



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA
IDRAULICA, MARITTIMA, AMBIENTALE E GEOTECNICA
IMAGE



COMUNE DI VENEZIA

**VALUTAZIONI PRELIMINARI DEGLI EFFETTI
IDRODINAMICI DOVUTI ALL'INCREMENTO DELLE
RESISTENZE LOCALIZZATE ALLE BOCCHE DI PORTO
DELLA LAGUNA DI VENEZIA**

Padova – Luglio 2006

1 Premesse

Il Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Marittima, Ambientale e Geotecnica (IMAGE) dell'Università degli Studi di Padova nell'ambito della convenzione con il Comune di Venezia del 20 maggio 2005, tramite il Prof. D'Alpaos e il suo gruppo di ricerca ha condotto uno studio finalizzato ad esaminare gli effetti idrodinamici dovuti all'incremento delle resistenze localizzate per mezzo dell'inserimento di opere fisse alle bocche di porto della laguna di Venezia. Le indagini hanno consentito, da un lato, di valutare le modifiche che le opere previste inducono sul campo idrodinamico locale in termini di velocità massime e portate fluenti attraverso le bocche stesse, dall'altro, di quantificare gli effetti delle opere sul sistema lagunare in termini di riduzione dei livelli massimi di marea e penalizzazione degli scambi mare-laguna.

Le configurazioni prese in esame sono state definite dal Committente. La configurazione attuale delle bocche considera, ovviamente, la batimetria esistente e tutte le opere già ultimate o in fase avanzata di realizzazione.

In un precedente rapporto sono state schematizzate tre diverse configurazioni delle bocche considerando il rialzo dei fondali tra i moli e l'inserimento di opere fisse via via più importanti in numero e dimensione. Tutte queste configurazioni sono state analizzate considerando come condizioni al contorno maree sinusoidali di diversa ampiezza.

Nel presente rapporto si è considerata, unitamente alla configurazione attuale delle bocche (di seguito indicata anche come "stato 0"), solamente la più completa tra le configurazioni proposte che di seguito verrà indicata come configurazione finale di progetto o "stato 3". Essa prevede, unitamente all'innalzamento dei fondali tra i moli, la realizzazione di pennelli trasversali ed il restringimento del varco di accesso a mare mediante il prolungamento dei moli stessi.

L'analisi è stata condotta considerando le schematizzazioni delle due diverse configurazioni assunte per le bocche direttamente inserite nel raffinato reticolo di calcolo che riproduce, con circa 52000 nodi e 100000 maglie, l'intero bacino lagunare veneziano ed il tratto di mare Adriatico antistante alle bocche stesse (Figura 1). In questo modo l'unica condizione al contorno utilizzata riguarda l'andamento dei livelli registrati a mare ed è imposta ai nodi che delimitano il lato più al largo del reticolo di calcolo. Non è infine necessario introdurre alcuna ipotesi sui livelli interni, come sarebbe invece necessario qualora l'analisi si fosse concentrata esclusivamente sulle bocche. Nelle simulazioni condotte si sono

considerate 18 maree reali fornite dal Committente e concordate, ancora nel 1999, dal Comune di Venezia con il Magistrato alle Acque ed il Consorzio Venezia Nuova per le elaborazioni relative ai modelli di propagazione delle maree.

2 Configurazioni esaminate

2.1 Configurazione attuale (stato 0)

Come accennato in precedenza, la configurazione attuale delle bocche considera la batimetria esistente e tutte le opere già ultimate o in fase avanzata di realizzazione.

La Figura 2 riporta, mediante una mappa con scala a colori, le quote del fondo per le tre bocche di porto nella configurazione attuale. Nella bocca di Lido sono presenti sia l'isola artificiale realizzata alla biforcazione tra il Canale San Nicolò ed il Canale di Treporti sia i bacini di calma funzionali alla realizzazione della conca di navigazione posta all'incile del Canale di Treporti. Il fondale è caratterizzato dalla presenza di un canale con profondità superiore ai 10 m lungo il molo sud e da una zona con profondità di circa 5 m nella porzione di bocca più vicina al molo nord.

La bocca di Malamocco presenta, invece, profondità medie più uniformi intorno ai -16 m s.m.m. (metri sul livello medio del mare). Si notano la presenza delle opere fisse in avanzata fase di realizzazione, relative alla conca di navigazione posta lungo il molo sud che è stato opportunamente riposizionato nel tratto più interno, ed il molo foraneo di protezione dalle mareggiate di scirocco.

La bocca di Chioggia, infine, è caratterizzata da fondali di profondità mediamente uniforme intorno ai -8.0 m s.m.m. e dalla presenza del molo foraneo praticamente ultimato posto anch'esso a protezione della bocca dalle mareggiate di scirocco.

2.2 Configurazione di progetto (stato 3)

La configurazione di progetto considerata nelle simulazioni è la più completa tra le configurazioni fornite dal Committente ed è indicata nel seguito anche come "stato 3". Essa prevede per tutte le bocche la modifica della profondità dei fondali per un tratto sufficientemente lungo tra i due moli al fine di ridurre i tiranti ed incrementare l'effetto delle resistenze al fondo. È inoltre prevista la realizzazione di una serie di pennelli trasversali alle bocche, alcuni dei quali fissi, altri amovibili stagionalmente, ed il restringimento del varco a mare ottenuto mediante il prolungamento di uno o entrambi i moli. Nel reticolo realizzato, le opere amovibili non sono distinte da quelle fisse, in quanto esse, una volta poste in opera, producono i medesimi effetti di una equivalente opera fissa.

In Figura 3 sono riportate le mappe in scala a colori delle quote del fondo per le tre bocche di porto nella configurazione di progetto.

La bocca di Lido presenta, per un tratto di circa 1500 m tra i due moli, un fondale a quota costante pari a -7.0 m s.m.m. Esso risulta inciso, parallelamente al molo sud, da una fascia di larghezza pari a 250 m la cui quota è pari a -12.0 m s.m.m. All'interno della bocca, circa a metà dei moli e perpendicolari agli stessi, sono realizzati due pennelli: quello a sud è lungo 75 m, mentre quello a nord è lungo complessivamente 525 m di cui 300 m fissi e 225 m amovibili all'occorrenza. Il varco a mare risulta ristretto rispetto alla configurazione attuale mediante il prolungamento dei moli che, nel tratto di nuova realizzazione, risultano convergenti e tali da lasciare un varco di 360 m tra le due testate. Sono tra l'altro presenti le opere fisse già realizzate e inserite nella configurazione attuale.

La bocca di Malamocco è caratterizzata da un fondale posto a quota costante pari a -12 m s.m.m. per un tratto di circa 1000 m tra i moli. Sono presenti, inoltre, due ordini di pennelli perpendicolari ai moli, aventi tutti approssimativamente la medesima lunghezza, e tali da lasciare un varco di 250 m tra le rispettive testate. Dei due ordini di pennelli, quello più interno è fisso, mentre quello posto più verso il mare è costituito da opere stagionalmente amovibili. Nella configurazione attuale i moli della bocca di Malamocco presentano lunghezze diverse, essendo quello a nord più lungo di circa 400 m. La riduzione del varco a mare nella configurazione di progetto è stata ottenuta mediante il prolungamento del solo molo sud che presenta, pertanto, un ultimo tratto convergente verso il molo opposto, in modo tale da formare un varco a mare di 300 m tra le testate. Sono riprodotte anche per questa bocca le opere fisse ad oggi ultimate quali la conca di navigazione e l'antemurale già considerati nella configurazione attuale.

La bocca di Chioggia è infine caratterizzata da un tratto di circa 1000 m tra i due moli posto a quota -8.0 m s.m.m. Sono presenti due ordini di pennelli perpendicolari ai moli, tali da lasciare un varco di 250 m tra le testate. Anche in questo caso, dei due ordini di pennelli, quello più interno dovrebbe essere fisso mentre quello più a mare realizzato con opere amovibili. La riduzione del varco a mare è, ancora una volta, ottenuta mediante un prolungamento dei moli con due tratti curvilinei convergenti, le cui testate distano 260 m. È infine riprodotto, come per la configurazione attuale, il molo frangiflutti, ormai praticamente ultimato, posto a protezione della bocca dalle mareggiate di scirocco.

3 Effetti delle opere alle bocche

3.1 Metodologia di calcolo

Il modello matematico bidimensionale utilizzato nelle indagini è stato negli anni sviluppato all'interno del dipartimento IMAGE dell'Università di Padova. Esso si basa su uno schema agli elementi finiti che risolve le equazioni delle onde lunghe in acque basse tenendo conto degli effetti dei termini di inerzia convettivi e degli sforzi di Reynolds nel piano orizzontale, fondamentali per analizzare dettagliatamente il campo di moto locale in corrispondenza della bocche di porto.

Lo schema di calcolo utilizzato è particolarmente adatto a descrivere il comportamento idrodinamico di un bacino lagunare, riproducendo efficacemente i principali processi che accompagnano e governano la propagazione della marea in una laguna caratterizzata da fondali bassi e da una morfologia complessa, determinata dalla presenza di ampie aree di barena e da una fitta rete di canali che, intrecciandosi, innerva tutta la laguna.

In particolare il modello è in grado di riprodurre il processo periodico di allagamento e prosciugamento di ampie zone della laguna costituite dalle barene e dai bassifondi caratterizzati dalle quote più elevate. A tale scopo è stato introdotto un modello di sottogriglia di tipo concettuale che si basa sull'osservazione che, su un'area di dimensioni finite, il fenomeno di sommersione ed emersione non è mai istantaneo, ma, per effetto delle irregolarità del terreno, risulta graduale.

Al fine di non appesantire eccessivamente il presente rapporto tecnico si rimanda, per una descrizione dettagliata del modello matematico, all'ampia letteratura riportata in bibliografia [1] – [11].

La metodologia di calcolo seguita si è basata sulla predisposizione di due distinti reticoli di calcolo che riproducono le bocche di porto nelle due diverse configurazioni descritte in precedenza inserite all'interno della schematizzazione dell'intera laguna di Venezia e di un tratto sufficientemente ampio di mare Adriatico antistante le bocche di porto. Entrambi i reticoli sono costituiti da circa 52000 nodi e 100000 maglie. La Figura 1 riporta, come esempio, lo schema relativo alla configurazione attuale e fornisce un'indicazione dell'elevato grado di dettaglio con cui il dominio di calcolo è stato riprodotto. Come si può notare, a parte la zona più al largo del tratto di mare, il reticolo è ovunque sufficientemente fitto, e si infittisce ulteriormente in corrispondenza delle bocche di porto dove le singole maglie giungono ad avere dimensioni medie del lato di circa 25 – 30 m.

La scelta di considerare le diverse configurazioni delle bocche direttamente inserite all'interno della laguna e non studiate singolarmente ha permesso di analizzare in un'unica simulazione sia gli effetti idrodinamici locali alle bocche, sia le conseguenze prodotte sull'intera laguna in termini di attenuazione dei livelli massimi di marea e di riduzione dei volumi scambiati attraverso le bocche. Utilizzando il reticolo completo, tra l'altro, l'unica condizione al contorno necessaria è l'andamento dei livelli registrati a mare imposta ai nodi situati lungo il limite più al largo del tratto di mare riprodotto. Inoltre tale procedura non ha imposto l'introduzione di alcuna ipotesi sui livelli interni, come sarebbe stato invece necessario qualora l'analisi si fosse concentrata esclusivamente sulle bocche considerando solo una porzione del bacino lagunare ad esse afferente.

Le simulazioni condotte hanno permesso di riprodurre la propagazione all'interno della laguna nelle due configurazioni analizzate di ben 18 maree reali fornite dal committente e concordate, ancora nel 1999, dal Comune di Venezia con il Magistrato alle Acque ed il Consorzio Venezia Nuova per le elaborazioni relative ai modelli di propagazione delle maree.

Queste maree coprono un intervallo temporale che va dal novembre 1966, data del famoso evento di alta marea straordinaria, ai più recenti anni novanta, con punte di alta marea che vanno dagli 84 cm registrati al mareografo di Diga Sud Lido e riferiti allo zero di Punta della Salute per l'evento del Dicembre 1997, ai 192 cm del 1966.

Le singole simulazioni coprono un arco temporale di 36 ore a partire da 24 ore prima del massimo di alta marea registrato, protraendosi 12 ore oltre tale istante. La scelta della durata e dell'anticipo rispetto all'evento di massimo interesse, ovvero il periodo di flusso e riflusso legati alla massima alta marea di volta in volta considerata, è scaturito dal compromesso tra il contenimento dei tempi di calcolo ed il tempo necessario affinché il bacino vada "a regime" non risentendo più delle condizioni iniziali di livello costante. Esperienze precedenti hanno dimostrato che un tempo pari a 12 ore (un ciclo di marea durante una usuale marea astronomica semidiurna) è sufficiente alla laguna per "avviarsi", ragion per cui, partendo 24 ore prima dell'evento da analizzare e scartando le 12 ore di "avviamento", per ogni simulazione rimangono 24 ore utili per l'analisi dei risultati. Negli eventi rispettivamente del novembre 1987 e del dicembre 1992 sono presenti picchi di alta marea praticamente successivi, che pertanto sono stati analizzati all'interno di un'unica simulazione di durata maggiore.

3.2 Taratura del modello

Il modello matematico dell'intera laguna di Venezia è stato messo a punto, tarato e più volte validato nel corso degli anni avvalendosi di misure contemporanee di livello in mare e in

diversi punti all'interno del bacino lagunare anche in presenza di forzanti meteorologiche [12].

Nella presente analisi le modifiche sostanziali al reticolo di calcolo si sono concentrate in corrispondenza delle bocche di porto. La disponibilità, unitamente alle misure di livello registrate in mare, delle contemporanee misure a Punta della Salute ha permesso di verificare la correttezza del valore assunto pari a $40 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per descrivere la scabrezza del fondo secondo Strickler in corrispondenza delle bocche stesse.

Nelle Figure 4-9 è riportato il confronto tra i livelli misurati e calcolati dal modello a Punta della Salute per sei diverse simulazioni tra quelle esaminate. Come si può notare l'accordo tra l'andamento nel tempo dei livelli calcolati e misurati è più che soddisfacente.

Le sia pur piccole discordanze possono essere spiegate in primo luogo dal fatto che i livelli scelti come rappresentativi del segnale mareale a mare sono quelli misurati alla stazione di "Diga Sud Lido" ma sono imposti, nel modello, più al largo. Se è ragionevole pensare che nella propagazione della marea dal limite al largo del reticolo di calcolo alla bocca di Lido non si verificano variazioni di ampiezza del segnale, tale propagazione può causare un leggero sfasamento che tuttavia i risultati dimostrano essere decisamente trascurabile. Una seconda possibile spiegazione alle discordanze tra il segnale di marea calcolato ed i valori misurati può, infine, essere ricercata nella diversa configurazione attuale delle bocche di porto rispetto a quella esistente al momento delle registrazioni che, come ricordato, sono tutte antecedenti al 1997. Da allora, e soprattutto negli ultimi anni, le bocche hanno infatti subito diverse modificazioni legate principalmente ai lavori in atto nell'ambito del progetto per la mitigazione delle acque alte. Basti ricordare gli interventi più vistosi già descritti nella sezione relativa alla configurazione attuale delle bocche, quali le conche di navigazione a Lido e Malamocco, l'isola artificiale situata in mezzo alla bocca di Lido ed i moli foranei eretti all'esterno delle bocche di Chioggia e Malamocco.

4 Analisi dei risultati

L'obiettivo delle indagini condotte è, come già accennato in precedenza, da un lato la valutazione delle modifiche che l'incremento delle resistenze localizzate dovuto all'inserimento di opere fisse alle bocche di porto induce sul campo idrodinamico locale in termini di velocità massime e portate fluenti, dall'altro, la stima degli effetti delle opere stesse sull'intero sistema lagunare in termini di riduzione delle punte di marea e penalizzazione degli scambi mare-laguna.

A tale scopo, per tutte le simulazioni condotte, considerando sia la configurazione attuale che per quella di progetto, sono stati estratti:

- l'andamento nel tempo delle velocità nel punto in cui essa raggiunge il valore più elevato all'interno di ogni singola bocca;
- l'andamento nel tempo dei livelli in mare e in quattro punti significativi all'interno della laguna: Punta della Salute, Burano, i Fondi dei Sette Morti e Chioggia;
- l'andamento nel tempo delle portate fluenti attraverso le singole bocche di porto.

