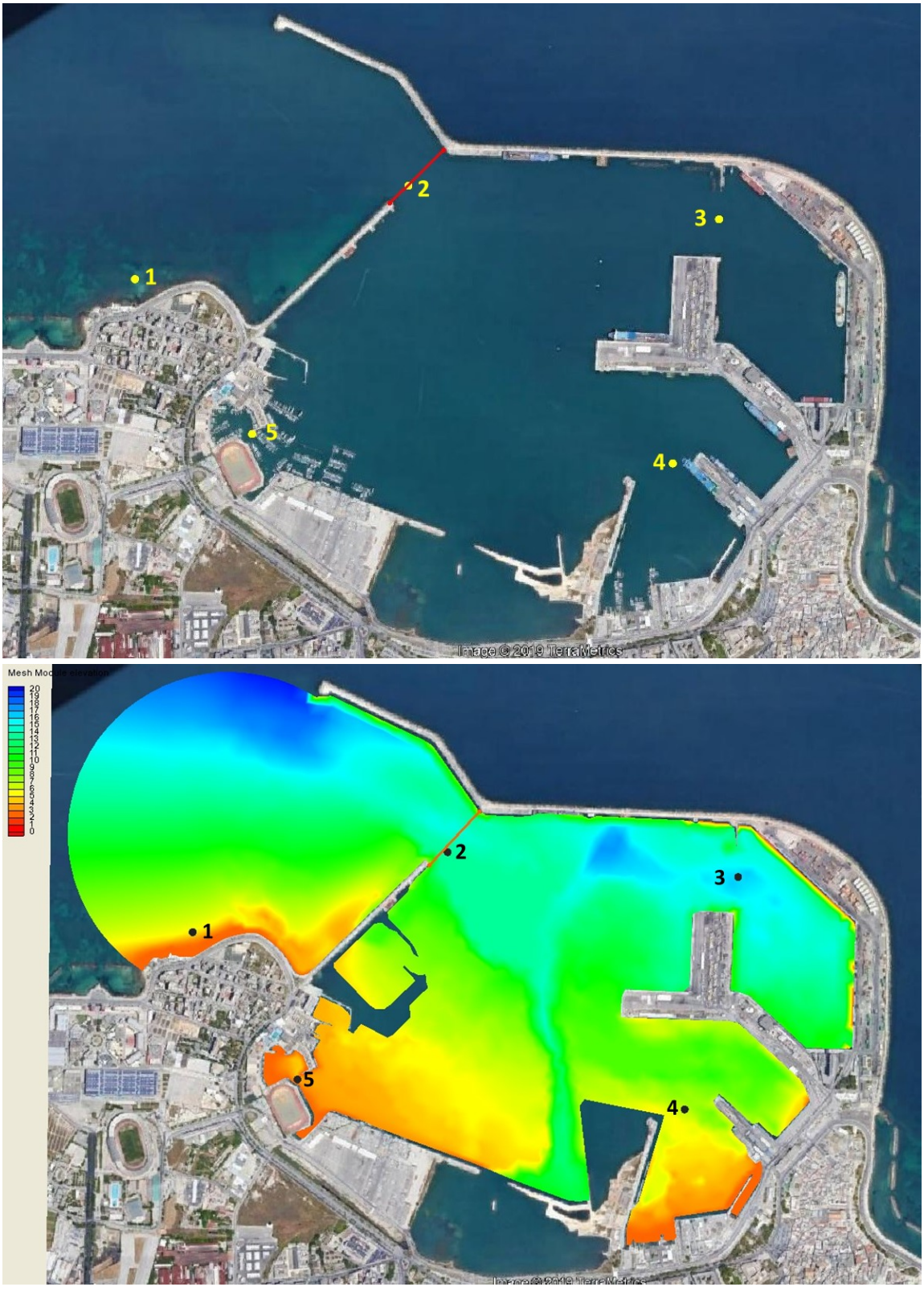


Figura 25. Sezione e 5 punti di controllo definiti nel dominio di calcolo: configurazione attuale (su) e futura (giù)

1.2.4 ANALISI DEI RISULTATI

Imboccatura

Per la situazione attuale, la **Figura 26** mostra l'andamento della profondità e della velocità lungo la sezione individuata all'imboccatura, in fase di flusso (ingresso dell'onda di marea) e di riflusso (uscita dell'onda di marea). Si nota che la velocità dell'acqua subisce un incremento più verso la testata del molo San Cataldo. Ciò è dovuto a effetti non lineari indotti dalla presenza di una maggiore massa d'acqua nelle aree (sia esterna che interna al porto) lungo il molo San Cataldo.

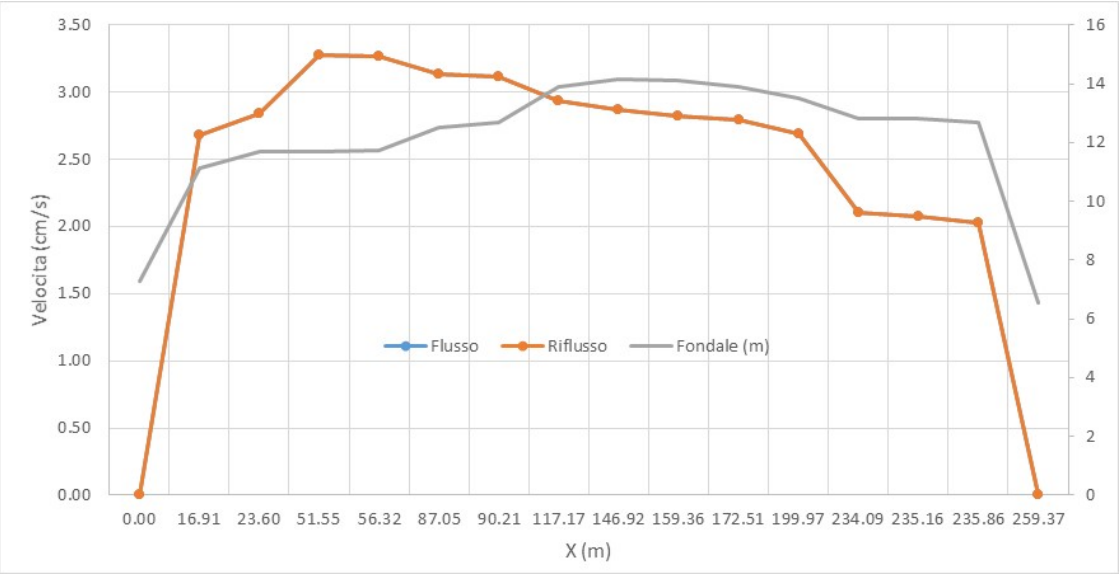


Figura 26. Andamento della profondità e della velocità lungo la sezione individuata all'imboccatura, in fase di flusso (ingresso dell'onda di marea) e di riflusso (uscita dell'onda di marea), nella configurazione attuale. X=0 molo San Cataldo, X=250 molo foraneo

La **Figura 27** mostra l'andamento della velocità lungo la sezione individuata all'imboccatura, in fase di flusso (ingresso dell'onda di marea) e di riflusso (uscita dell'onda di marea), nella configurazione attuale e in quella futura; da essa si osserva che lo scenario futuro determina una riduzione dei valori delle velocità in corrispondenza dell'imboccatura.