Questi risultati, opportunamente riportati in grafico, consentono un rapido ed agevole confronto tra la configurazione attuale e quella di progetto, sia per quanto riguarda gli effetti locali alle bocche, sia per valutare gli effetti più generali prodotti sulla propagazione della marea all'interno della laguna e sullo scambio di volumi con il mare. È stato infatti possibile, per ogni evento analizzato, valutare l'attenuazione dei livelli massimi nei diversi punti considerati, stimare l'entità dei volumi d'acqua scambiati con il mare e quantificare la loro variazione per effetto delle opere proposte.

4.1 Effetti prodotti sul campo di moto alle bocche

Il campo di moto idrodinamico in corrispondenza della bocche di porto, come del resto in qualsiasi dominio confinato, risulta fortemente influenzato dalla geometria del dominio stesso, ragion per cui è naturale attendersi che l'idrodinamica locale alle bocche risulti sensibilmente modificata dalla presenza delle opere fisse che caratterizzano la configurazione di progetto.

Le Figure 10-15 riportano un esempio della distribuzione spaziale delle velocità istantanee calcolate dal modello nell'istante di massimo flusso e massimo riflusso per le diverse bocche di porto sia nella configurazione attuale che in quella di progetto. Il caso specifico riprodotto fa riferimento alla marea dell'aprile 1997.

Come si può notare gli effetti prodotti dall'inserimento della opere proposte si riflettono sia sul valore del modulo della velocità istantanea sia sulla distribuzione spaziale delle zone interessate dalle velocità più elevate.

Al fine di rendere più agevole una quantificazione del fenomeno si è individuato, all'interno di ogni singola bocca, il punto in cui il modulo della velocità assume mediamente il valore più elevato sia in fase di flusso che in fase di riflusso. Come è ovvio attendersi, per quanto detto in precedenza sull'effetto che le variazioni della geometria producono sul campo di moto, questi punti sono diversi per la configurazione di progetto rispetto a quelli individuati nella configurazione attuale. Nelle Figure 10-15 è riportata la posizione dei

suddetti punti i quali sono mantenuti per uniformità invariati nell'analisi dei risultati delle diverse maree riprodotte.

Le Figure 16-31 riportano i grafici relativi all'andamento del modulo della velocità all'interno delle tre bocche di porto nel punto in cui essa raggiunge i valori massimi mettendo a confronto rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse e quella di progetto.

Si può notare come il valore assunto dalla velocità istantanea nei punti considerati alle bocche di Lido e Chioggia sia simile mentre il valore contemporaneo alla bocca di Malamocco risulti sempre superiore.

Per quanto riguarda la configurazione attuale il valore massimo assunto dalla velocità all'interno delle bocche di Lido e Chioggia si mantiene quasi costantemente compreso nell'intervallo 1.0÷1.5 m/s. Non è infrequente, invece, per la bocca di Malamocco, registrare valori di picco superiori agli 1.5 m/s anche per durate dell'ordine delle 2 o 3 ore (es. aprile 1997, settembre 1991, febbraio 1986, ottobre 1982). Sempre per la bocca di Malamocco durante l'evento del dicembre 1979 nella configurazione attuale si registrano valori abbondantemente superiori ai 2.0 m/s con un picco pari a 2.5 m/s. In concomitanza con tale evento anche nelle bocche di Lido e Chioggia supera la velocità di 1.5 m/s.

La realizzazione delle opere fisse produce un incremento delle velocità massime all'interno delle bocche. Le bocche di Lido e Chioggia conservano comportamento analogo con velocità massime che generalmente non superano i 2.0 m/s. Il valore massimo registrato per queste due bocche è di 2.5 m/s raggiunto per periodi contenuti in occasione degli eventi del dicembre '92, ottobre '80 e dicembre '79. La velocità massima all'interno della bocca di Malamocco solo in poche occasioni supera i 3.0 m/s per periodi comunque inferiori alle 2-3 ore (es. dicembre '92, febbraio '86, ottobre '80).

Queste velocità sono comunque tali da permettere alle moderne imbarcazioni di governare.

4.2 Effetti sulla riduzione dei livelli di marea

Le Figure 32-47 riportano i grafici relativi andamento dei livelli in mare e di quelli calcolati all'interno della laguna in corrispondenza di Punta della Salute, di Burano, dei Fondi dei Sette Morti e della città di Chioggia considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche di porto e quella di progetto.

I grafici mettono subito in evidenza come la laguna nella configurazione attuale sia decisamente poco dissipativa. Se si esclude la stazione di Burano, dove peraltro le riduzioni dei livelli massimi di marea sono comunque contenuti, per le altre tre località considerate le

onde di marea risultano semplicemente sfasate rispetto a quelle registrate in mare con piccole variazioni in termini di ampiezza che, in corrispondenza dei picchi di alta marea subiscono, soprattutto per le stazioni di Punta della Salute e dei Fondi dei Sette Morti, un leggero incremento.

I corrispondenti grafici relativi alle simulazioni che considerano la configurazione di progetto evidenziano, al contrario, oltre ad un incremento dello sfasamento tra il segnale mareale registrato in mare e quello valutato all'interno della laguna, una significativa riduzione dei livelli massimi.

Per tutti gli eventi analizzati, nelle Tabelle 1-4 sono riportati, insieme ai livelli massimi in mare, i relativi livelli massimi calcolati con il modello in corrispondenza di ogni singola stazione, considerando sia la configurazione attuale che quella di progetto. I valori riportati nelle tabelle sono in cm e sono riferiti allo zero di Punta della Salute. L'estrazione dei livelli massimi ha consentito, inoltre, di valutare l'entità delle riduzioni che essi subiscono in corrispondenza delle diverse stazioni quantificando quanto si evince dall'osservazione dei grafici riportati nelle Figure 32-47. In ogni tabella sono riportati le variazioni dei livelli massimi rispetto al mare rispettivamente per la configurazione attuale ($\Delta h_{\text{attuale}}$) e per la configurazione di progetto ($\Delta h_{\text{progetto}}$), nonché la variazione che intercorre tra i livelli locali nelle due diverse configurazioni (Δh). Valori positivi di tali variazioni stanno ad indicare un incremento mentre i valori negativi caratterizzano un'attenuazione.

Come si può notare in Tabella 1 i livelli a Punta della Salute, nella configurazione attuale, risultano costantemente incrementati rispetto al mare. L'incremento medio calcolato per la diverse simulazioni è di circa 1.2 cm. Nella configurazione di progetto, invece si registra una costante attenuazione dei livelli massimi. L'attenuazione media è di poco superiore agli 8 cm con un valore massimo di 16 cm per l'evento dell'ottobre 1982. La differenza tra la configurazione attuale e quella di progetto è pertanto una attenuazione media di 9.4 cm.

Nella stazione di Burano (Tabella 2) anche la configurazione attuale produce un attenuazione il cui valore medio è di circa 3.8 cm. Tale attenuazione raggiunge in media i 13.8 cm nella configurazione di progetto con un valore massimo di ben 21 cm per l'evento dell'ottobre 1982. L'effetto della diversa configurazione alle bocche si traduce in una riduzione media dei livelli massimi di circa 9 cm.

Presso i Fondi dei Sette Morti (Tabella 3) si ripresenta, per quanto riguarda la situazione attuale, un incremento dei livelli che mediamente assume valori di 2.3 cm ma che può superare anche i 6 cm. La configurazione di progetto produce, anche per questa stazione, un'attenuazione il cui valore medio, per le diverse maree analizzate, è di 6.4 cm.

Complessivamente l'effetto delle opere fisse alle bocche produce una riduzione locale media di 8.6 cm.

Infine per quanto riguarda la stazione di Chioggia (Tabella 4) si nota come la configurazione attuale praticamente non produca effetti sui livelli massimi di marea che risultano invece sensibilmente attenuati dall'inserimento delle opere alle bocche. L'attenuazione media calcolata è di circa 8 cm con un massimo di oltre 15 cm sempre per l'evento dell'ottobre 1982.

4.3 Effetti sui volumi scambiati tra mare e laguna

Nelle Figure 48-63 sono riportati i grafici relativi all'andamento delle portate fluenti attraverso le tre bocche di porto. Il confronto diretto tra i valori relativi alla configurazione attuale, riportati nel grafico superiore di ogni figura, con quelli riferiti alla configurazione di progetto, riportati in basso, mettono in evidenza come l'inserimento delle opere fisse alle bocche produca una sensibile riduzione delle portate fluenti attraverso le bocche stesse. La variazione di configurazione modifica, tra l'altro, solo l'entità della portate liquide e non la proporzione tra esse, permanendo la tendenza che vede confrontabili i valori di portata che transitano attraverso le bocche di Lido e Malamocco mentre risulta sensibilmente inferiore quella che caratterizza la bocca di Chioggia, sia considerando lo stato attuale che quello di progetto.

Al fine di quantificare gli scambi tra mare e laguna per i diversi eventi di marea analizzati, si è deciso di calcolare, in base ai valori delle portate riportati nei grafici, il volume entrante in laguna durante la fase di flusso che precede il raggiungimento del massimo livello di marea singolarmente considerato.

Nelle Tabelle 5-7 sono riportati i valori del volume entrante così calcolato nelle due diverse configurazioni, espresso in milioni di m^3 . Le ultime due colonne riportano, inoltre, rispettivamente la riduzione netta e percentuale di tali volumi.

Come si può notare in Tabella 5, per la bocca di Lido la riduzione media del volume scambiato è di circa 20 milioni di m^3 pari al 16.5 % del volume scambiato nella configurazione attuale. Nel caso specifico la massima riduzione è pari a circa il 20 % ed è riferibile all'evento del novembre 1987.

Per la bocca di Malamocco (Tabella 6) la riduzione media netta si riduce a circa 12 milioni di m^3 corrispondente a meno del 10 % del volume scambiato nella configurazione attuale. In questo caso la riduzione massima si verifica per l'evento del febbraio 1979 ed è di poco superiore al 15 %.

Infine, la riduzione media relativa alla bocca di Chioggia è pari a circa il 15 % del volume attuale, un valore simile a quello registrato per la bocca di Lido. Anche in questo caso il massimo si realizza per l'evento del febbraio 1979 e supera di poco il 20 % del volume scambiato nella configurazione attuale.

È comunque il caso di osservare che la riduzione dei volumi scambiati tra mare e laguna è un problema minore, in quanto, gli effetti negativi da esso prodotti potrebbero essere ampiamente compensati con provvedimenti che attivino la “circolazione secondaria” e quindi una migliore redistribuzione nella laguna dei volumi scambiati.

5 Osservazioni conclusive

I risultati preliminari descritti nel presente rapporto hanno messo in luce gli effetti idrodinamici dovuti all'incremento delle resistenze localizzate per mezzo dell'inserimento di opere fisse alle bocche di porto della laguna di Venezia. Gli effetti riguardano principalmente l'incremento delle velocità massime all'interno delle bocche stesse durante le fasi di massimo flusso e riflusso di marea. Tali incrementi risultano, in ogni caso, contenuti al di sotto dei valori di velocità della corrente per cui le moderne navi sono in grado di manovrare.

Il secondo effetto riscontrato è una considerevole attenuazione dei livelli massimi di marea rispetto ai valori massimi in mare. Infine si registra una riduzione dei volumi scambiati tra il mare e la laguna, riduzione i cui effetti negativi potrebbero essere comunque ampiamente compensati con provvedimenti volti ad attivare la “circolazione secondaria” e quindi una migliore redistribuzione nella laguna dei volumi scambiati.

Sono attualmente oggetto di studio configurazioni che considerano restringimenti più spinti del varco a mare tra le testate dei moli ed è in corso l'analisi di un intero anno di maree.

TABELLE

Evento (data)	Punta della Salute					
	Mare (cm)	Attuale (cm)	Progetto (cm)	$\Delta h_{\text{attuale}}$ (cm)	$\Delta h_{\text{progetto}}$ (cm)	Δh (cm)
13 Dicembre 1997	84.0	86.8	79.2	2.8	-4.8	-7.6
4 Aprile 1997	85.0	86.4	74.2	1.4	-10.8	-12.2
26 Settembre 1991	102.0	102.4	91.1	0.4	-10.9	-11.3
15 Ottobre 1996	106.0	108.3	98.7	2.3	-7.3	-9.6
4 Gennaio 1997	116.0	118.8	113.4	2.8	-2.6	-5.4
29 Dicembre 1981	125.0	128.5	118.9	3.5	-6.1	-9.6
25 Novembre 1987	126.0	127.7	121.5	1.7	-4.5	-6.2
6 Ottobre 1982	131.0	129.6	115.0	-1.4	-16.0	-14.6
9 Dicembre 1992	134.0	136.8	129.1	2.8	-4.9	-7.7
18 Novembre 1996	138.0	138.6	129.5	0.6	-8.5	-9.1
25 Ottobre 1980	133.0	135.4	125.8	2.4	-7.2	-9.6
22 Dicembre 1981	139.0	140.5	128.6	1.5	-10.4	-11.9
24 Novembre 1987	136.0	137.0	128.1	1.0	-7.9	-8.9
17 Febbraio 1979	138.0	138.9	126.8	0.9	-11.2	-12.1
8 Dicembre 1992	157.0	158.5	144.9	1.5	-12.1	-13.6
1 Febbraio 1986	166.0	169.8	162.3	3.8	-3.7	-7.5
22 Dicembre 1979	176.0	176.3	164.1	0.3	-11.9	-12.2
4 Novembre 1966	192.0	186.5	186.4	-5.5	-5.6	-0.1
MEDIA				1.3	-8.1	-9.4

Tabella 1 – Livelli massimi raggiunti a Punta della Salute durante le diverse maree simulate considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche di porto (colonna 3) e quella finale di progetto (colonna 4). Le ultime colonne riportano l'attenuazione (-) o l'incremento (+) dei livelli rispetto al mare considerando nuovamente la configurazione attuale ($\Delta h_{\text{attuale}}$) e quella finale di progetto ($\Delta h_{\text{progetto}}$) e la variazione locale tra le due diverse configurazioni (Δh).

Burano						
Evento (data)	Mare (cm)	Attuale (cm)	Progetto (cm)	$\Delta h_{\text{attuale}}$ (cm)	$\Delta h_{\text{progetto}}$ (cm)	Δh (cm)
13 Dicembre 1997	84.0	81.9	75.4	-2.1	-8.6	-6.5
4 Aprile 1997	85.0	78.0	67.9	-7.0	-17.1	-10.1
26 Settembre 1991	102.0	96.0	86.0	-6.0	-16.0	-10.0
15 Ottobre 1996	106.0	102.6	92.7	-3.4	-13.3	-9.9
4 Gennaio 1997	116.0	115.7	109.9	-0.3	-6.1	-5.8
29 Dicembre 1981	125.0	123.5	113.6	-1.5	-11.4	-9.9
25 Novembre 1987	126.0	125.0	117.3	-1.0	-8.7	-7.7
6 Ottobre 1982	131.0	120.9	110.0	-10.1	-21.0	-10.9
9 Dicembre 1992	134.0	132.9	124.4	-1.1	-9.6	-8.5
18 Novembre 1996	138.0	133.3	124.9	-4.7	-13.1	-8.4
25 Ottobre 1980	133.0	130.5	121.0	-2.5	-12.0	-9.5
22 Dicembre 1981	139.0	134.1	123.7	-4.9	-15.3	-10.4
24 Novembre 1987	136.0	131.6	123.4	-4.4	-12.6	-8.2
17 Febbraio 1979	138.0	133.7	120.6	-4.3	-17.4	-13.1
8 Dicembre 1992	157.0	151.9	139.3	-5.1	-17.7	-12.6
1 Febbraio 1986	166.0	167.4	158.2	1.4	-7.8	-9.2
22 Dicembre 1979	176.0	172.3	158.7	-3.7	-17.3	-13.6
4 Novembre 1966	192.0	185.0	185.5	-7.0	-6.5	0.5
MEDIA				-3.8	-12.9	-9.1

Tabella 2 – Livelli massimi raggiunti a Burano durante le diverse maree simulate considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche di porto (colonna 3) e quella finale di progetto (colonna 4). Le ultime colonne riportano l'attenuazione (-) o l'incremento (+) dei livelli rispetto al mare considerando nuovamente la configurazione attuale ($\Delta h_{\text{attuale}}$) e quella finale di progetto ($\Delta h_{\text{progetto}}$) e la variazione locale tra le due diverse configurazioni (Δh).

Fondi dei Sette Morti						
Evento (data)	Mare (cm)	Attuale (cm)	Progetto (cm)	$\Delta h_{\text{attuale}}$ (cm)	$\Delta h_{\text{progetto}}$ (cm)	Δh (cm)
13 Dicembre 1997	84.0	86.3	80.5	2.3	-3.5	-5.8
4 Aprile 1997	85.0	84.6	72.7	-0.4	-12.3	-11.9
26 Settembre 1991	102.0	102.4	91.8	0.4	-10.2	-10.6
15 Ottobre 1996	106.0	109.0	100.2	3.0	-5.8	-8.8
4 Gennaio 1997	116.0	119.3	115.2	3.3	-0.8	-4.1
29 Dicembre 1981	125.0	129.4	121.2	4.4	-3.8	-8.2
25 Novembre 1987	126.0	128.8	123.0	2.8	-3.0	-5.8
6 Ottobre 1982	131.0	131.3	117.3	0.3	-13.7	-14.0
9 Dicembre 1992	134.0	137.0	130.8	3.0	-3.2	-6.2
18 Novembre 1996	138.0	140.2	132.0	2.2	-6.0	-8.2
25 Ottobre 1980	133.0	137.2	127.9	4.2	-5.1	-9.3
22 Dicembre 1981	139.0	142.0	131.7	3.0	-7.3	-10.3
24 Novembre 1987	136.0	137.2	130.3	1.2	-5.7	-6.9
17 Febbraio 1979	138.0	140.8	129.2	2.8	-8.8	-11.6
8 Dicembre 1992	157.0	159.8	148.1	2.8	-8.9	-11.7
1 Febbraio 1986	166.0	172.1	163.9	6.1	-2.1	-8.2
22 Dicembre 1979	176.0	179.7	166.6	3.7	-9.4	-13.1
4 Novembre 1966	192.0	187.5	186.6	-4.5	-5.4	-0.9
MEDIA				2.3	-6.4	-8.6

Tabella 3 – Livelli massimi raggiunti presso i Fondi dei Sette Morti durante le diverse maree simulate considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche di porto (colonna 3) e quella finale di progetto (colonna 4). Le ultime colonne riportano l'attenuazione (-) o l'incremento (+) dei livelli rispetto al mare considerando nuovamente la configurazione attuale ($\Delta h_{\text{attuale}}$) e quella finale di progetto ($\Delta h_{\text{progetto}}$) e la variazione locale tra le due diverse configurazioni (Δh).

Chioggia						
Evento (data)	Mare (cm)	Attuale (cm)	Progetto (cm)	$\Delta h_{\text{attuale}}$ (cm)	$\Delta h_{\text{progetto}}$ (cm)	Δh (cm)
13 Dicembre 1997	84.0	84.7	78.6	0.7	-5.4	-6.1
4 Aprile 1997	85.0	83.9	71.9	-1.1	-13.1	-12.0
26 Settembre 1991	102.0	100.7	90.2	-1.3	-11.8	-10.5
15 Ottobre 1996	106.0	107.4	98.1	1.4	-7.9	-9.3
4 Gennaio 1997	116.0	117.5	113.3	1.5	-2.7	-4.2
29 Dicembre 1981	125.0	127.0	118.8	2.0	-6.2	-8.2
25 Novembre 1987	126.0	126.6	120.7	0.6	-5.3	-5.9
6 Ottobre 1982	131.0	129.1	115.9	-1.9	-15.1	-13.2
9 Dicembre 1992	134.0	134.7	128.4	0.7	-5.6	-6.3
18 Novembre 1996	138.0	137.5	130.4	-0.5	-7.6	-7.1
25 Ottobre 1980	133.0	134.8	126.2	1.8	-6.8	-8.6
22 Dicembre 1981	139.0	139.4	129.5	0.4	-9.5	-9.9
24 Novembre 1987	136.0	134.8	128.2	-1.2	-7.8	-6.6
17 Febbraio 1979	138.0	138.7	127.7	0.7	-10.3	-11.0
8 Dicembre 1992	157.0	156.9	145.4	-0.1	-11.6	-11.5
1 Febbraio 1986	166.0	168.9	162.1	2.9	-3.9	-6.8
22 Dicembre 1979	176.0	176.0	165.2	0.0	-10.8	-10.8
4 Novembre 1966	192.0	186.4	185.0	-5.6	-7.0	-1.4
MEDIA				0.1	-8.2	-8.3

Tabella 4 – Livelli massimi raggiunti a Chioggia durante le diverse maree simulate considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche di porto (colonna 3) e quella finale di progetto (colonna 4). Le ultime colonne riportano l'attenuazione (-) o l'incremento (+) dei livelli rispetto al mare considerando nuovamente la configurazione attuale ($\Delta h_{\text{attuale}}$) e quella finale di progetto ($\Delta h_{\text{progetto}}$) e la variazione locale tra le due diverse configurazioni (Δh).

Bocca di LIDO				
Evento (data)	Attuale (10^6 m^3)	Progetto (10^6 m^3)	ΔV (10^6 m^3)	ΔV (%)
13 Dicembre 1997	84.10	69.83	-14.27	16.97
4 Aprile 1997	116.60	94.60	-22.00	18.87
26 Settembre 1991	116.12	93.78	-22.34	19.24
15 Ottobre 1996	122.09	101.69	-20.40	16.71
4 Gennaio 1997	139.45	123.62	-15.83	11.35
29 Dicembre 1981	112.63	95.65	-16.98	15.08
25 Novembre 1987	93.49	74.26	-19.23	20.57
6 Ottobre 1982	156.70	128.54	-28.16	17.97
9 Dicembre 1992	95.52	80.86	-14.66	15.35
18 Novembre 1996	170.80	144.54	-26.26	15.37
25 Ottobre 1980	130.62	104.78	-25.84	19.78
22 Dicembre 1981	130.91	108.55	-22.36	17.08
24 Novembre 1987	97.88	81.24	-16.64	17.00
17 Febbraio 1979	140.68	110.98	-29.70	21.11
8 Dicembre 1992	147.04	124.21	-22.83	15.53
1 Febbraio 1986	117.92	103.65	-14.27	12.10
22 Dicembre 1979	152.80	128.13	-24.67	16.15
4 Novembre 1966	117.12	103.70	-13.42	11.46
MEDIA			-20.5	16.5

Tabella 5 – Volumi d'acqua (in milioni di m^3) entranti in laguna attraverso la bocca di Lido durante la fase di flusso che precede la massima alta marea nei diversi eventi esaminati considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche di porto (colonna 2) e quella finale di progetto (colonna 3). Le ultime due colonne riportano rispettivamente la riduzione netta (colonna 4) e percentuale (colonna 5) dei volumi fluiti a seguito dell'introduzione delle opere fisse alle bocche.

Bocca di MALAMOCCO				
Evento (data)	Attuale (10^6 m^3)	Progetto (10^6 m^3)	ΔV (10^6 m^3)	ΔV (%)
13 Dicembre 1997	93.30	82.61	-10.69	11.46
4 Aprile 1997	129.69	113.40	-16.29	12.56
26 Settembre 1991	125.71	109.93	-15.78	12.55
15 Ottobre 1996	133.16	116.89	-16.27	12.22
4 Gennaio 1997	144.50	139.45	-5.05	3.49
29 Dicembre 1981	118.62	109.44	-9.18	7.74
25 Novembre 1987	102.93	88.55	-14.38	13.97
6 Ottobre 1982	167.87	146.02	-21.85	13.02
9 Dicembre 1992	102.74	92.36	-10.38	10.10
18 Novembre 1996	175.08	164.02	-11.06	6.32
25 Ottobre 1980	136.96	120.80	-16.16	11.80
22 Dicembre 1981	135.21	123.96	-11.25	8.32
24 Novembre 1987	102.58	90.46	-12.12	11.82
17 Febbraio 1979	151.80	128.59	-23.21	15.29
8 Dicembre 1992	154.24	138.57	-15.67	10.16
1 Febbraio 1986	116.47	113.04	-3.43	2.94
22 Dicembre 1979	147.77	136.64	-11.13	7.53
4 Novembre 1966	106.06	113.64	7.58	-7.15
MEDIA			-12.0	9.1

Tabella 6 – Volumi d'acqua (in milioni di m^3) entranti in laguna attraverso la bocca di Malamocco durante la fase di flusso che precede la massima alta marea nei diversi eventi esaminati considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche di porto (colonna 2) e quella finale di progetto (colonna 3). Le ultime due colonne riportano rispettivamente la riduzione netta (colonna 4) e percentuale (colonna 5) dei volumi fluiti a seguito dell'introduzione delle opere fisse alle bocche.

Bocca di CHIOGGIA				
Evento (data)	Attuale (10^6 m^3)	Progetto (10^6 m^3)	ΔV (10^6 m^3)	ΔV (%)
13 Dicembre 1997	53.77	44.79	-8.98	16.70
4 Aprile 1997	73.83	62.07	-11.76	15.93
26 Settembre 1991	73.99	61.70	-12.29	16.61
15 Ottobre 1996	78.69	64.90	-13.79	17.52
4 Gennaio 1997	84.42	78.27	-6.15	7.29
29 Dicembre 1981	72.01	60.84	-11.17	15.51
25 Novembre 1987	62.80	50.56	-12.24	19.49
6 Ottobre 1982	99.79	82.37	-17.42	17.46
9 Dicembre 1992	62.98	52.72	-10.26	16.29
18 Novembre 1996	104.77	91.93	-12.84	12.26
25 Ottobre 1980	82.98	67.54	-15.44	18.61
22 Dicembre 1981	83.12	68.43	-14.69	17.67
24 Novembre 1987	63.14	51.44	-11.70	18.53
17 Febbraio 1979	91.55	72.88	-18.67	20.39
8 Dicembre 1992	93.41	78.30	-15.11	16.18
1 Febbraio 1986	72.80	64.39	-8.41	11.55
22 Dicembre 1979	93.96	77.51	-16.45	17.51
4 Novembre 1966	67.11	64.09	-3.02	4.50
MEDIA			-12.2	15.6

Tabella 7 – Volumi d'acqua (in milioni di m^3) entranti in laguna attraverso la bocca di Chioggia durante la fase di flusso che precede la massima alta marea nei diversi eventi esaminati considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche di porto (colonna 2) e quella finale di progetto (colonna 3). Le ultime due colonne riportano rispettivamente la riduzione netta (colonna 4) e percentuale (colonna 5) dei volumi fluiti a seguito dell'introduzione delle opere fisse alle bocche.

BIBLIOGRAFIA

- [1] D'Alpaos, L. e Defina, A.: Venice Lagoon Hydrodynamic Simulation by Coupling 2D and 1D Finite Elements Models. Proceedings of the 8th Conference on "Finite Elements in Fluids. New Trends and Applications", Barcelona, 917-926, (1993).
- [2] Defina, A., D'Alpaos, L. Matticchio, B., (1994), A new set of equations for very shallow water and partially dry areas suitable to 2D numerical models, in *Proceedings of the Specialty Conference on "Modelling of Flood Propagation Over Initially Dry Areas", Milan (Italy) 29 June -1 July 1994, edited by P. Molinaro and L. Natale, 72-81.*
- [3] D'Alpaos, L., Defina, A.(1995), Modellazione matematica del comportamento idrodinamico di zone di barena solcate da una rete di canali minori, *Istituto Veneto di SS.LL.AA., Rapporti e Studi. XII, 353-372.*
- [4] D'Alpaos L., Defina, A., Matticchio, B., (1995), A coupled 2D and 1D finite element model for simulating tidal flow in the Venice channel network, *Proceedings of the 9th Int. Conf. on Finite Elements in Fluids, Venezia, 15-21 October, 1397-1406.*
- [5] Defina, A., Zovatto, L.,(1995), Modellazione matematica delle zone soggette a periodico prosciugamento in un bacino a marea, *Istituto Veneto di SS.LL.AA., Rapporti e Studi. XII, 337-351.*
- [6] Defina, A., Bonetto, I., (1998), Rappresentazione dei termini di accelerazione convettiva in un modello bidimensionale della propagazione di onde lunghe in acque basse, *XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Vol. I, 53-64,.*
- [7] Defina, A., (2000) Two-dimensional shallow flow equations for partially dry areas, *Water Resources Research, vol.36, 11, 3251-3264.*
- [8] Defina, A., (2000), Alcune considerazioni sulla modellazione matematica di correnti bidimensionali caratterizzate da piccoli tiranti, *Atti del XXVII Convegno di Idraulica e costruzioni Idrauliche, Genova, 12-15 Settembre 2000, Vol. I, 255-262.*
- [9] D'Alpaos, L., (2003). Conoscere il comportamento idrodinamico della laguna del passato per progettare la laguna del futuro. Atti dell'Istituto Veneto di SS.LL.AA., Tomo CLXII (2003-2004) Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali, Venezia.
- [10] Defina A. (2004). Alcune considerazioni sulla stima delle dissipazioni di energia prodotte da opere fisse in una bocca lagunare. In *Atti dell'Istituto Veneto di SS.LL.AA. (vol. CLXII, II pp. 441-478). ISBN: ISSN 0392-6680*
- [11] D'Alpaos, L., Defina, A. (2004), Contribution to mathematical modelling of Venice lagoon. Sottoposto per la pubblicazione, (2004).
- [12] Carniello L., Defina A., Fagherazzi S. D'alpaos L. (2005). A combined wind wave-tidal model for the Venice Lagoon, Italy. *Journal Of Geophysical Research. 110, F04007, doi:10.1029/2004JF000232.*

INDICE

1	Premesse	1
2	Configurazioni esaminate	3
2.1	Configurazione attuale (stato 0)	3
2.2	Configurazione di progetto (stato 3)	3
3	Effetti delle opere alle bocche	5
3.1	Metodologia di calcolo	5
3.2	Taratura del modello	6
4	Analisi dei risultati	7
4.1	Effetti prodotti sul campo di moto alle bocche	8
4.2	Effetti sulla riduzione dei livelli di marea	9
4.3	Effetti sui volumi scambiati tra mare e laguna	11
5	Osservazioni conclusive	12
	TABELLE	13
	BIBLIOGRAFIA	20
	INDICE	21

ALLEGATO

FIGURE

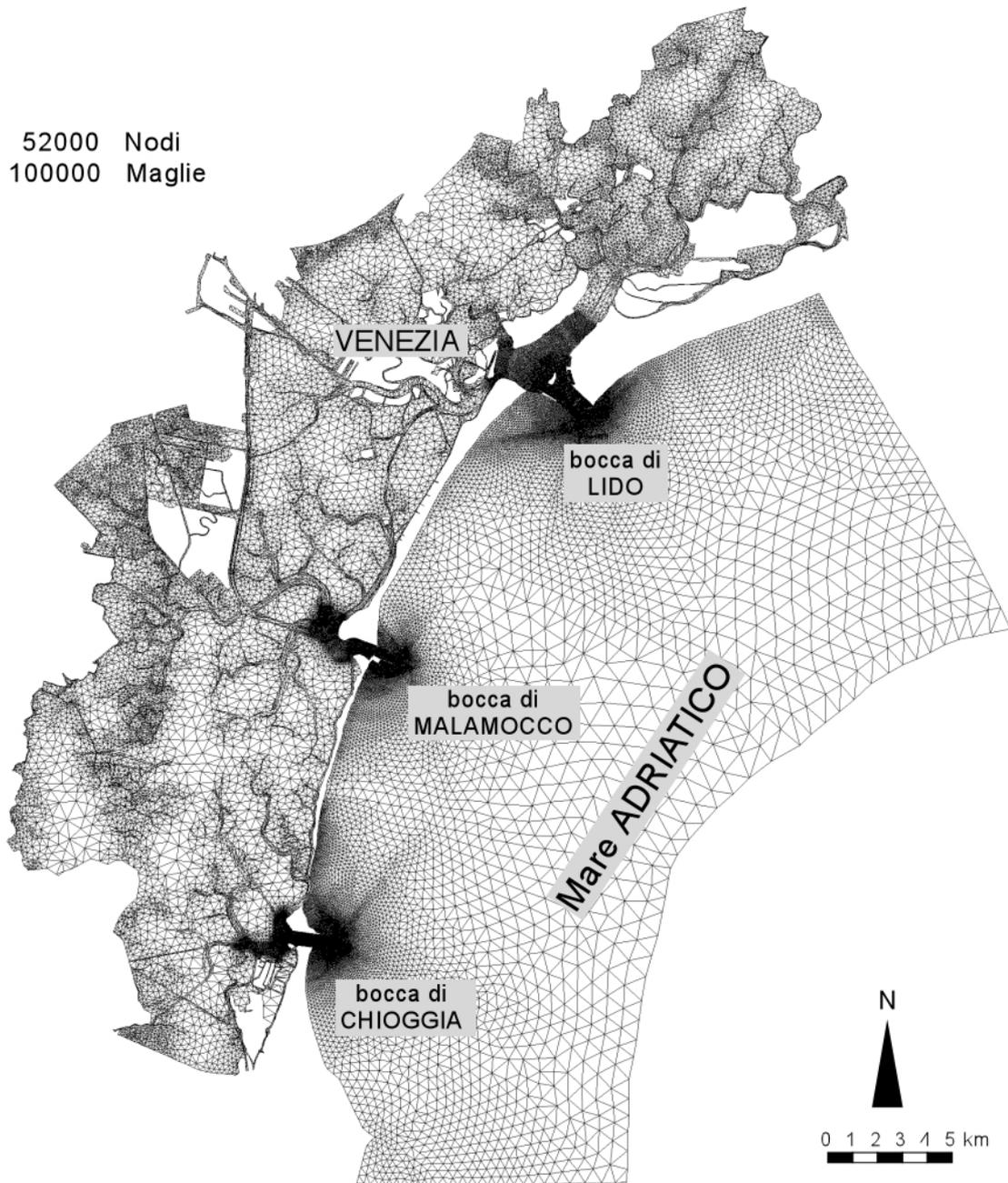


Figura 1 – reticolo di calcolo della Laguna di Venezia e del tratto di mare Adriatico antistante alle bocche di porto.