La riduzione di velocità osservata è riscontrata anche dall'andamento nel tempo della superficie libera e della velocità in corrispondenza del punto 2 (**Figura 28**) posto nel mezzo dell'imboccatura, ove si verificano differenze tra i valori dell'andamento nel tempo della superficie libera per configurazione attuale e futura. Dalla Figura 9 si può osservare che i valori della velocità sono nulli in corrispondenza dei livelli di alta e bassa marea.

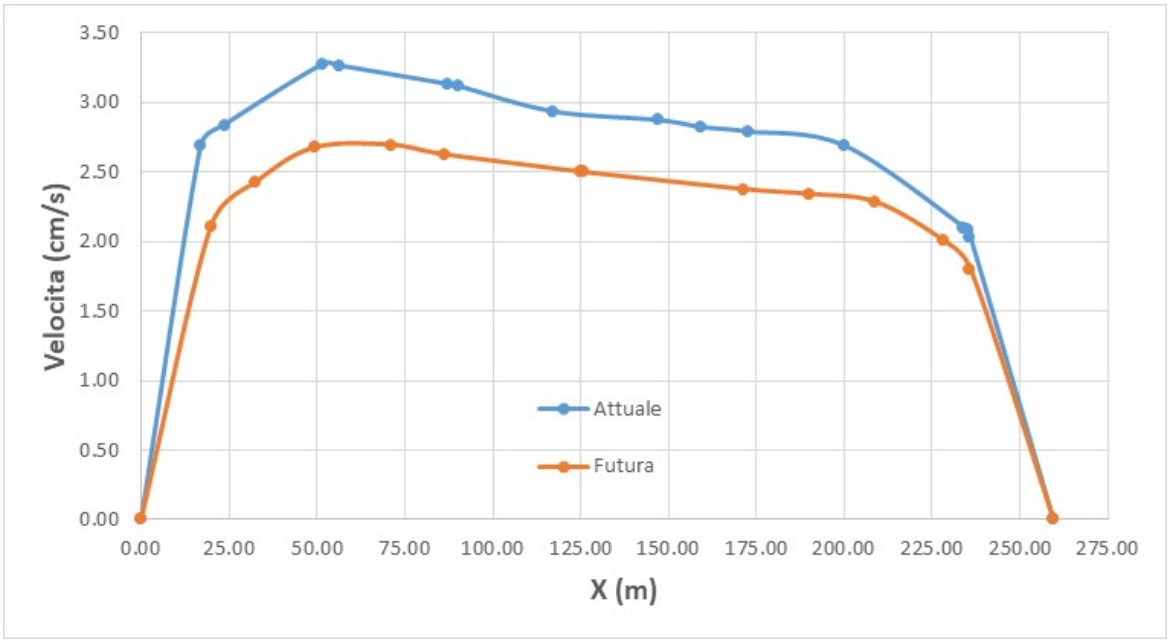


Figura 27. Andamento della velocità lungo l'imboccatura in condizione di massimo flusso/reflusso, nelle configurazioni attuale e futura.
X=0 molo di San Cataldo, X=250 molo foraneo

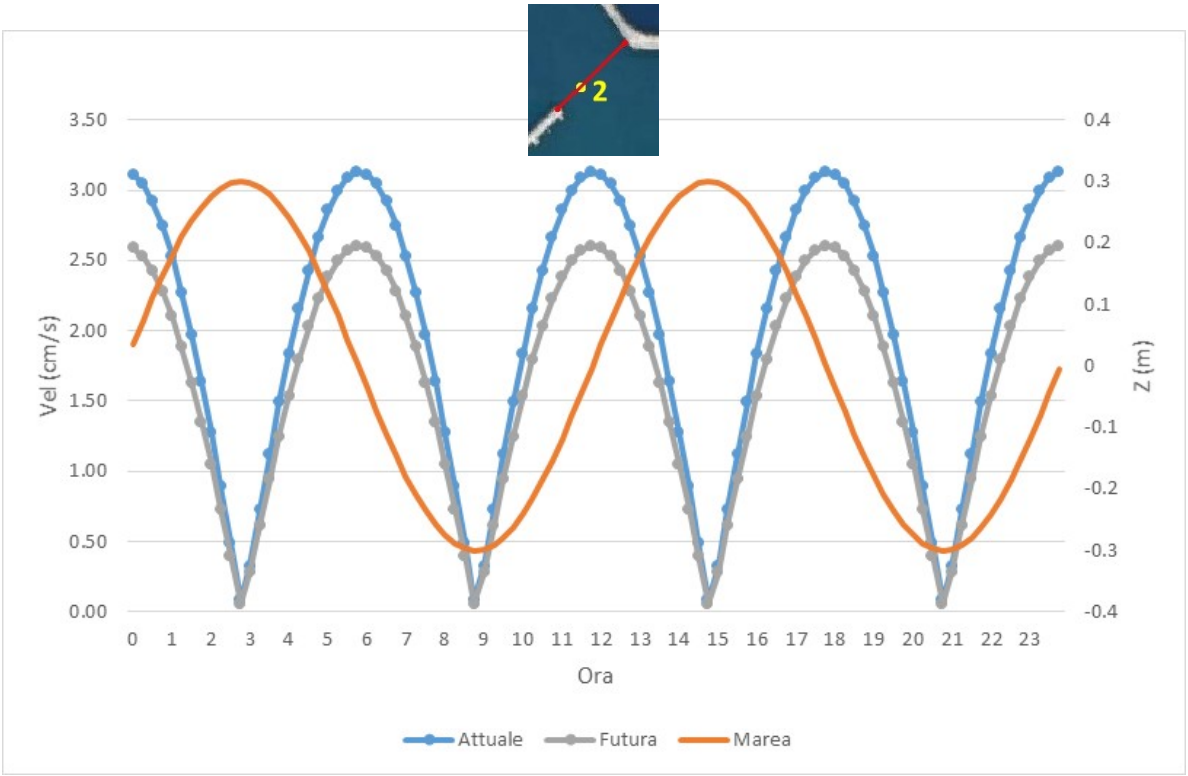


Figura 28. Andamento nel tempo della superficie libera e della velocità al Punto 2 (nel mezzo dell'imboccatura) nelle configurazioni attuale e futura

Come mostrato dal calcolo effettuato con il modello analitico (teorico), una riduzione della superficie dello specchio acqueo pari a 13,25% induce un'altrettanta riduzione percentuale della portata e della velocità in corrispondenza dell'imboccatura.
La **Tabella 10** mostra un confronto tra i risultati di portata massima e velocità in corrispondenza dell'imboccatura, ottenuti mediante il modello analitico e mediante il modello numerico, nelle configurazioni attuale e futura; in sintesi, si può dire:

- I valori della portata massima che attraversa l'imboccatura, calcolati con il modello analitico (teorico) risultano maggiori rispetto a quelli calcolati con il modello numerico, del 12 %, nel caso dello scenario attuale, e dell'11%, nel caso dello scenario futuro; questa differenza è giustificata dal fatto che il modello analitico trascura le dissipazioni di energia per attrito al fondo, ai bordi laterali e per turbolenza.
- I valori massimi della velocità ottenuti con il modello numerico risultano maggiori di quelli ottenuti con il modello analitico, nonostante le portate siano minori dell'11%; questa differenza è giustificata dal fatto che la distribuzione di velocità lungo l'imboccatura non è uniforme (**Figura 26** e **Figura 27**), come è invece assunto dal modello analitico.

Tabella 10. Confronto tra i risultati ottenuti mediante il modello analitico (teorico) e mediante il modello numerico (modello) della portata massima e della velocità in corrispondenza dell'imboccatura nelle configurazioni attuale e futura

	Attuale		Futura	
	Teorico	Modello	Teorico	Modello
Area (m2)	2,271,411		1,970,428	
Qmax (m3/s)	99.1	87.3	86.0	76.5
Vmax (cm/s)	3.05	3.28	2.65	2.69

Punti di controllo

Nel seguito, si illustrano i valori del livello della superficie libera e della velocità ottenuti ai 5 punti di controllo, per le condizioni attuale e futura:

- All'esterno del bacino portuale (Punto 1, **Figura 29**). A causa della minore portata in ingresso e in uscita attraverso l'imboccatura, le velocità massime risultano leggermente

inferiori nello scenario futuro (0.52 cm/s) rispetto a quello attuale (0,57 cm/s). Queste differenze nei valori della velocità si annullano allontanandosi dall'imboccatura. Occorre notare che, nell'area esterna al porto, le velocità indotte dall'escursione di marea risultano molto minori rispetto a quelle indotte dalle onde e dal vento.

- Darsena di Levante (Punto 3, **Figura 30**). Non si osservano modifiche di rilievo al campo delle velocità. Le velocità massime raggiungono il valore 0,32 cm/s.
- Molo San Vito/Darsena Vecchia (Punto 4, **Figura 31**). A causa della riduzione del passaggio a quest'area del porto conseguente alla costruzione delle banchine a Molo Pizzoli, le velocità massime risultano maggiori nello scenario future (0.59 cm/s) rispetto all'attuale (0.45 cm/s).
- Porto Turistico (Punto 5, **Figura 32**). Non si osservano modifiche di rilievo al campo delle velocità che risultano modeste (minori di 0.30 cm/s).

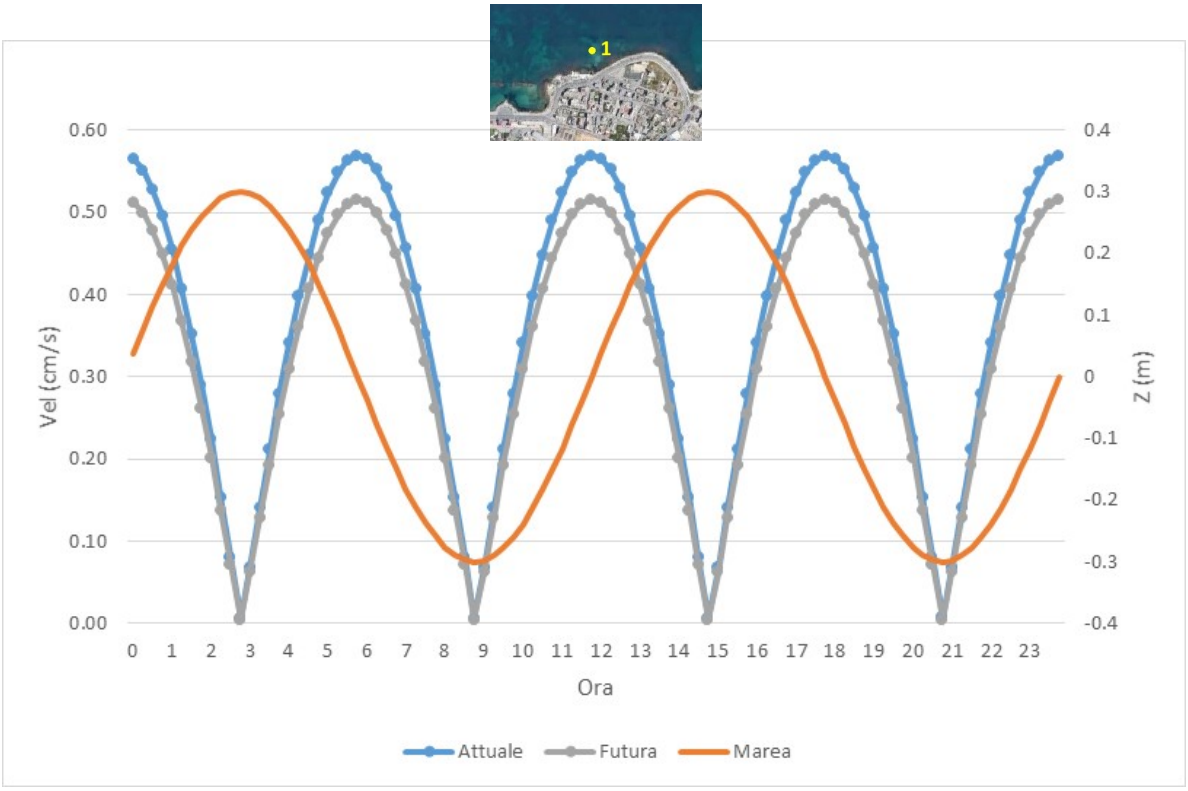


Figura 29. Andamento nel tempo del livello della superficie libera e della velocità al Punto 1 (esterno al bacino), nelle configurazioni attuale e futura

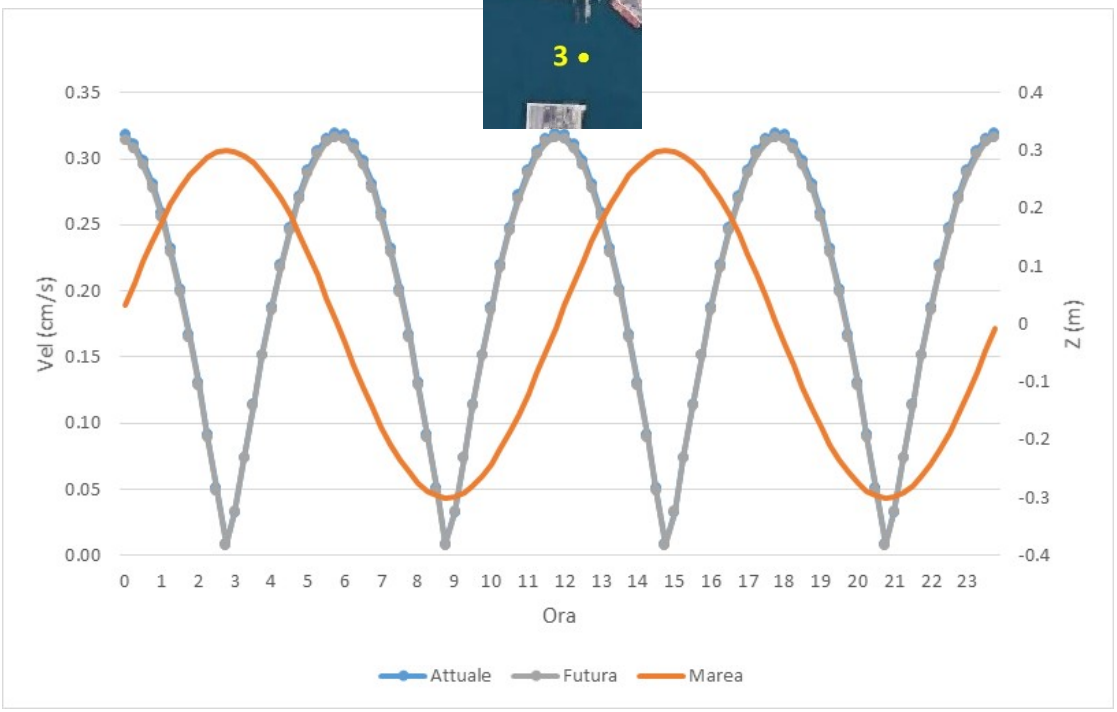


Figura 30. Andamento nel tempo del livello della superficie libera e della velocità al Punto 2 (esterno al bacino), nelle configurazioni attuale e futura