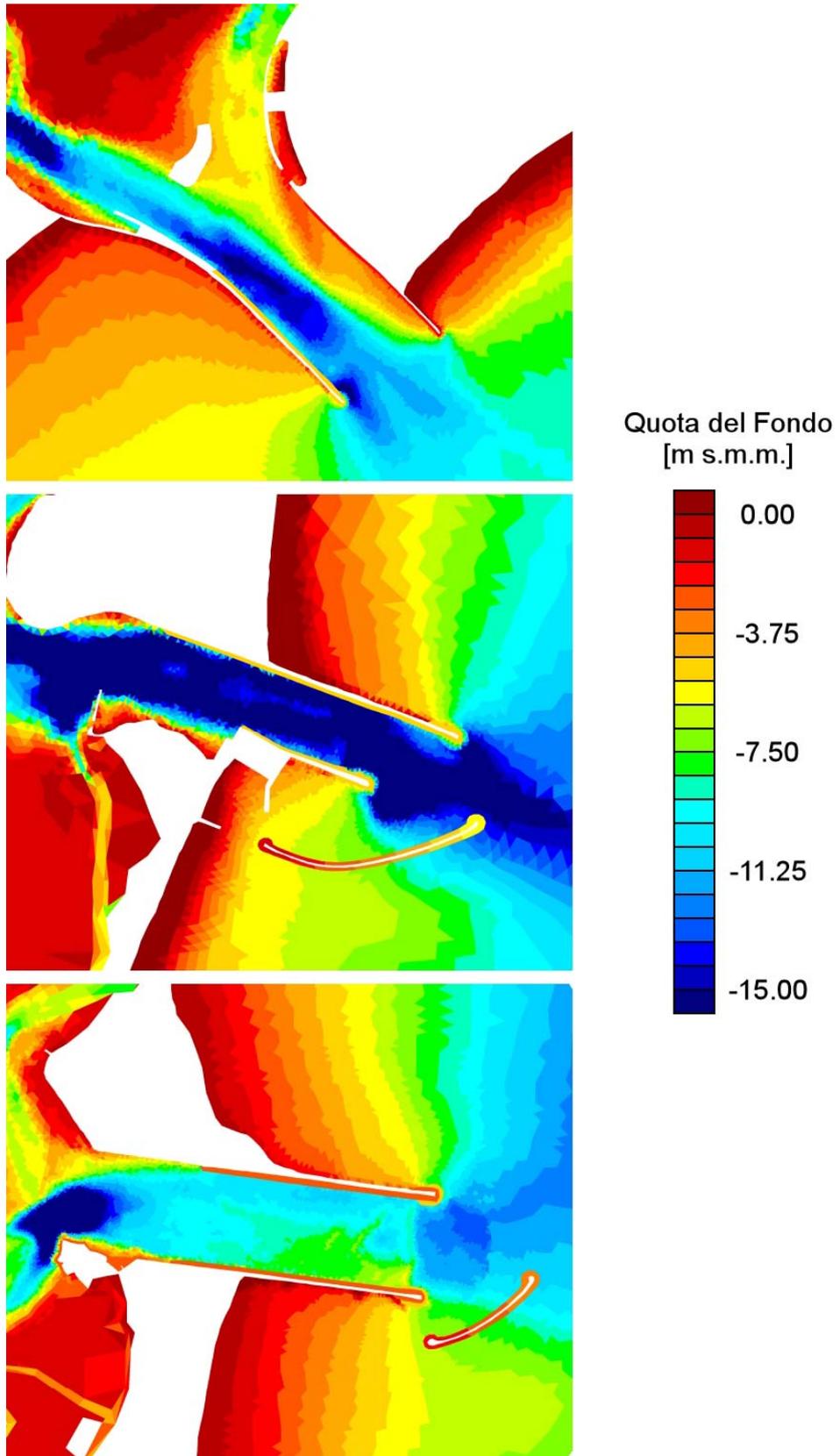


Figura 2 – Batimetria e configurazione delle bocche di porto nella situazione attuale.

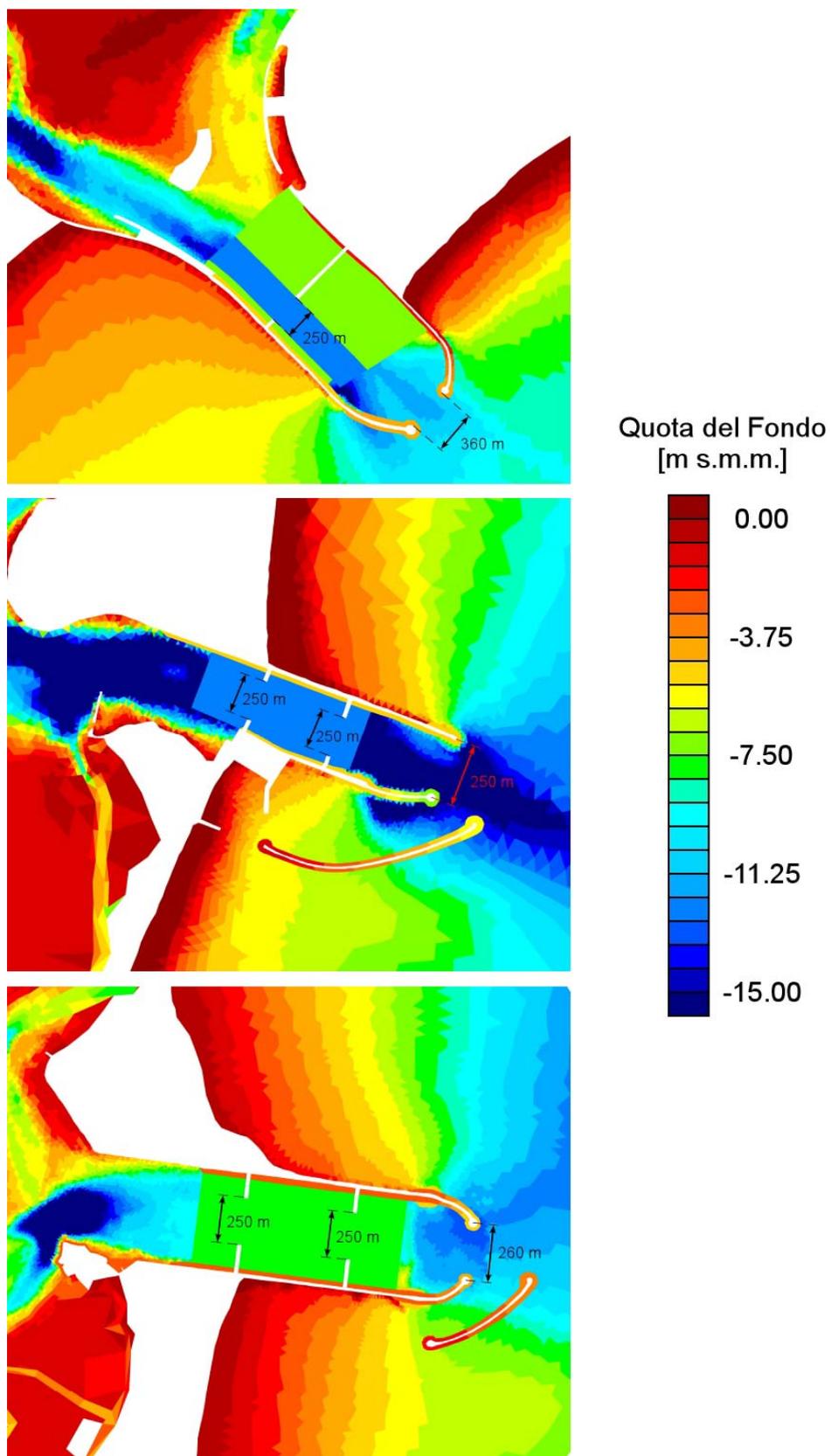


Figura 3 – Batimetria e configurazione delle bocche di porto nella situazione finale di progetto (stato 3).

3-5 Aprile 1997 - Livelli a Punta della Salute

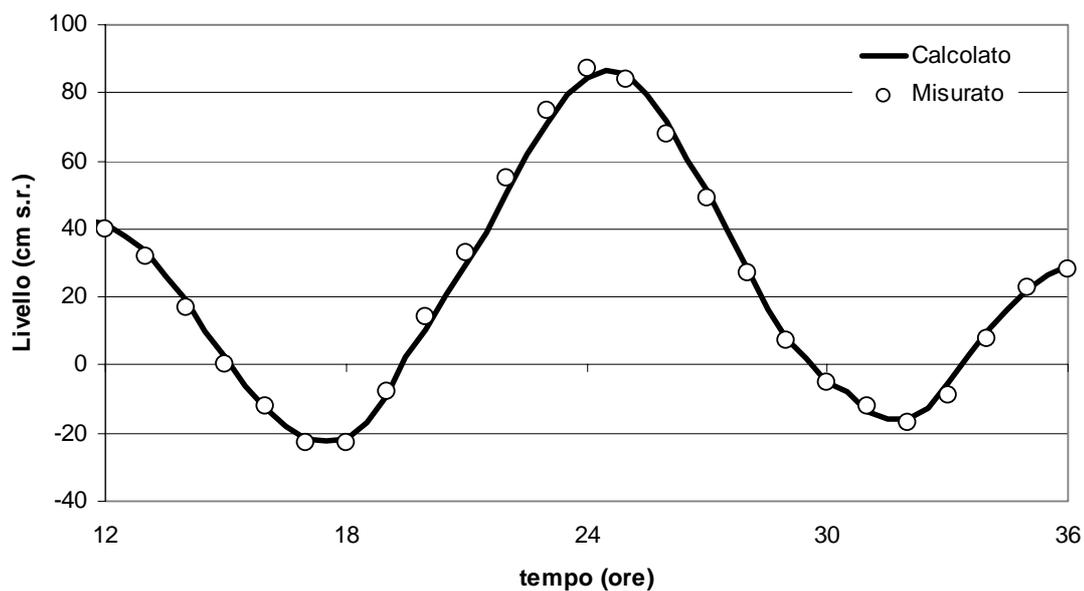


Figura 4 – Marea del 3-5 Aprile 1997: confronto tra i livelli misurati e calcolati dal modello a Punta della Salute.

14-15 Ottobre 1996 - Livelli a Punta della Salute

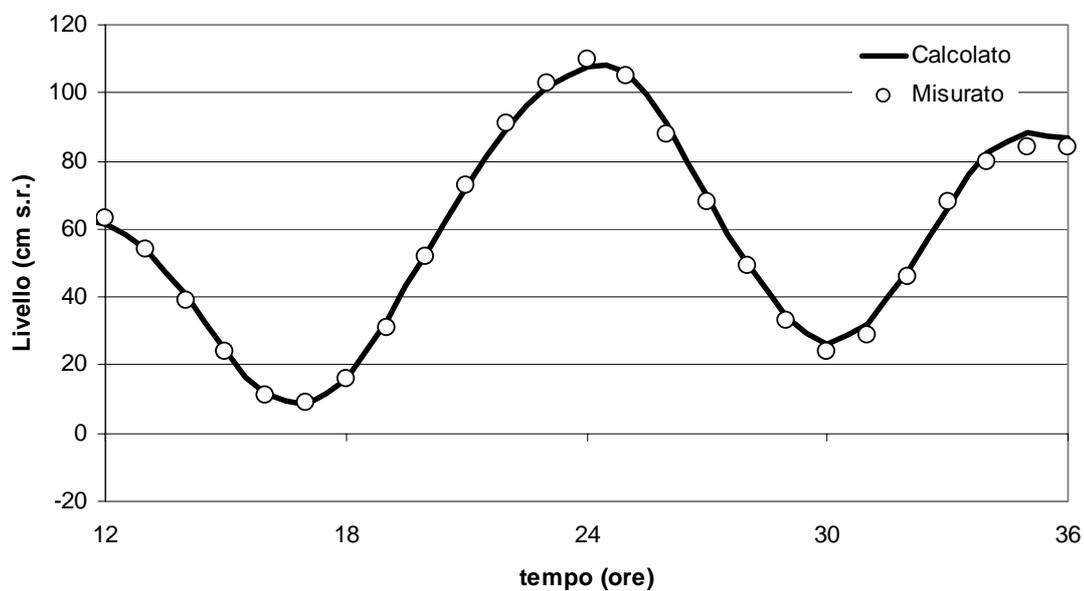


Figura 5 – Marea del 14-15 Ottobre 1996: confronto tra i livelli misurati e calcolati dal modello a Punta della Salute.

25-26 Settembre 1991 - Livelli a Punta della Salute

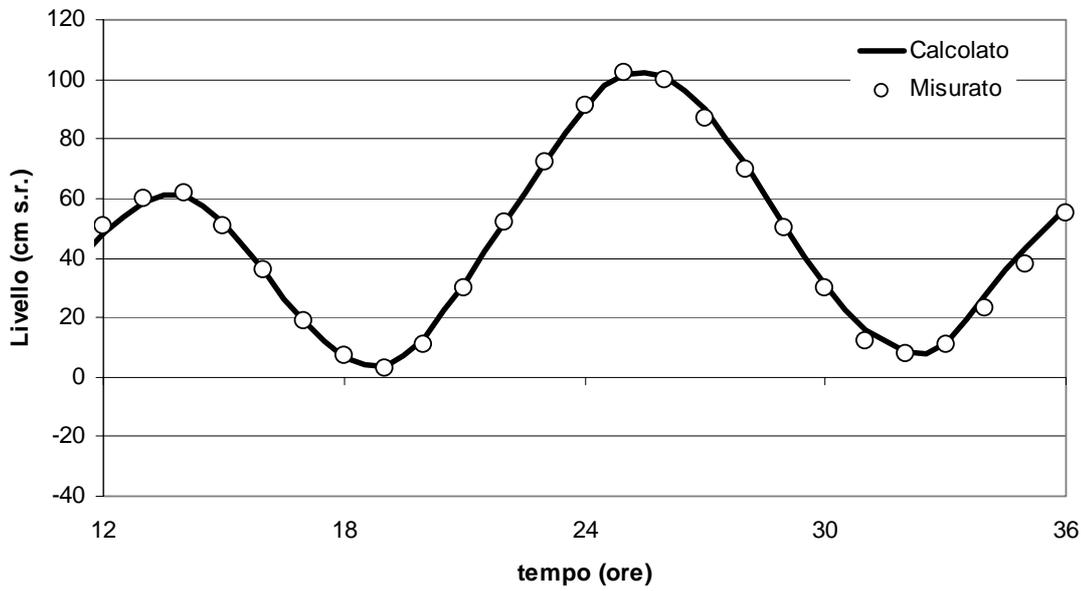


Figura 6 – Marea del 25-26 Settembre 1991: confronto tra i livelli misurati e calcolati dal modello a Punta della Salute.