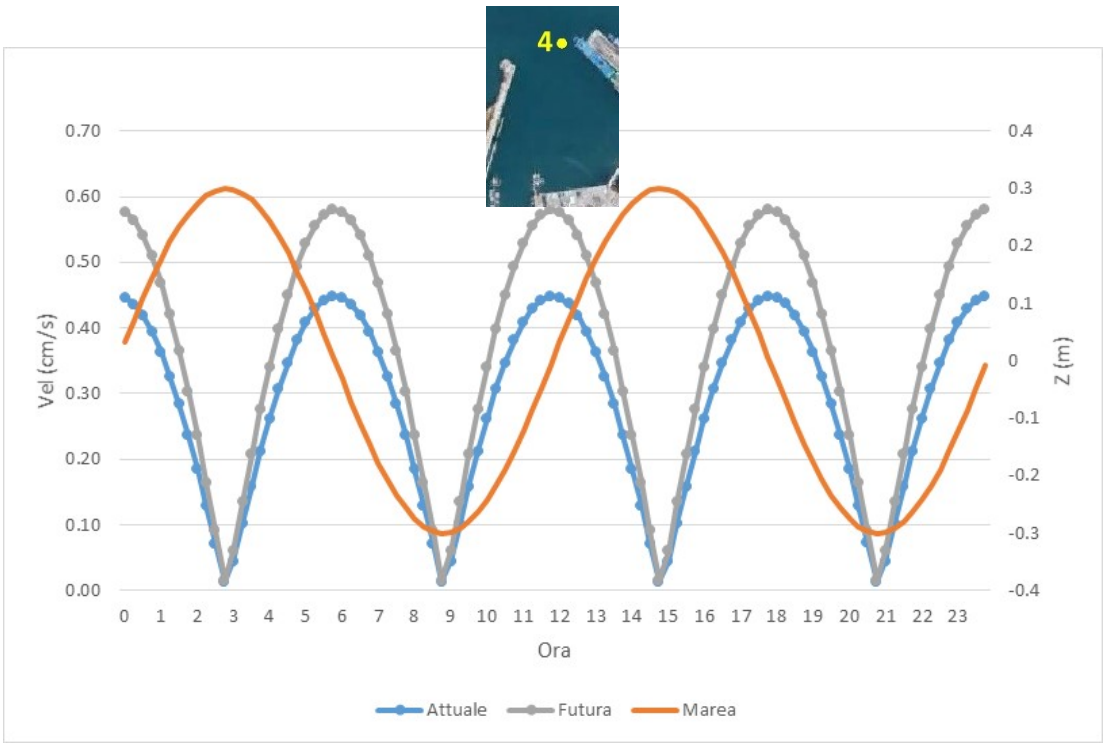


Figura 31. Andamento nel tempo del livello della superficie libera e della velocità al Punto 4 (esterno al bacino), nelle configurazioni attuale e futura

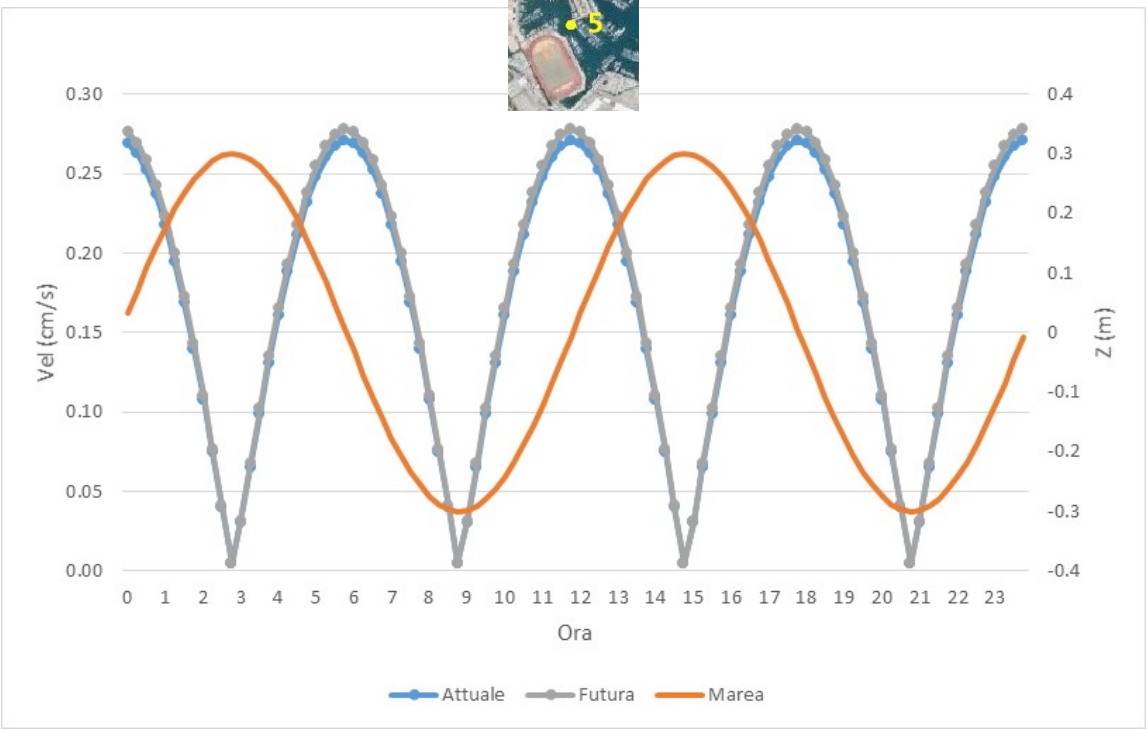


Figura 32. Andamento nel tempo del livello della superficie libera e della velocità al Punto 5 (esterno al bacino), nelle configurazioni attuale e futura

1.2.5 TEMPI DI RESIDENZA NEL PORTO

Esistono differenti definizioni di tempo di residenza (o tempo di ricambio delle acque) nel bacino portuale. La più popolare, nell'ipotesi che agisca la sola escursione di marea, è che il tempo di residenza è pari al numero di cicli di marea dato da V/Qtot, ove V è il volume d'acqua contenuto nel porto e Qtot è la portata totale d'acqua che entra ed esce dal porto durante un ciclo di marea.

Nell'ipotesi che la portata in corrispondenza dell'imboccatura abbia andamento sinusoidale ($Q(t)=Qmax * \cos(2\pi t/T)$), si può ottenere, dopo un'integrazione nel tempo estesa alla metà del ciclo mareale, che $Qtot = T*Qmax/\pi$, dove T (=12 ore = 43,200 s).

La Tabella 5 riporta i tempi di residenza nel bacino portuale ottenuti per 3 valori di ampiezza della marea, nelle configurazioni presente e futura. I risultati mostrano un incremento del 9 % del tempo di residenza nel caso dello scenario futuro; ciò avviene perché una riduzione dell'13,25 % della superficie dello specchio acqueo del porto (e quindi della portata da marea che attraversa l'imboccatura) non è bilanciata dal solo 4,5 % di riduzione del volume d'acqua.

A seguito della verifica di un impatto modesto delle opere in variante sui tempi di residenza, si può dire che lo scenario futuro determina valori dei tempi di residenza nel bacino interno eccellenti dal punto di vista ambientale per il Mar Mediterraneo ove la soglia superiore è generalmente assunta pari a 28 giorni.

Tabella 11. Tempi di residenza del bacino interno del porto di Bari per diverse ampiezze di marea (M) nelle configurazioni attuale e futura

	Attuale			Futura			Variazione
	M=0.20 m	M=0.40 m	M=0.60 m	M=0.20 m	M=0.40 m	M=0.60 m	Fut /Att
Area (m2)	2,271,411			1,970,428			-13.25%
Volume (m3)	18,872,019			18,026,444			-4.48%
Qmax (m3/s)	29.1	58.2	87.3	25.5	51.0	76.5	-12.37%
Flusso ciclo mareale Qtot (m3)	400,154	800,307	1,200,461	350,650	701,300	1,051,951	-12.37%
Tempo di residenza (giorni)	**23.58**	**11.79**	**7.86**	**25.70**	**12.85**	**8.57**	9.00%

1.3 CIRCOLAZIONE INDOTTA DAL VENTO

Sotto l'azione del vento, la circolazione all'interno dei bacini portuali è ridotta; velocità di intensità non trascurabile si possono verificare solo in corrispondenza della superficie libera e con direzione coincidente con quella del vento.

Quanto appena detto è di particolare importanza; infatti, nel seguito, si mostrerà che il vento generalmente non contribuisce al ricambio dell'acqua nel porto.

Allo scopo di esaminare la circolazione indotta dal vento nel porto di Bari (attuale e futuro), sono state condotte le simulazioni seguenti, per le tre direzioni di maggiore rilievo, tutte per velocità del vento pari a 10 m/s (20 nodi) a 10 m di altezza sulla superficie del mare:

- Levante (vento da E, rappresentativo di Greco e anche di Scirocco): campo delle velocità (**Figura 33**) e linee di corrente (**Figura 34**).
- Libeccio (vento da SO): campo delle velocità (**Figura 35**) e linee di corrente (**Figura 36**).
- Maestro (vento da NO): campo delle velocità (**Figura 37**) e linee di corrente (**Figura 38**).

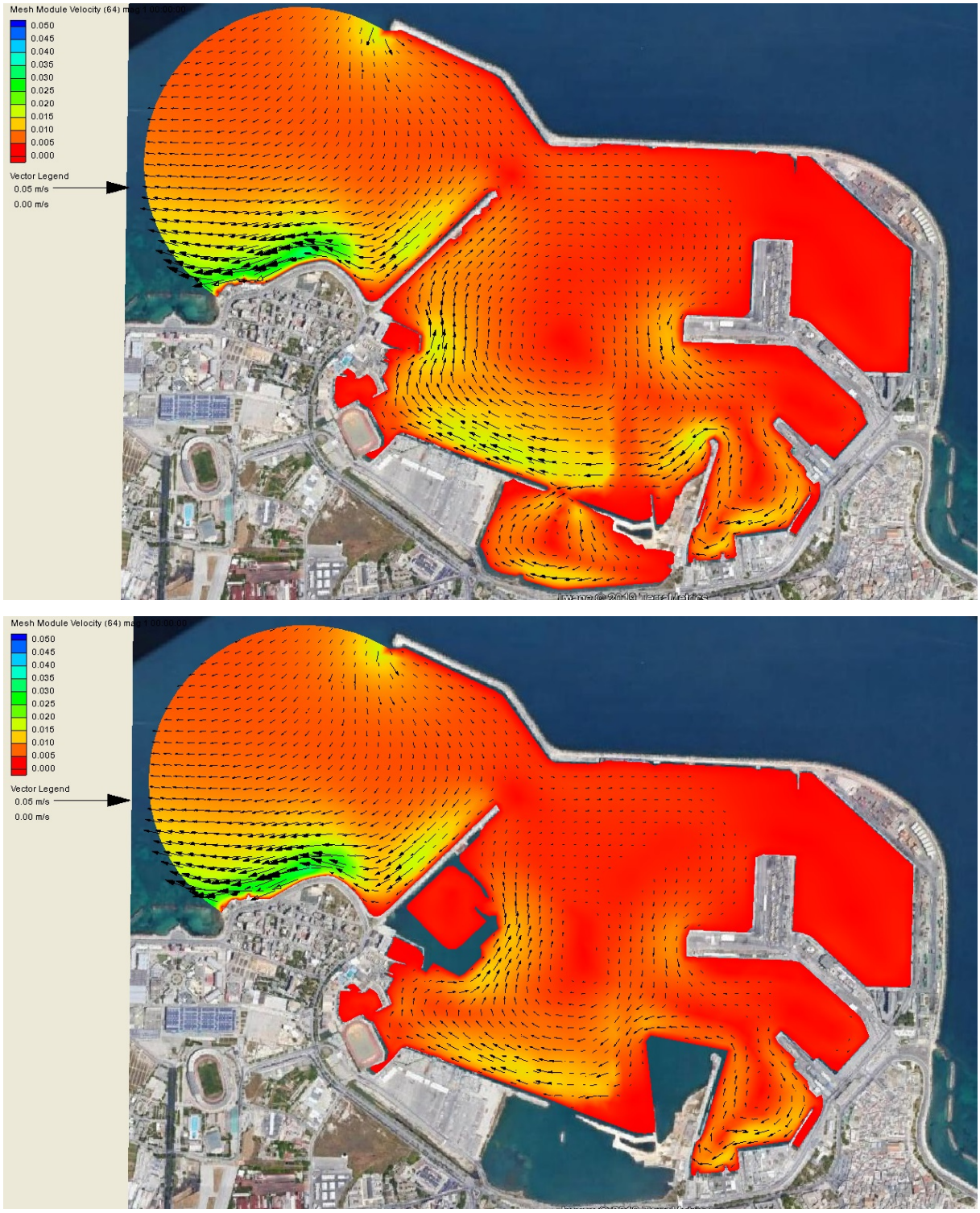


Figura 33. Velocità della corrente generata dal vento da E (10 m/s=20 kn). Configurazione attuale (su) e futura (giù)