23-25 Novembre 1987 - Livelli a Punta della Salute

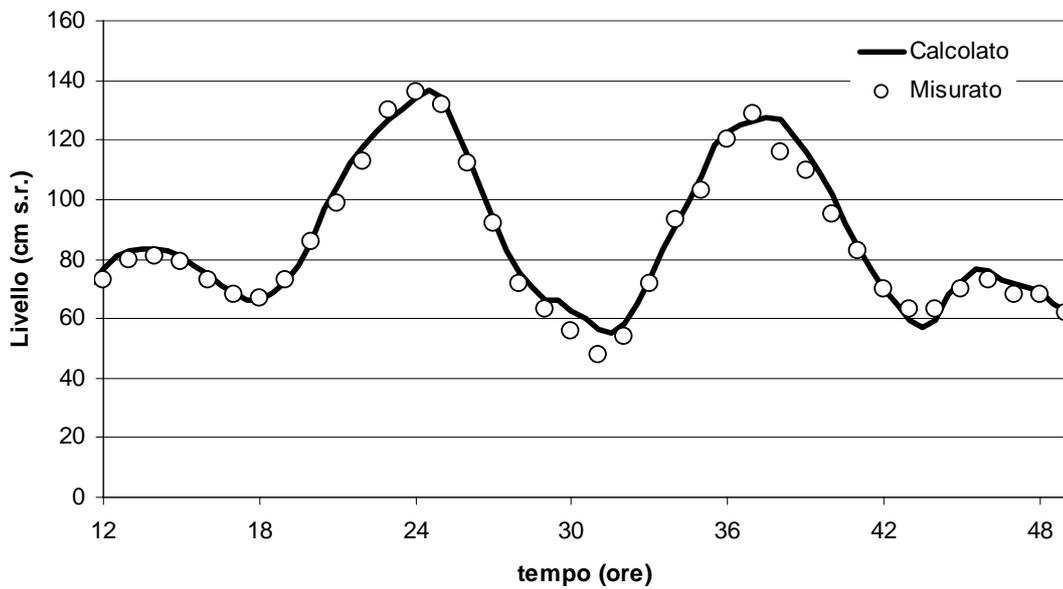


Figura 7 – Marea del 23-25 Novembre 1987: confronto tra i livelli misurati e calcolati dal modello a Punta della Salute.

5-6 Ottobre 1982 - Livelli a Punta della Salute

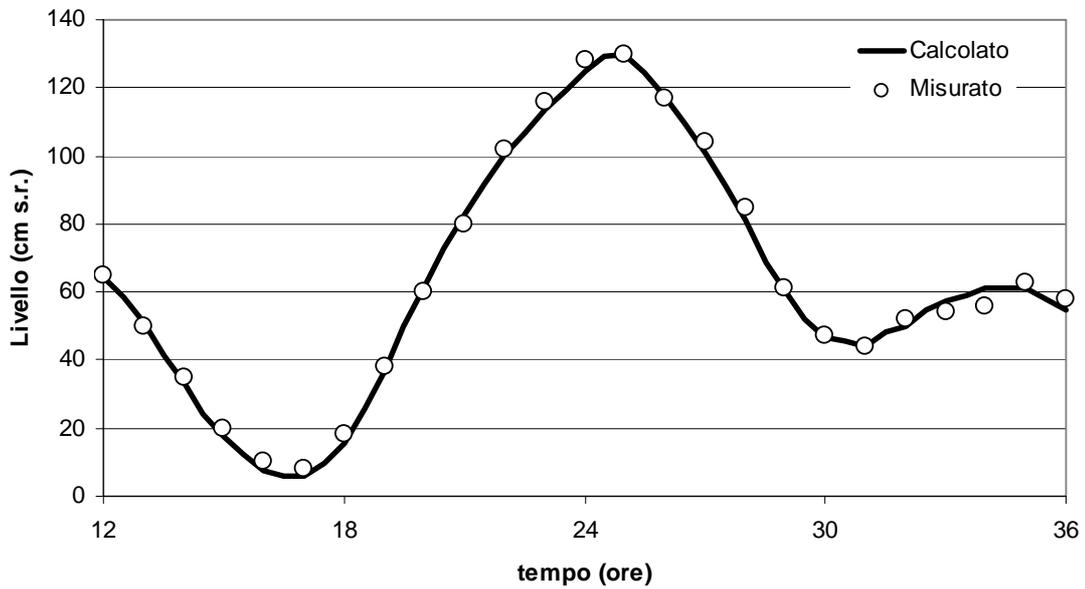


Figura 8 – Marea del 5-6 Ottobre 1982: confronto tra i livelli misurati e calcolati dal modello a Punta della Salute.

21-22 Dicembre 1981 - Livelli a Punta della Salute

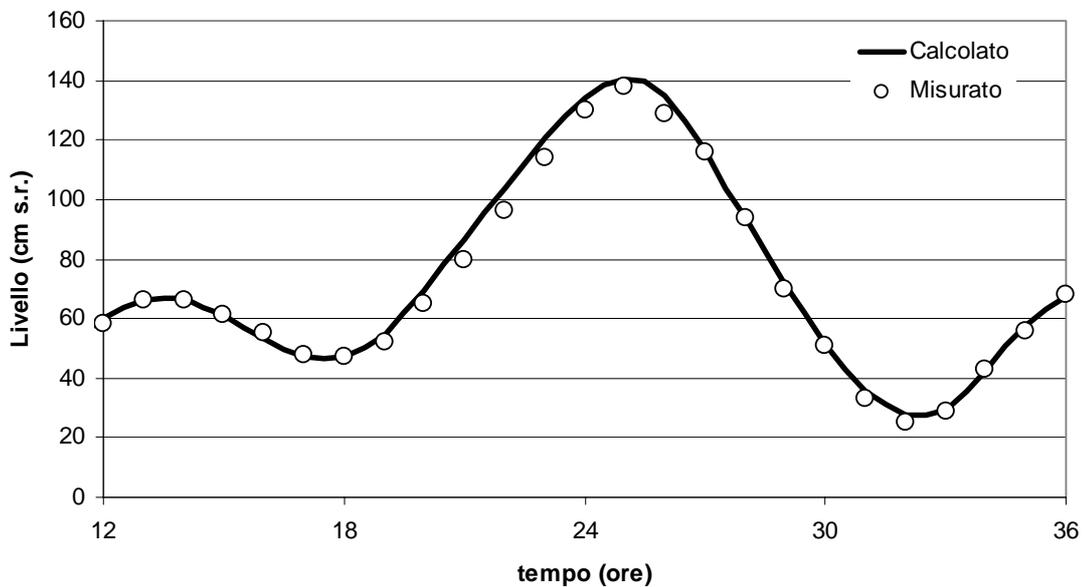


Figura 9 – Marea del 21-22 Dicembre 1981: confronto tra i livelli misurati e calcolati dal modello a Punta della Salute.

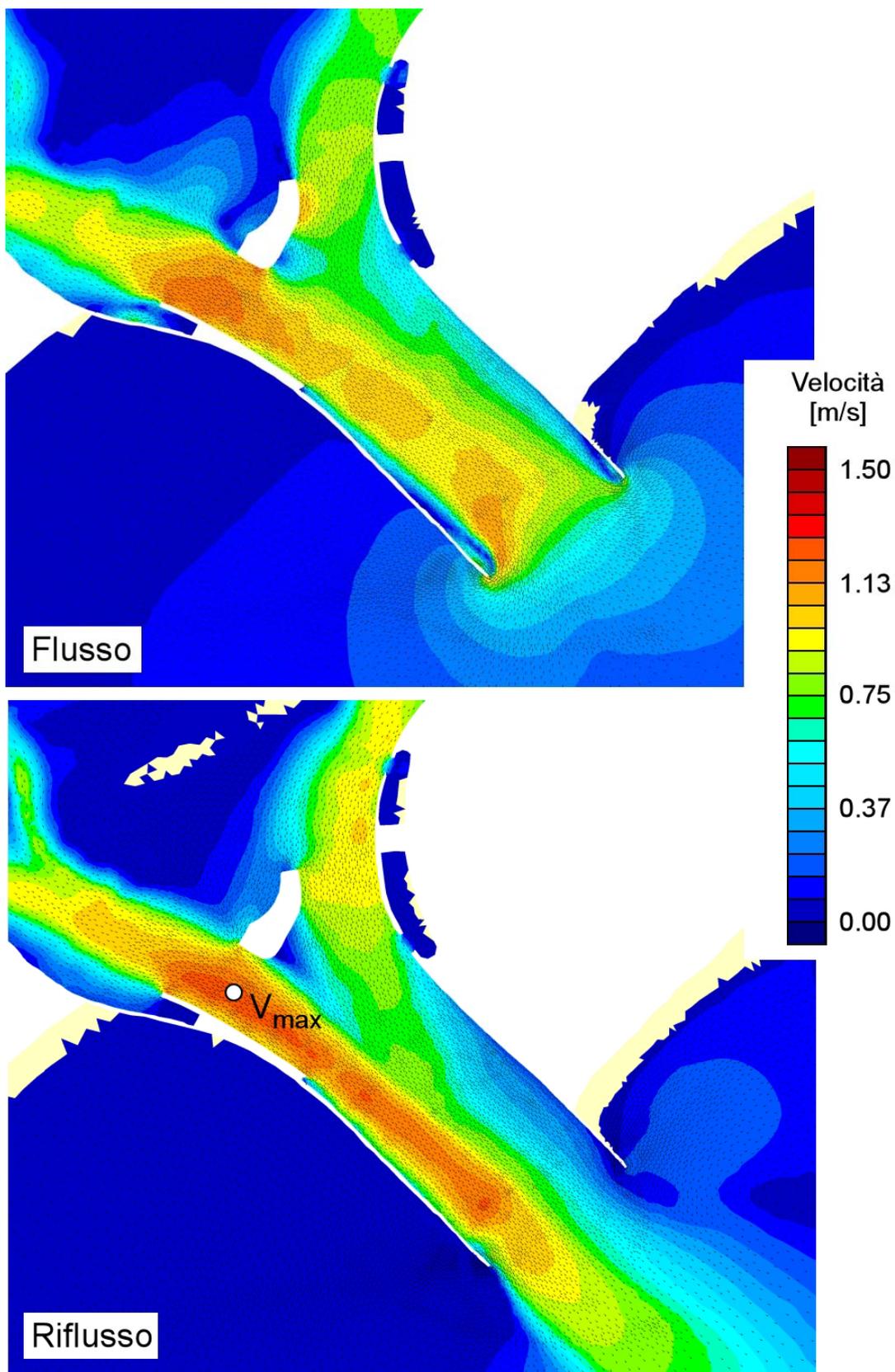


Figura 10 – Distribuzione spaziale delle velocità istantanee calcolate dal modello nell'istante di massimo flusso e massimo riflusso per la bocca di Lido nella configurazione attuale durante una delle maree analizzate (Aprile 1997).

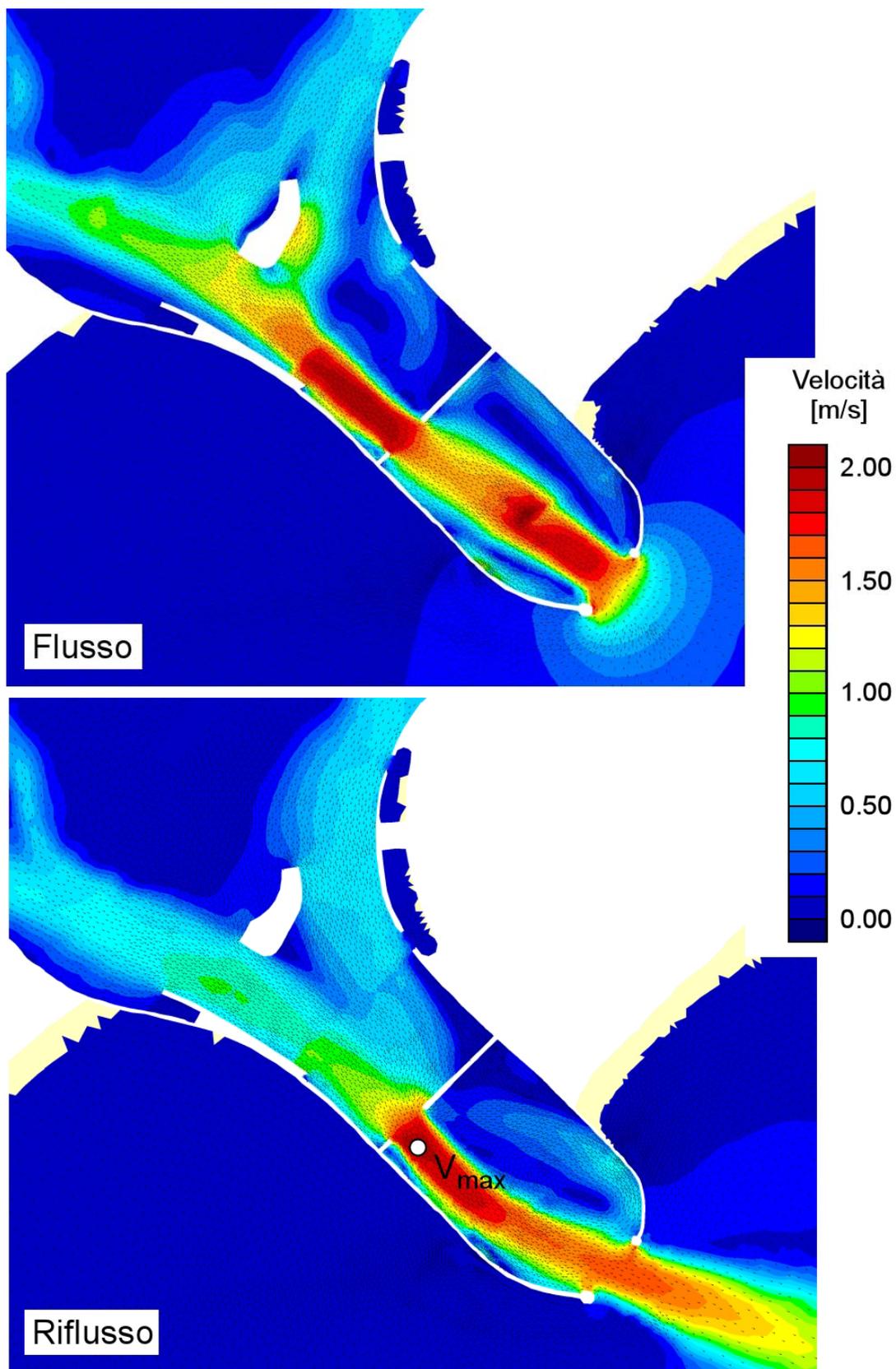


Figura 11 – Distribuzione spaziale delle velocità istantanee calcolate dal modello nell'istante di massimo flusso e massimo riflusso per la bocca di Lido nella configurazione finale di progetto (stato3) durante una delle maree analizzate (Aprile 1997).

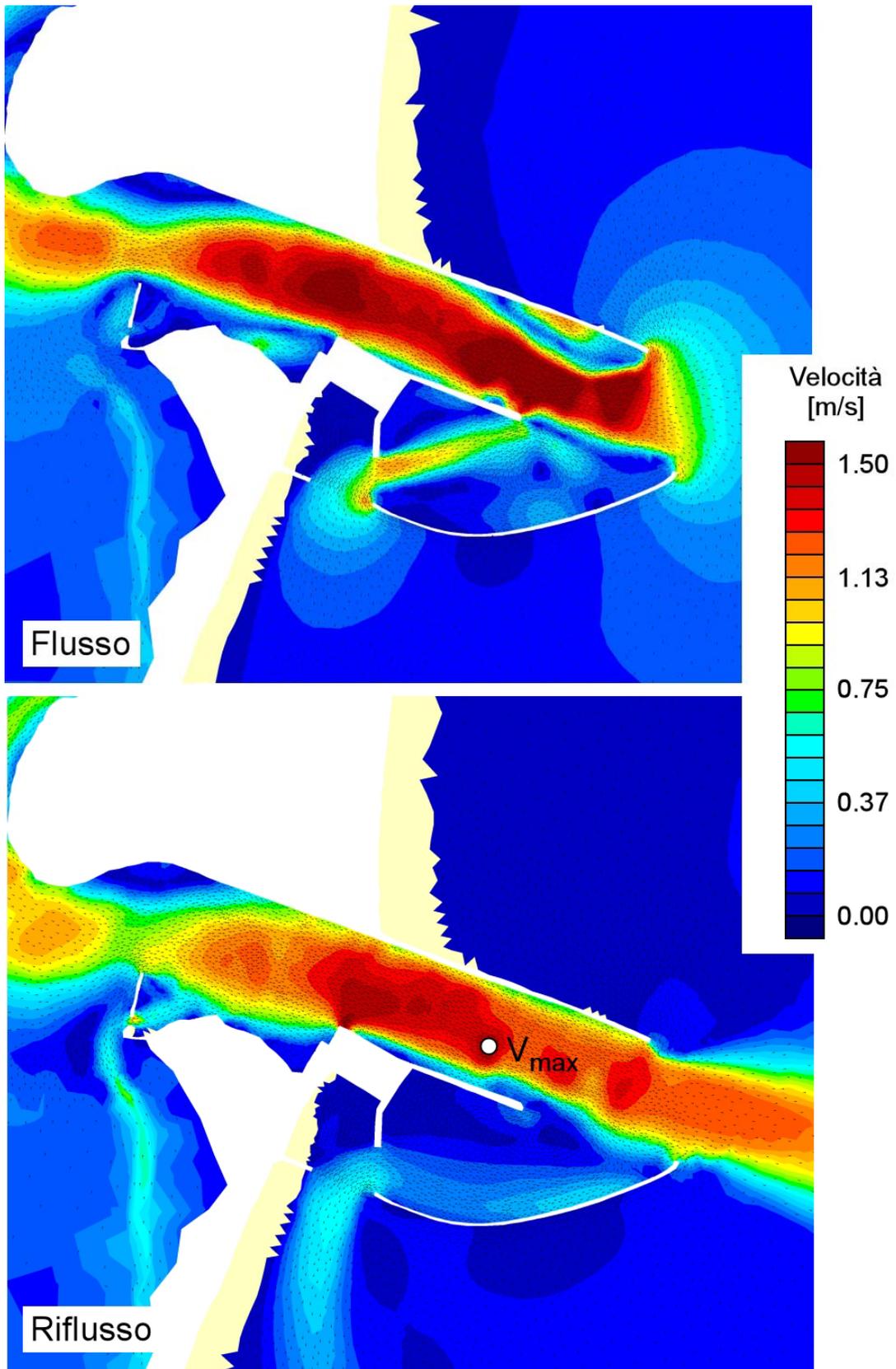


Figura 12 – Distribuzione spaziale delle velocità istantanee calcolate dal modello nell'istante di massimo flusso e massimo riflusso per la bocca di Malamocco nella configurazione attuale durante una delle maree analizzate (Aprile 1997).