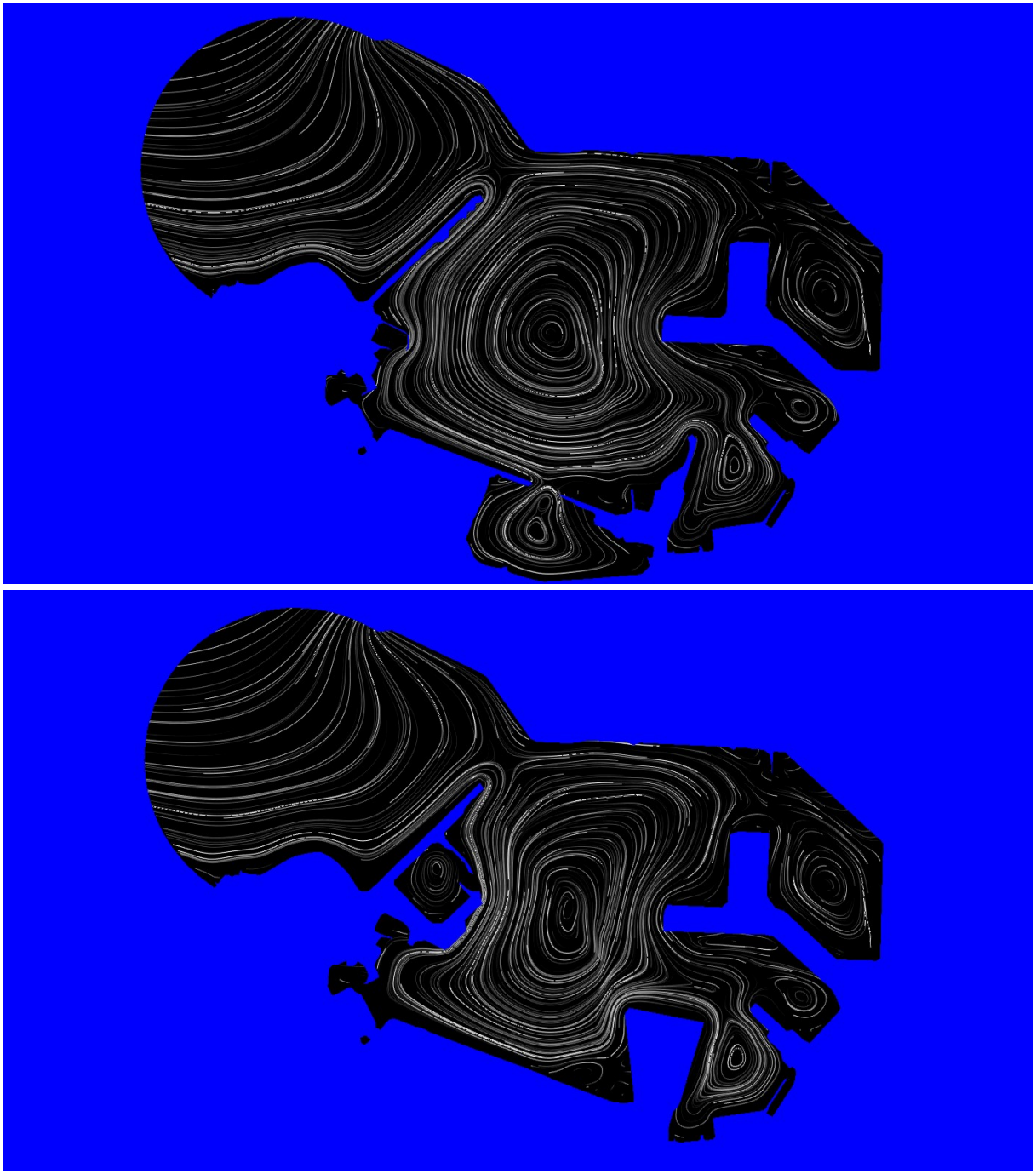


Figura 34. Linee di corrente generate dal vento da E. Configurazione attuale (su) e futura (giù)

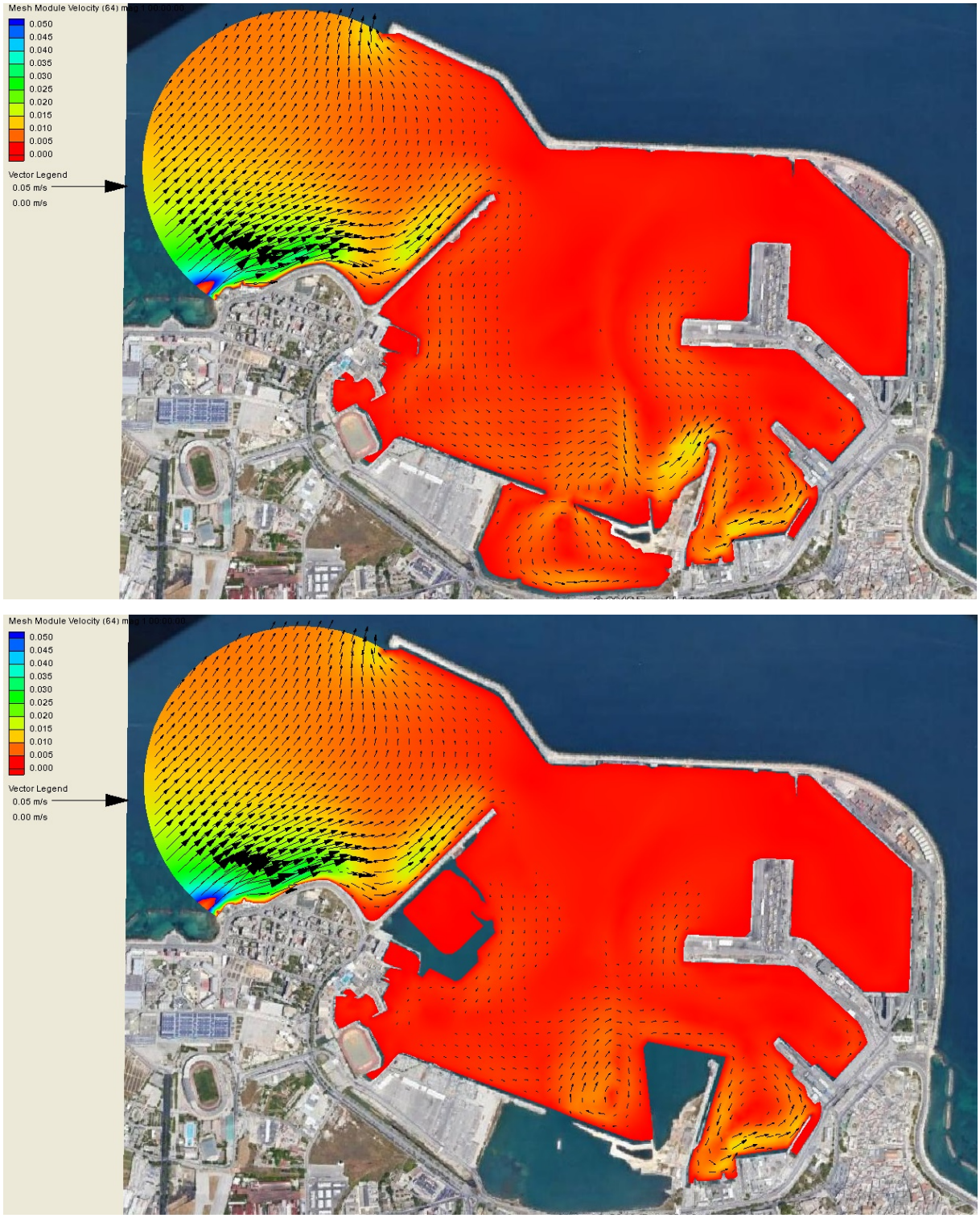


Figura 35. Velocità della corrente generata dal vento da SO (10 m/s=20 kn). Configurazione attuale (su) e futura (giù)