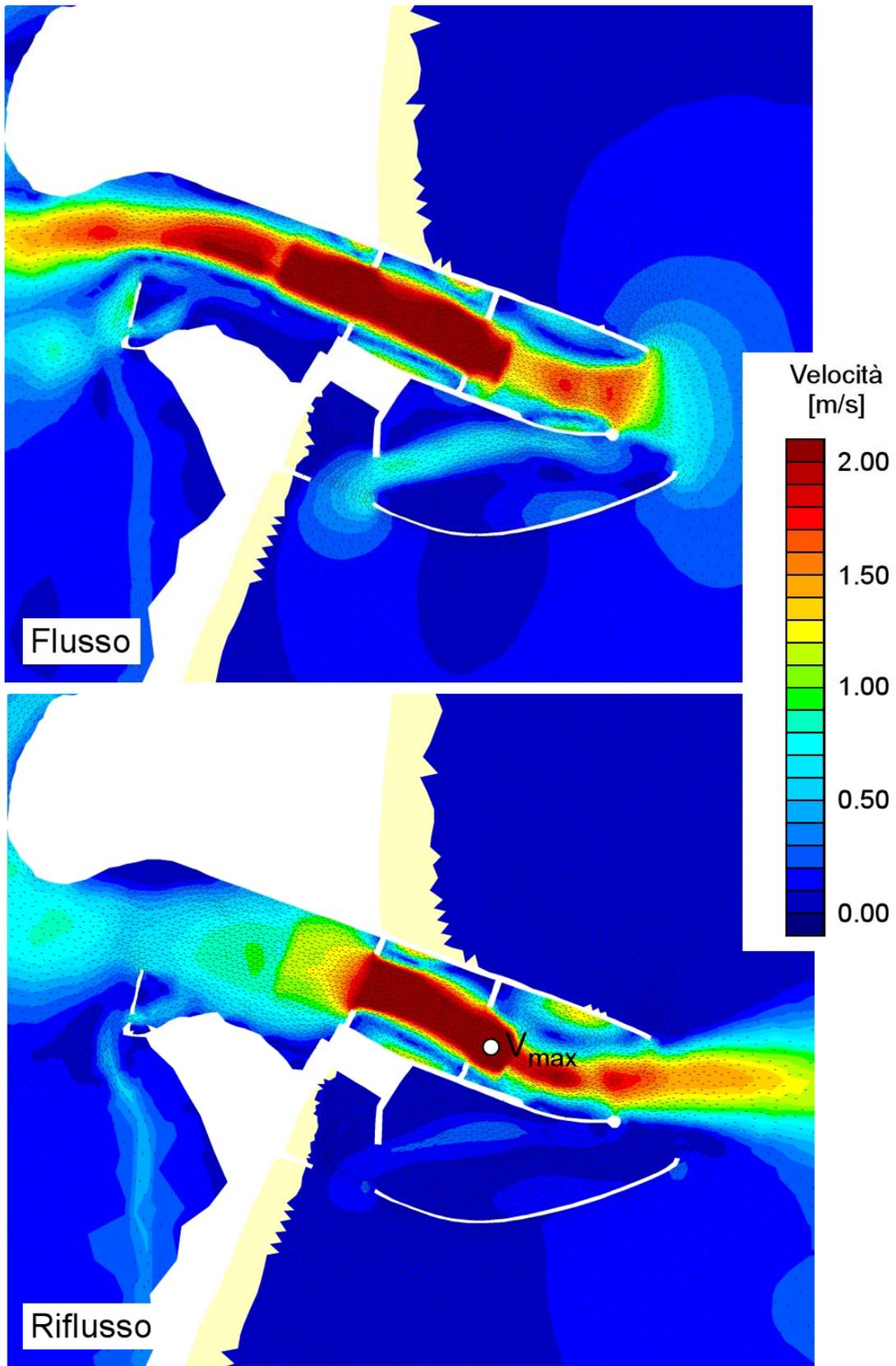


Figura 13 – Distribuzione spaziale delle velocità istantanee calcolate dal modello nell'istante di massimo flusso e massimo riflusso per la bocca di Malamocco nella configurazione finale di progetto (stato3) durante una delle maree analizzate (Aprile 1997).

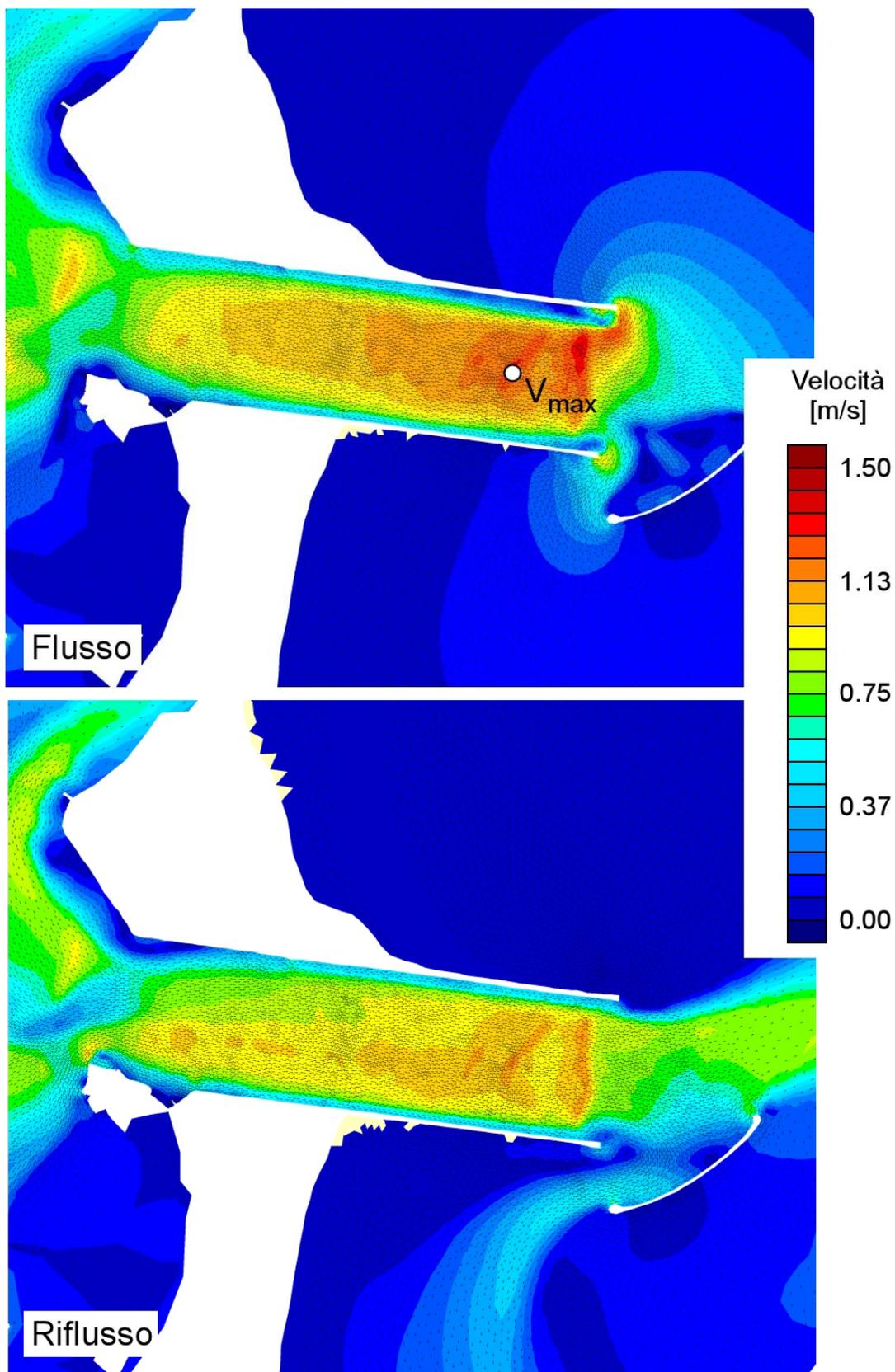


Figura 14 – Distribuzione spaziale delle velocità istantanee calcolate dal modello nell'istante di massimo flusso e massimo riflusso per la bocca di Chioggia nella configurazione attuale durante una delle maree analizzate (Aprile 1997).

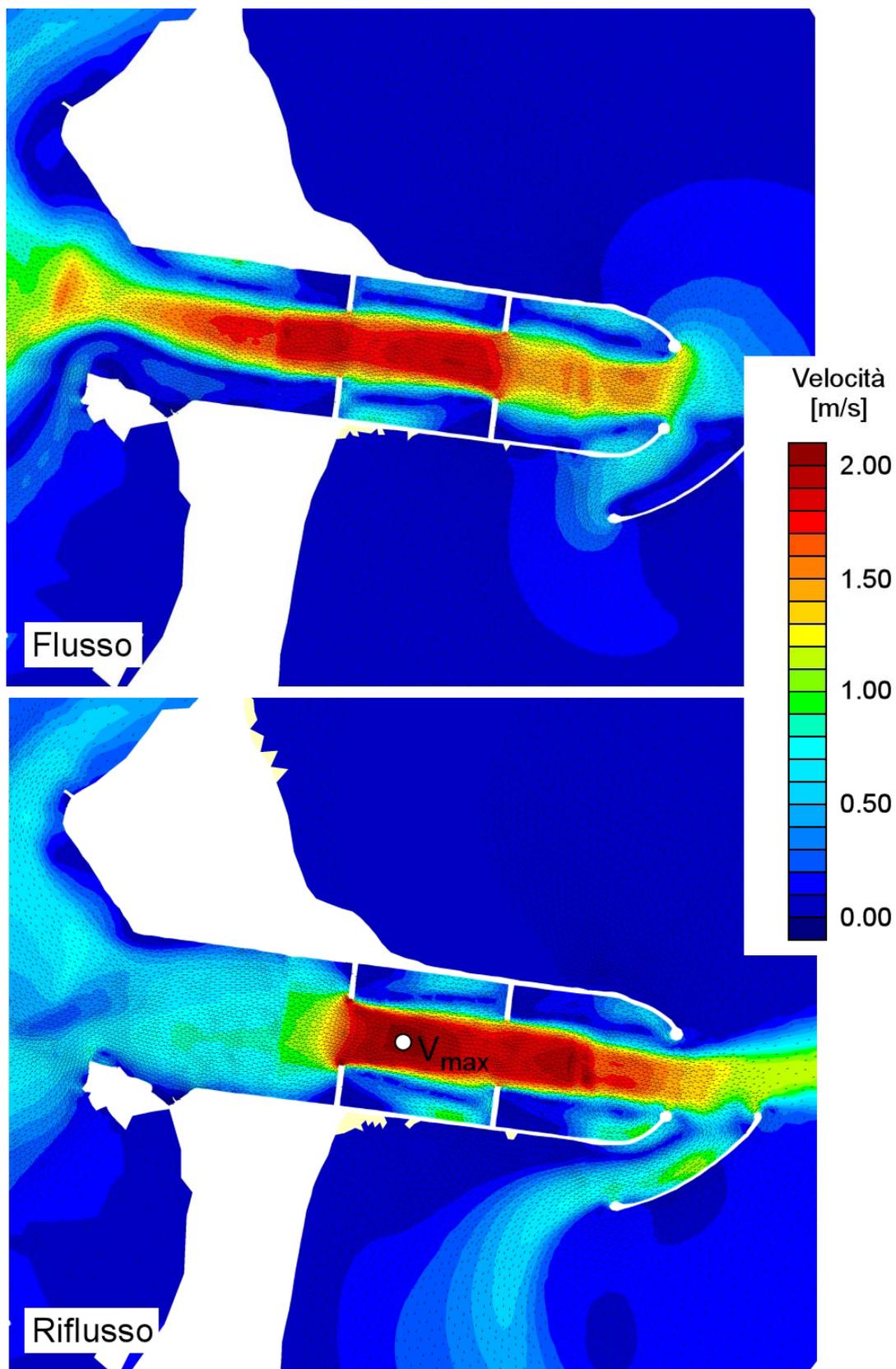


Figura 15 – Distribuzione spaziale delle velocità istantanee calcolate dal modello nell'istante di massimo flusso e massimo riflusso per la bocca di Chioggia nella configurazione finale di progetto (stato3) durante una delle maree analizzate (Aprile 1997).

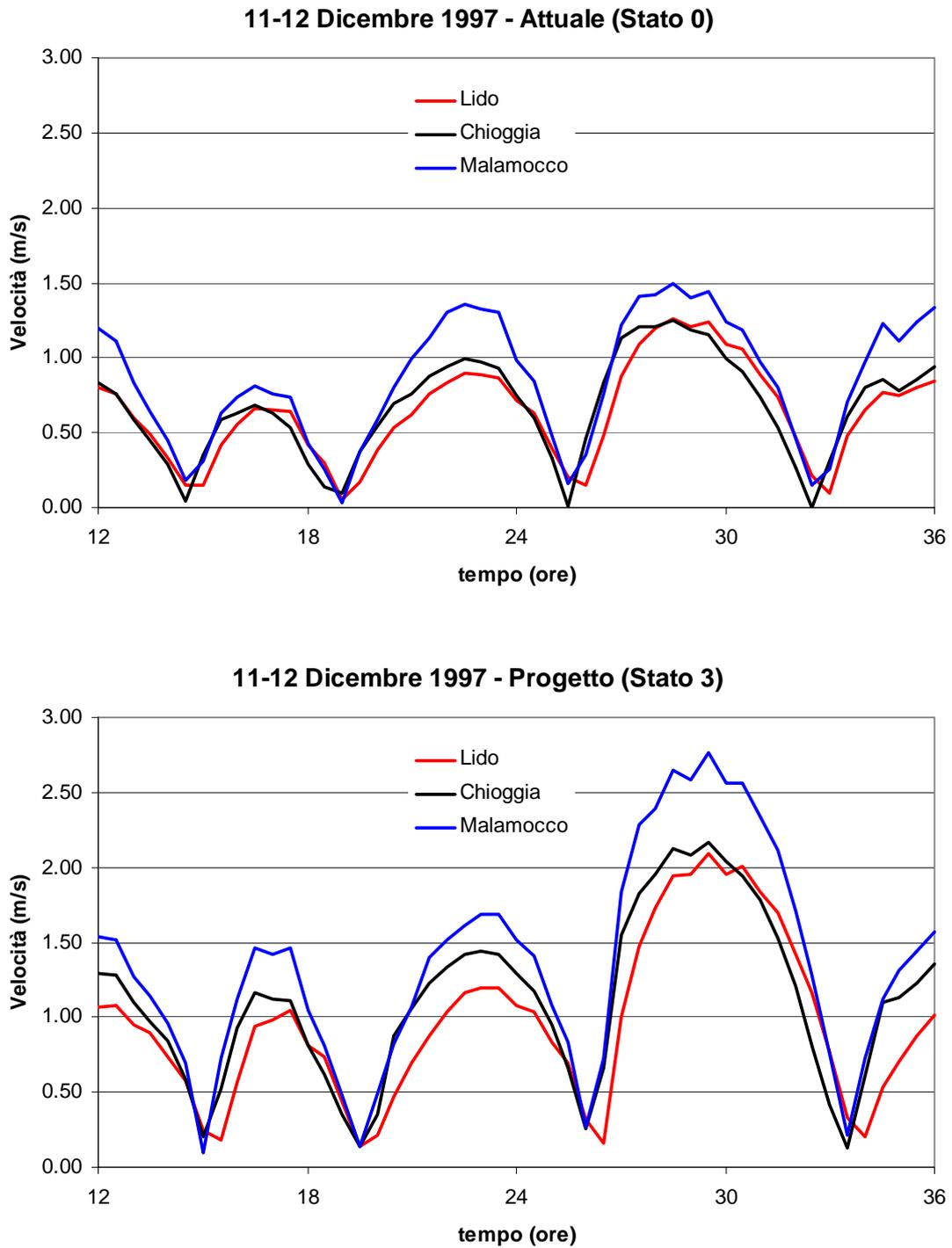


Figura 16 – Marea del 11-12 Dicembre 1997: andamento del modulo della velocità all'interno delle tre bocche di porto nel punto in cui essa raggiunge i valori massimi (vedi figure 1.4-1.9) considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