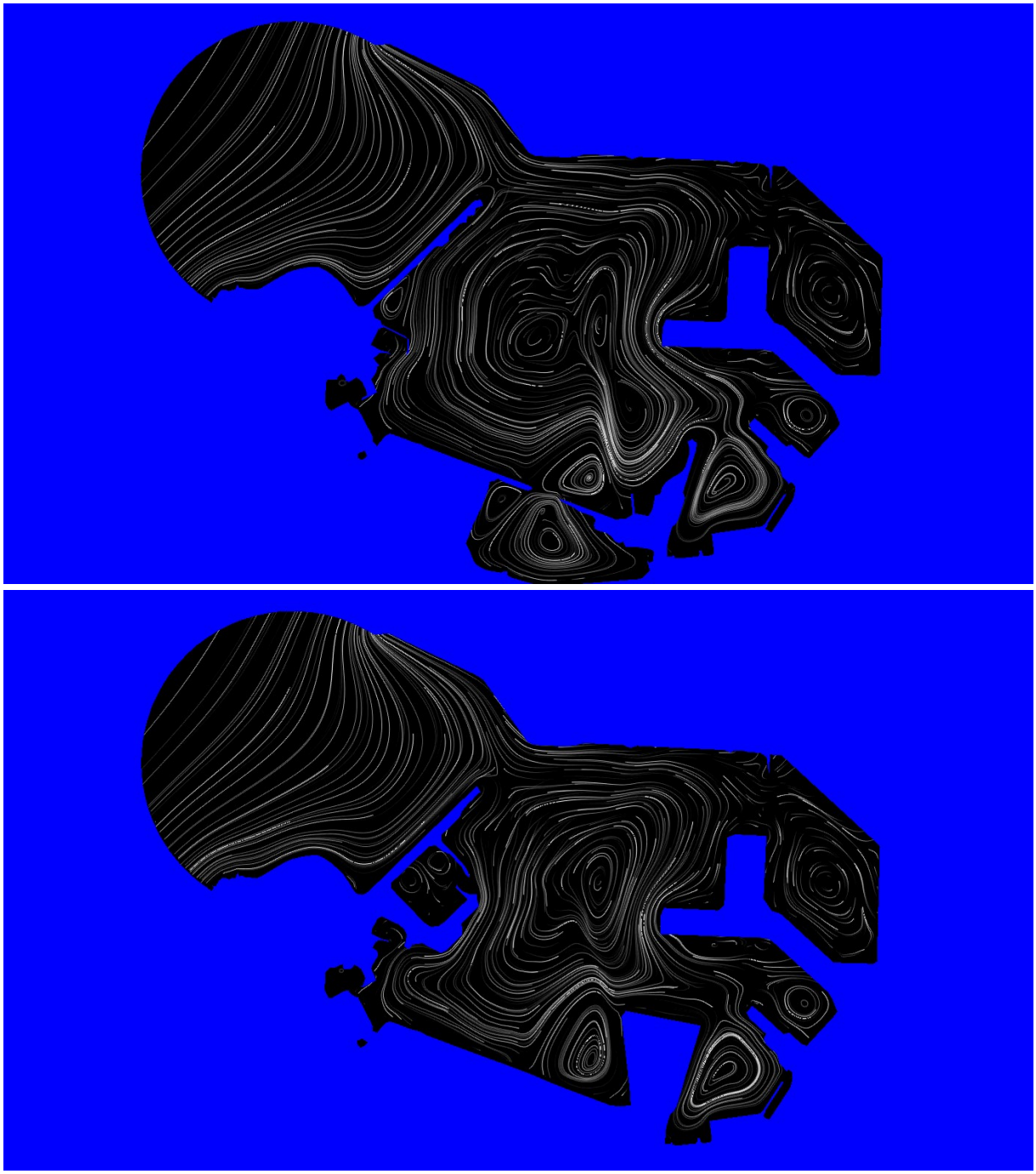


Figura 36. Linee di corrente generate dal vento da SO. Configurazione attuale (su) e futura (giù)

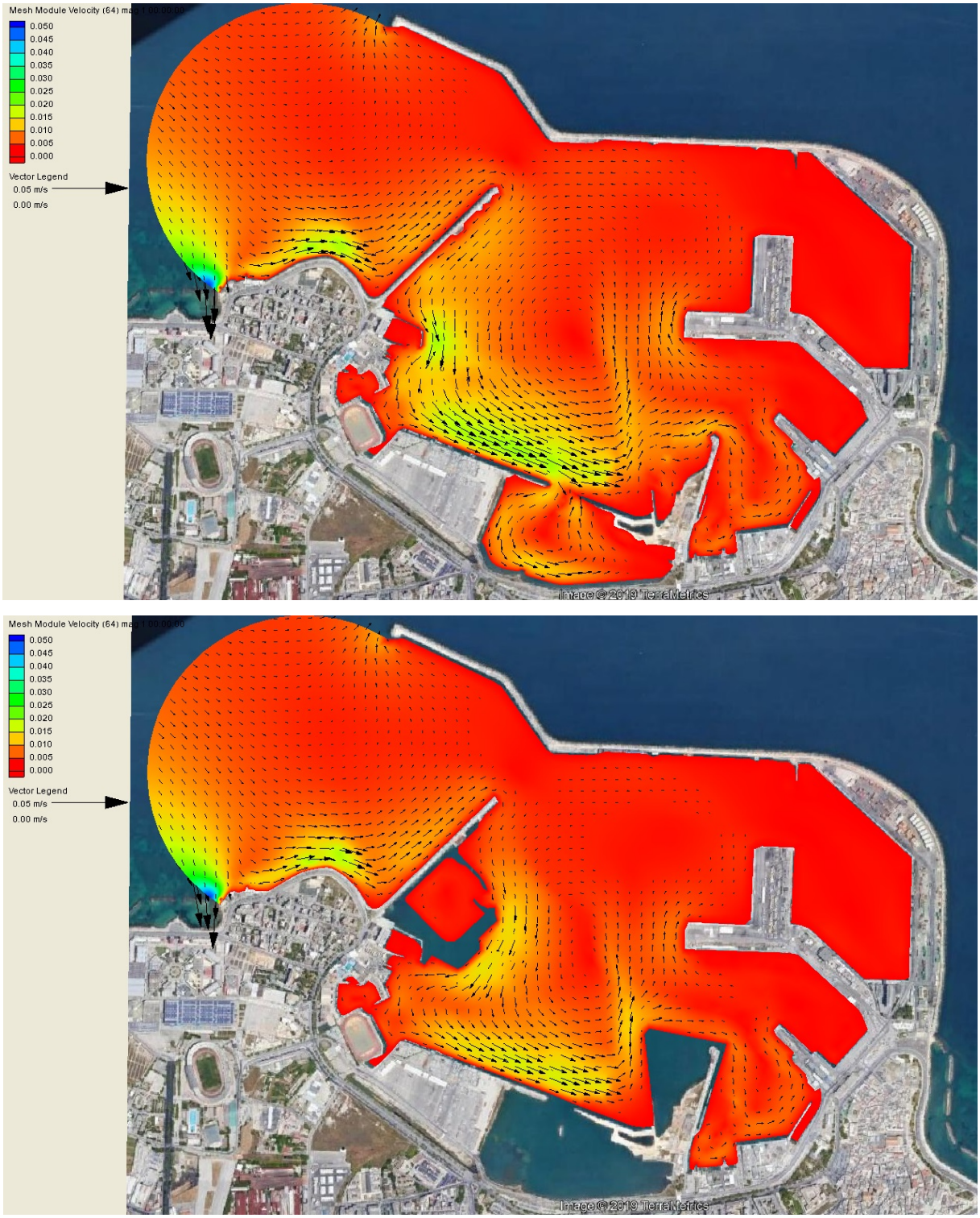


Figura 37. Velocità della corrente generata dal vento da NO (10 m/s=20 kn). Configurazione attuale (su) e futura (giù)

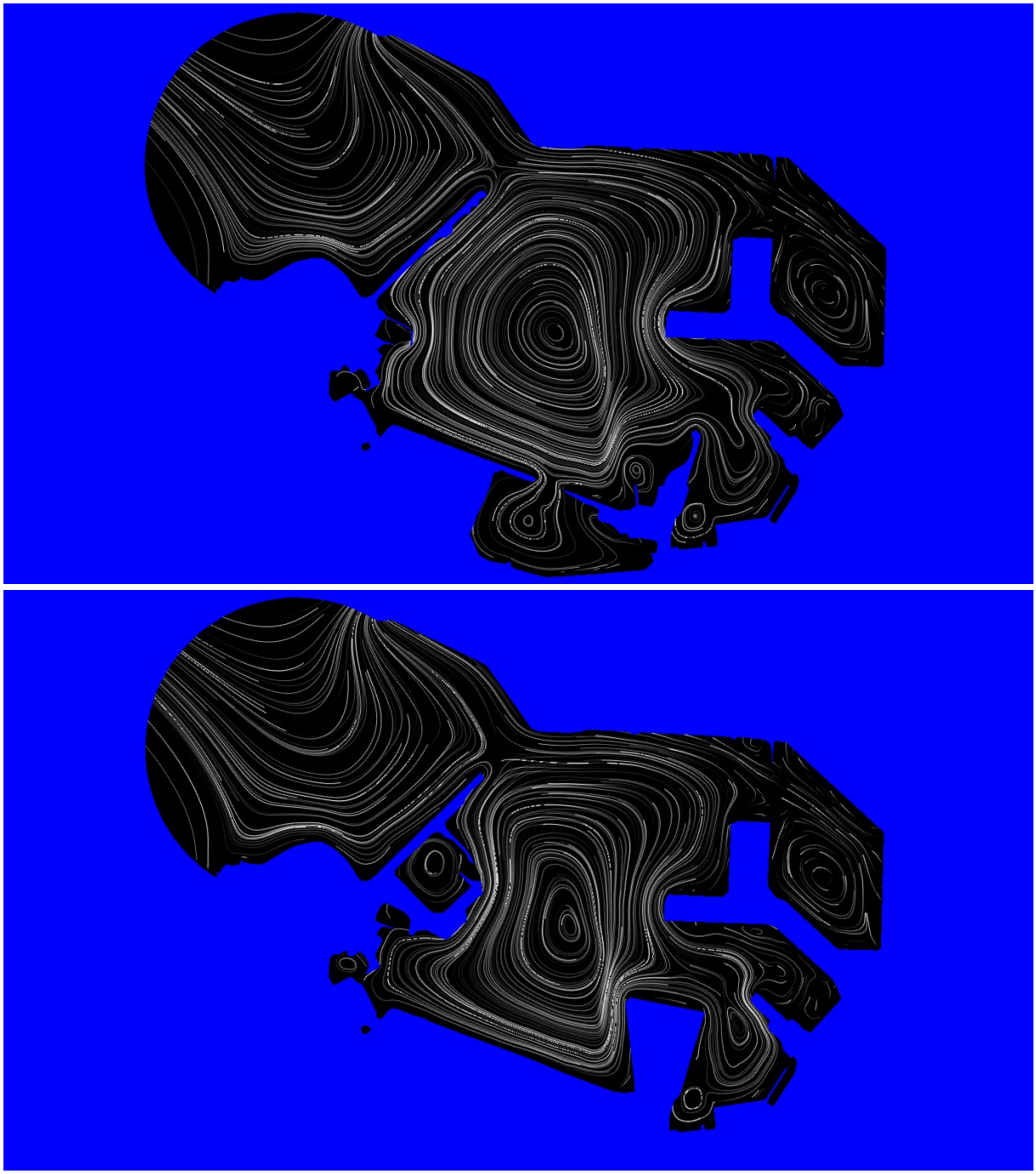


Figura 38. Linee di corrente generate dal vento da NO.
Configurazione attuale (su) e futura (giù)

Tutte le figure mostrano chiaramente lo schema della circolazione all'interno e all'esterno del bacino portuale che si genera per effetto dell'azione delle differenti direzioni del vento assunte.

Dalla valutazione dei risultati numerici si giunge alle seguenti conclusioni di maggiore rilevanza:

- Nello specchio acqueo interno, le velocità sono di modesta entità (minori di 2 cm/s in tutti i casi), e vortici caratteristici appaiono al centro del porto e nelle darsene. Non si osservano differenze di rilievo tra scenario presente e futuro.
- All'esterno del bacino portuale, le velocità sono di modesta entità (minori di 2 cm/s in tutti i casi), tranne dove la profondità è molto ridotta. Lo schema generale della circolazione (funzione della direzione del vento) è lo stesso, come se il porto fosse chiuso in corrispondenza dell'imboccatura; perciò, non si osservano differenze di rilievo tra scenario presente e futuro.
- Lo scambio di volume d'acqua tra bacino esterno e interno avviene attraverso l'imboccatura ed è trascurabile; pertanto, come atteso, si può dire che il vento non contribuisce al ricambio dell'acqua nel bacino portuale e neanche al suo tempo di residenza (tempo per il ricambio dell'acqua).

1.4 IMPATTO DELLE NUOVE OPERE SULLA IDRODINAMICA COSTIERA

1.4.1 ALL'INTERNO DEL BACINO PORTUALE

All'interno del bacino portuale, si è constatato che è solo la circolazione indotta dalla variazione mareale la forzante capace di determinare differenze tra scenario attuale e futuro. La circolazione indotta dal vento, invece, non determina differenze significative.

Le opere in variante determinano una riduzione della superficie dello specchio acqueo pari al 13,25% e le portate determinate dalla variazione mareale che attraversano l'imboccatura risultano ridotte del 12,4 %. Questa riduzione della portata si verifica generalmente nella maggior parte delle superfici del bacino portuale.

Poiché le opere in variante riducono il volume del bacino portuale di solo il 4,5 %, si verificherà un tempo di residenza (o di ricambio) del volume idrico di circa il 9 % superiore rispetto alla condizione attuale (**Tabella 12**).

Tuttavia, i tempi necessari al ricambio delle acque nel porto sotto l'azione di diverse escursioni di marea risultano soddisfacenti dal punto di vista ambientale: tra 1 e 3 settimane per le maree più piccole e più grandi, rispettivamente.

Tabella 12. Tempi di residenza del bacino interno del porto di Bari per diverse ampiezze di marea (M) nelle configurazioni attuale e futura.

	Attuale			Futura			Variazione
	M=0.20 m	M=0.40 m	M=0.60 m	M=0.20 m	M=0.40 m	M=0.60 m	Fut /Att
Area (m2)	2,271,411			1,970,428			-13.25%
Volume (m3)	18,872,019			18,026,444			-4.48%
Qmax (m3/s)	29.1	58.2	87.3	25.5	51.0	76.5	-12.37%
Flusso ciclo mareale Qtot (m3)	400,154	800,307	1,200,461	350,650	701,300	1,051,951	-12.37%
Tempo di residenza (giorni)	**23.58**	**11.79**	**7.86**	**25.70**	**12.85**	**8.57**	9.00%

1.4.2 ALL'ESTERNO DEL BACINO PORTUALE

Le opera in variante al PRP vigente non determinano alcun impatto all'esterno del bacino portuale; a supporto di quanto detto, si riportano alcune tra le considerazioni maggiori:

- Non verranno effettuate lavorazioni (strutture, dragaggi, riempimenti, etc..) in quest'area; pertanto, non si avranno modifiche geometriche o batimetriche.
- Il moto ondoso, che rappresenta la forzante di maggior rilievo per la dinamica litoranea, in quest'area non subirà alcuna modifica.
- Non si sono osservate modifiche allo schema di circolazione indotte dall'azione del vento provenienti da differenti direzioni.
- E' stata riscontrata una lieve riduzione delle velocità indotte dalla marea (meno del 10 %) in prossimità dell'imboccatura; tuttavia, occorre notare che tali velocità sono di piccola entità (meno di 1 cm/s) e non sono in grado di determinare modifiche allo schema di circolazione generale e al trasporto dei sedimenti.

(prof. ing. Giuseppe R. Tomasicchio)

Bari, dicembre 2019