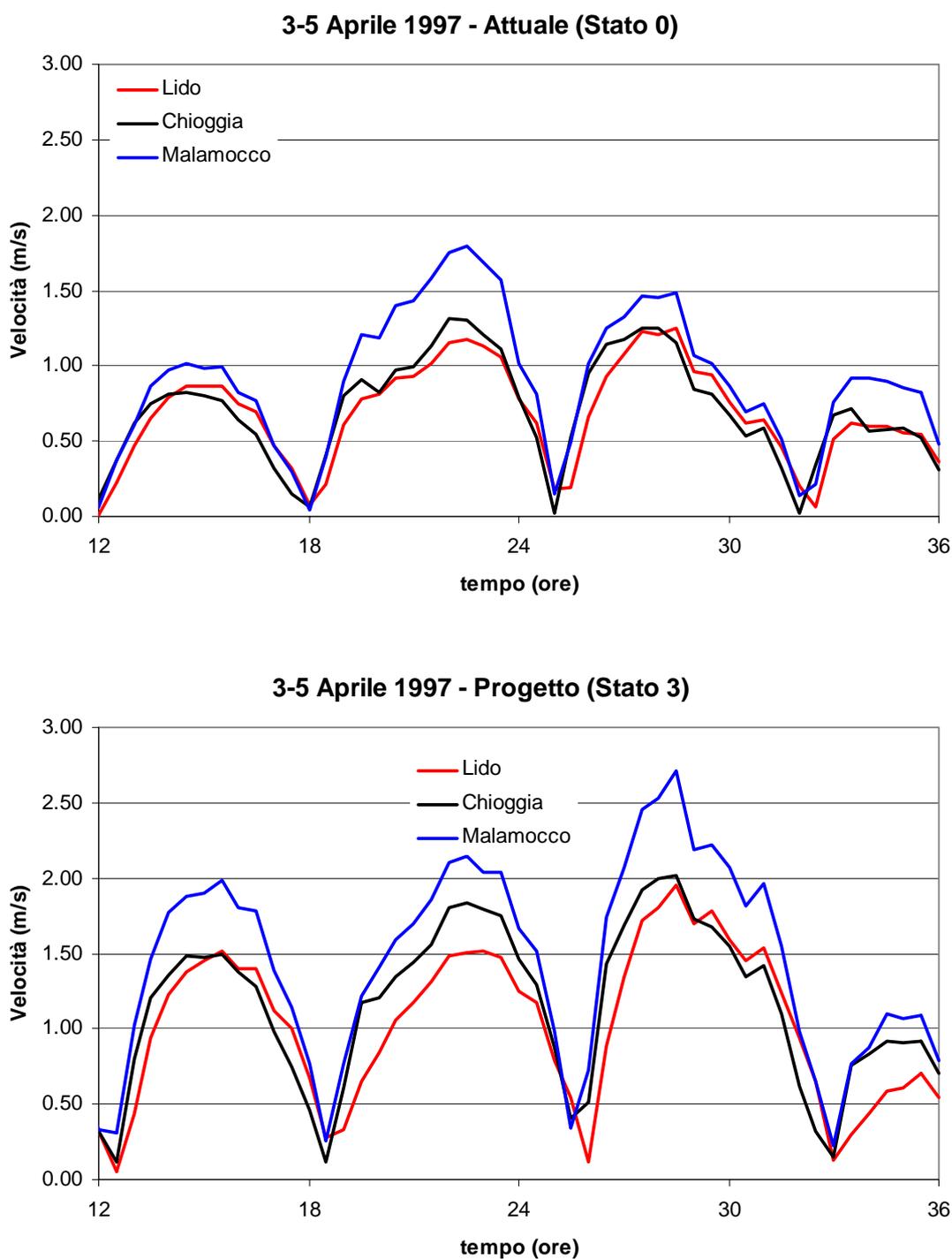


Figura 17 – Marea del 3-5 Aprile 1997: andamento del modulo della velocità all’interno delle tre bocche di porto nel punto in cui essa raggiunge i valori massimi (vedi figure 4-9) considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

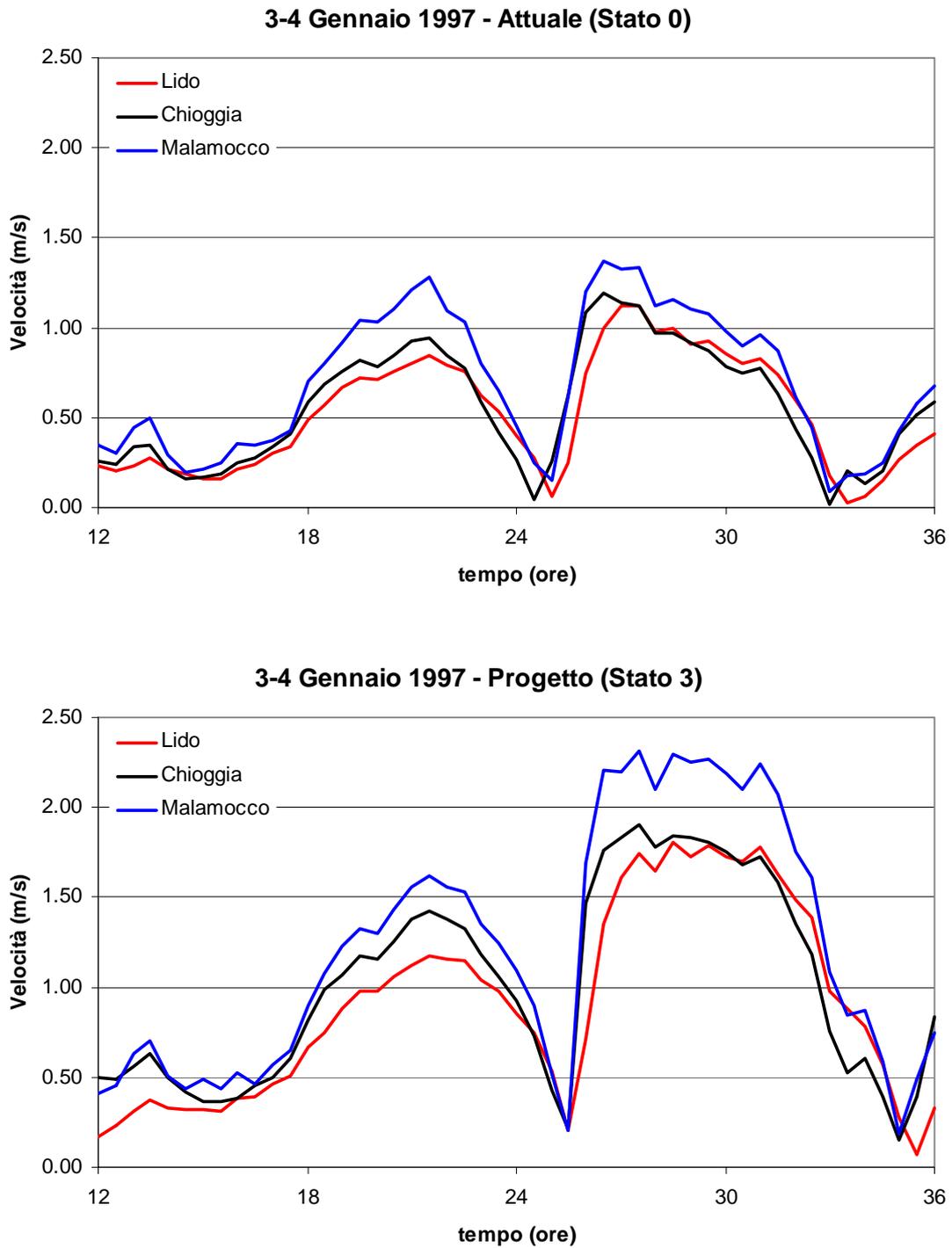


Figura 18 – Marea del 3-4 Gennaio 1997: andamento del modulo della velocità all'interno delle tre bocche di porto nel punto in cui essa raggiunge i valori massimi (vedi figure 4-9) considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

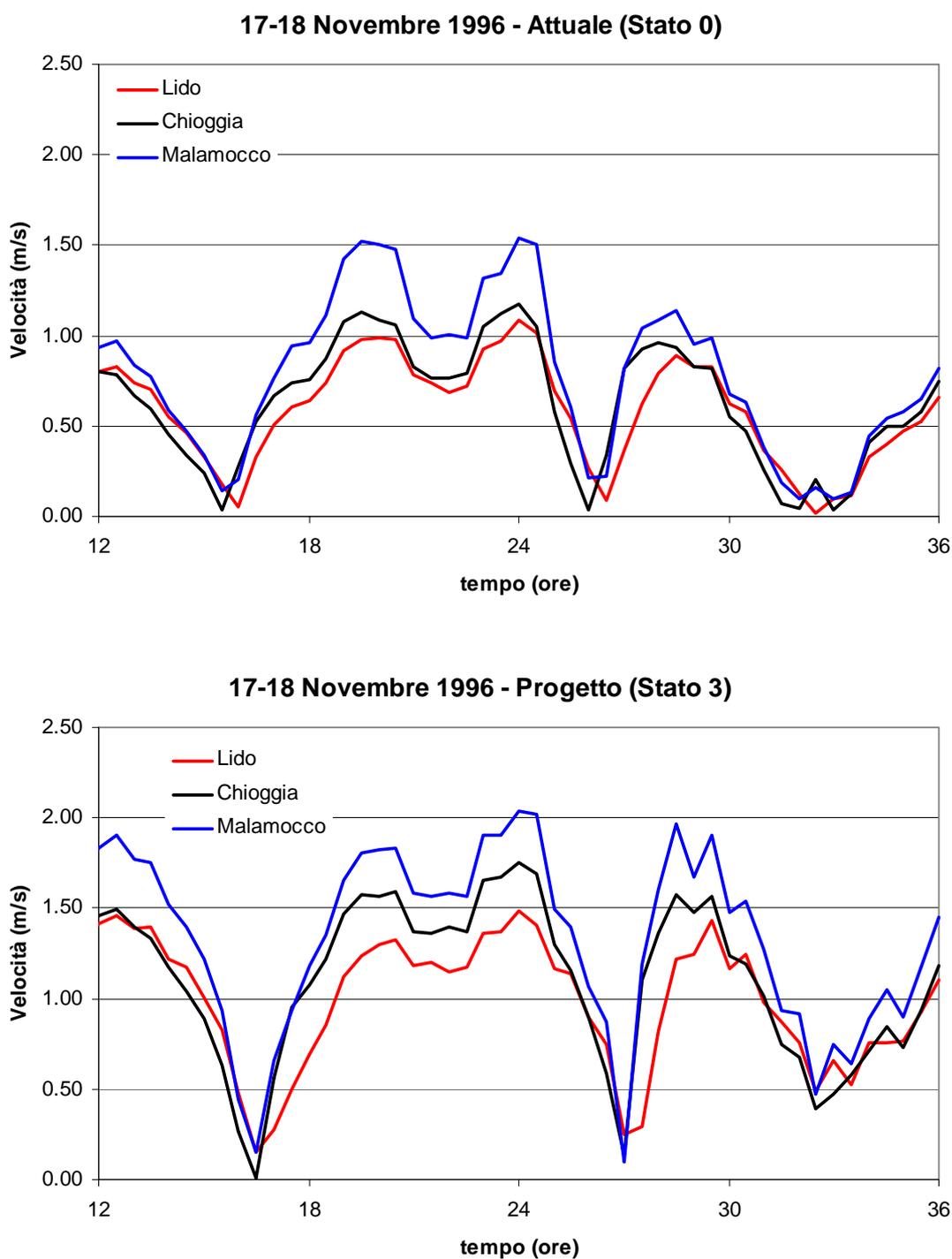


Figura 19 – Marea del 17-18 Novembre 1996: andamento del modulo della velocità all'interno delle tre bocche di porto nel punto in cui essa raggiunge i valori massimi (vedi figure 4-9) considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

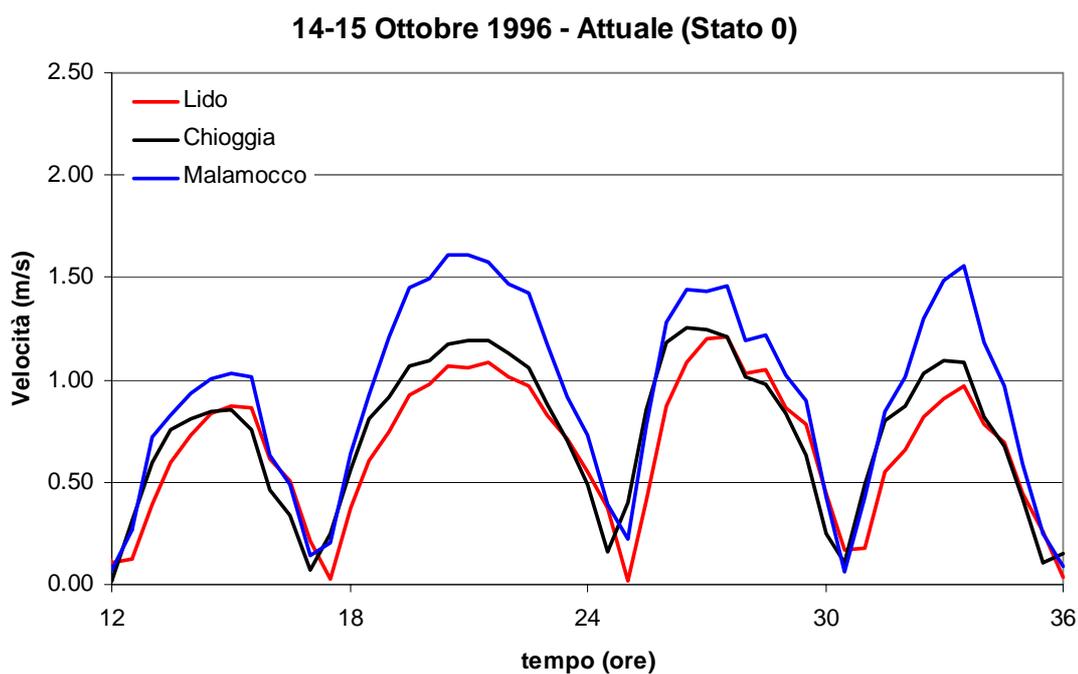


Figura 20 – Marea del 14-15 Ottobre 1996: andamento del modulo della velocità all'interno delle tre bocche di porto nel punto in cui essa raggiunge i valori massimi (vedi figure 4-9) considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

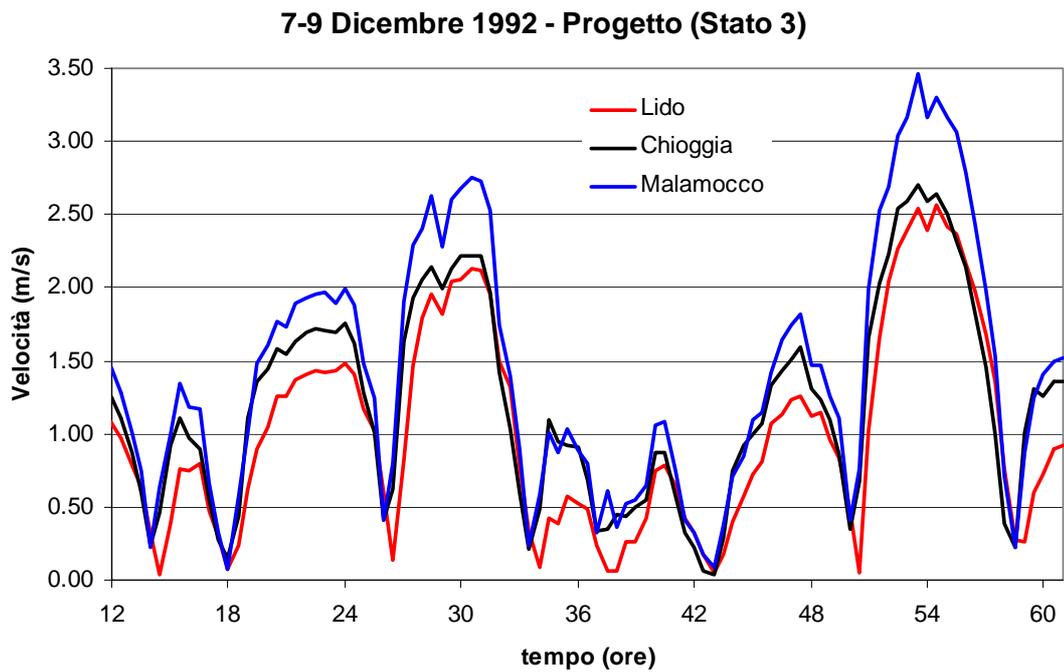
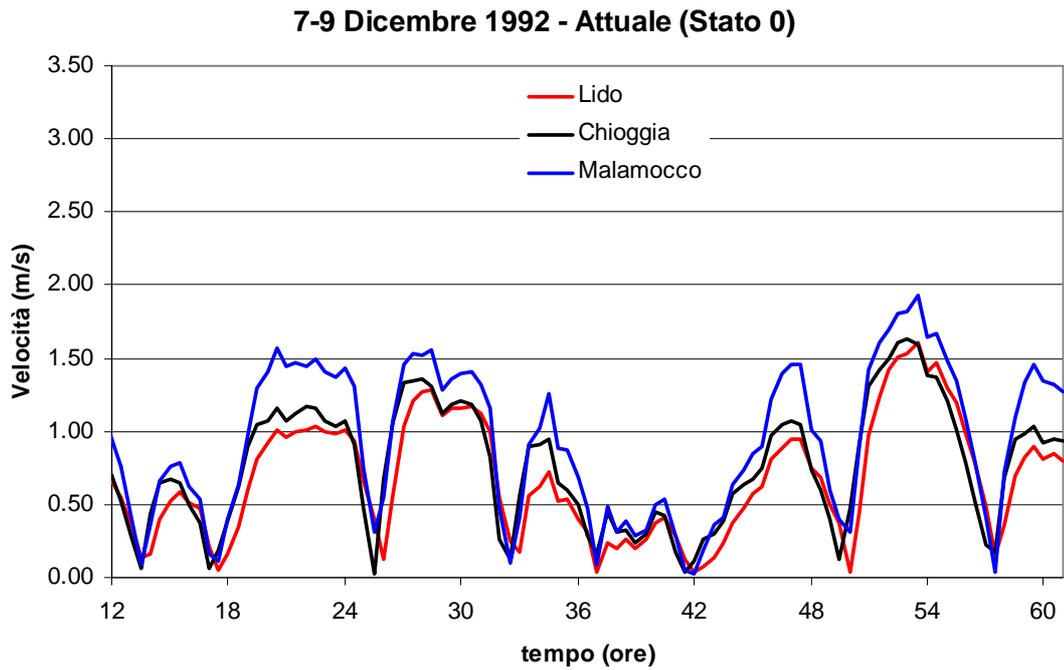


Figura 21 – Marea del 7-9 Dicembre 1992: andamento del modulo della velocità all'interno delle tre bocche di porto nel punto in cui essa raggiunge i valori massimi (vedi figure 4-9) considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

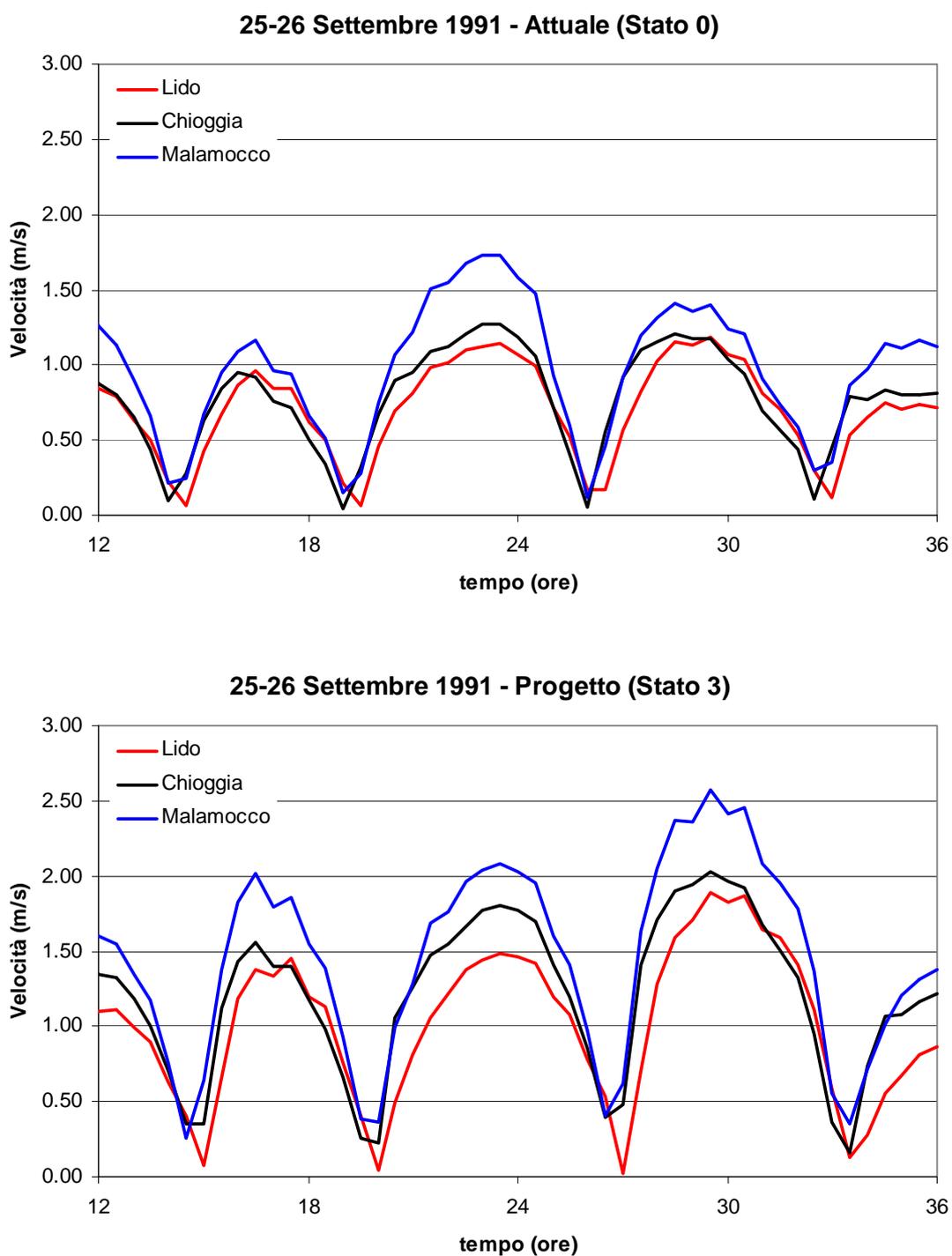


Figura 22 – Marea del 25-26 Settembre 1991: andamento del modulo della velocità all'interno delle tre bocche di porto nel punto in cui essa raggiunge i valori massimi (vedi figure 4-9) considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

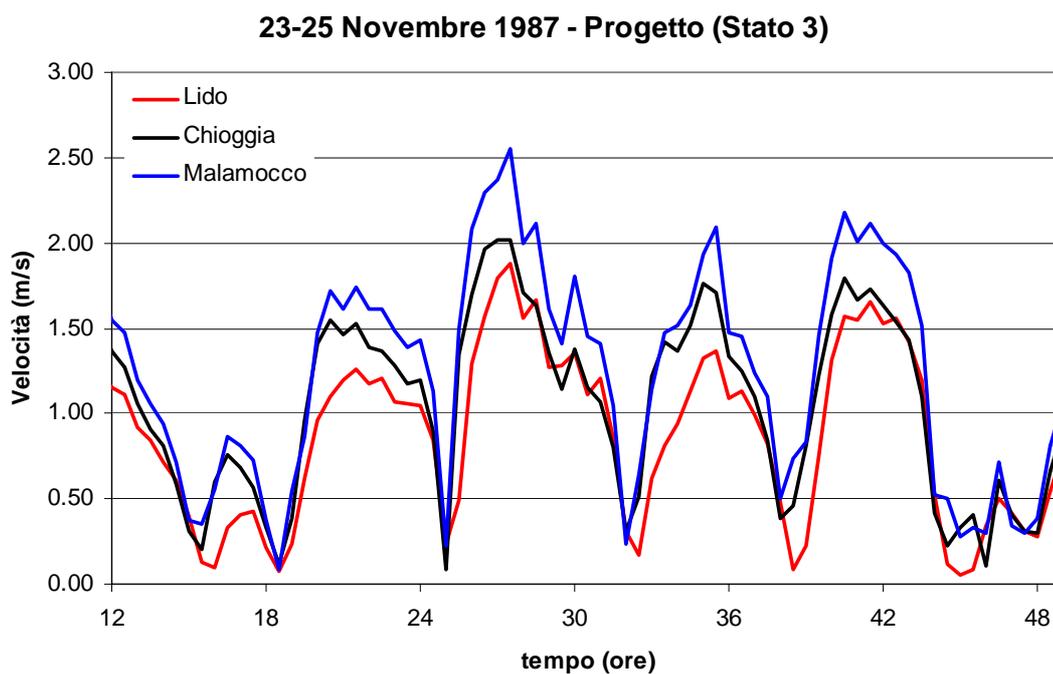
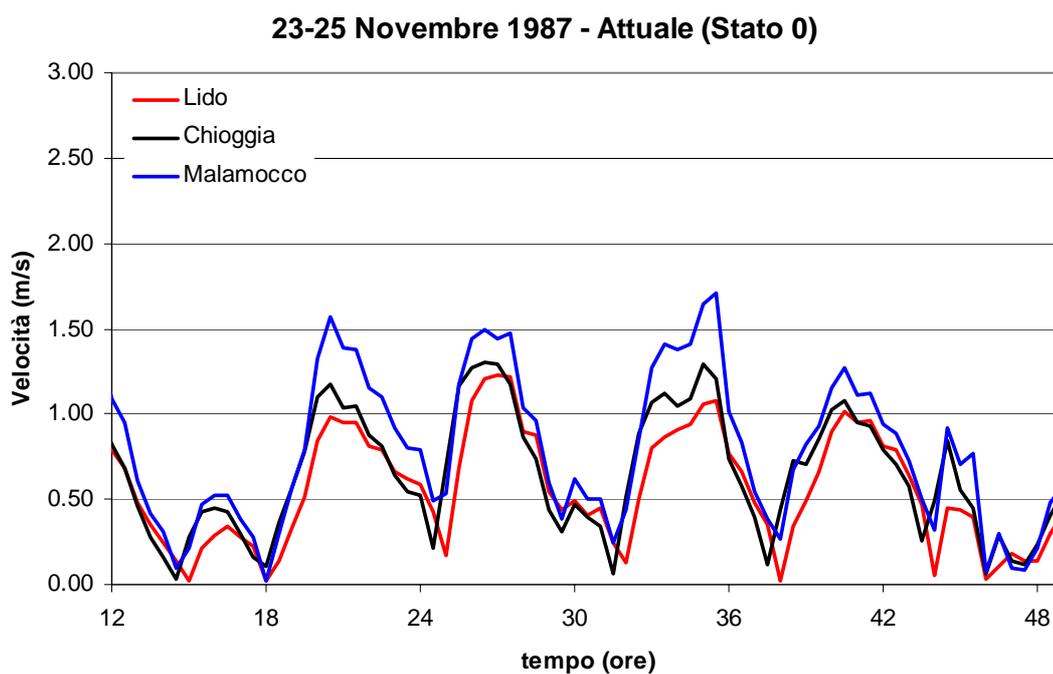


Figura 23 – Marea del 23-25 Novembre 1987: andamento del modulo della velocità all'interno delle tre bocche di porto nel punto in cui essa raggiunge i valori massimi (vedi figure 4-9) considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

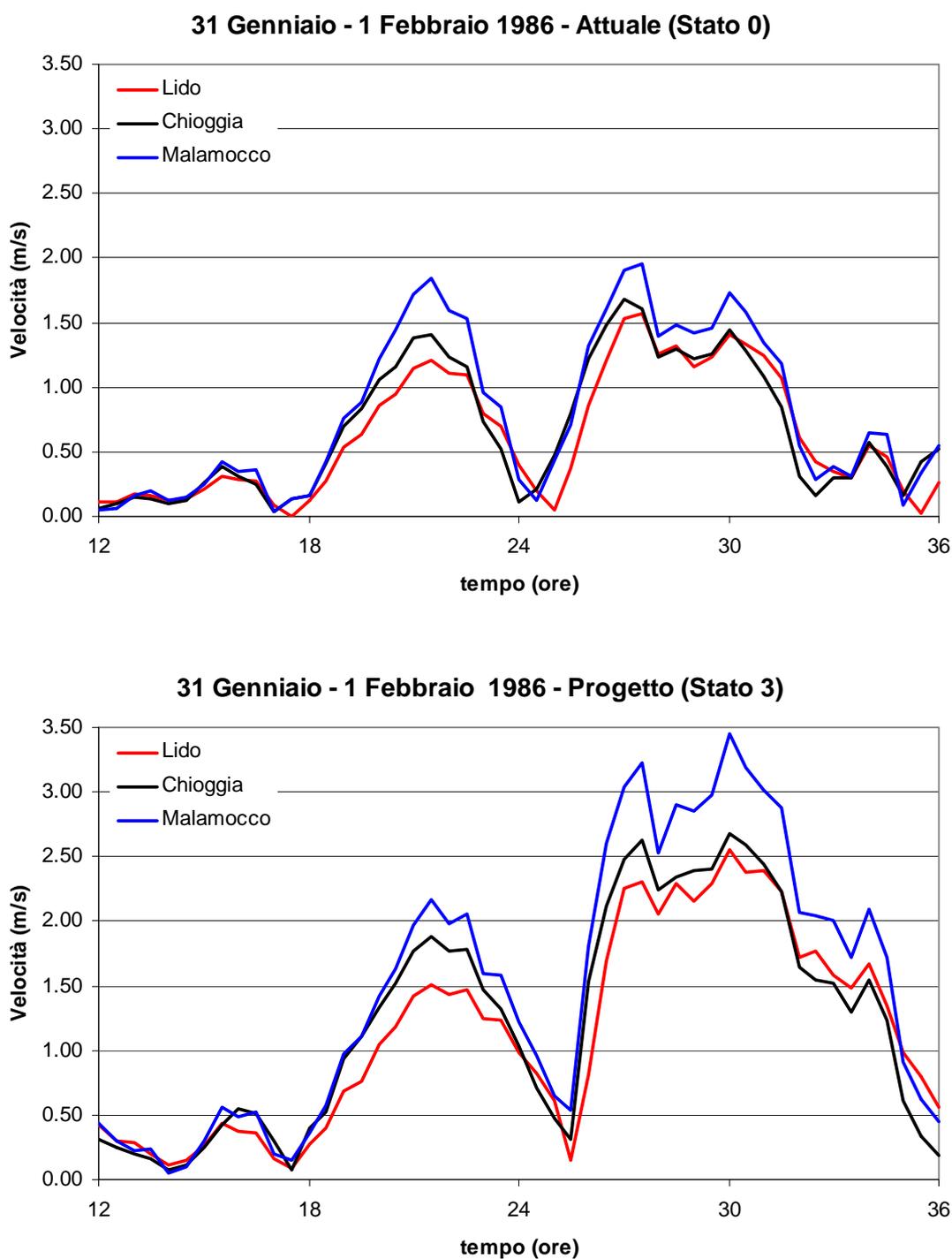


Figura 24 – Marea del 31 Gennaio – 1 Febbraio 1986: andamento del modulo della velocità all'interno delle tre bocche di porto nel punto in cui essa raggiunge i valori massimi (vedi figure 4-9) considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

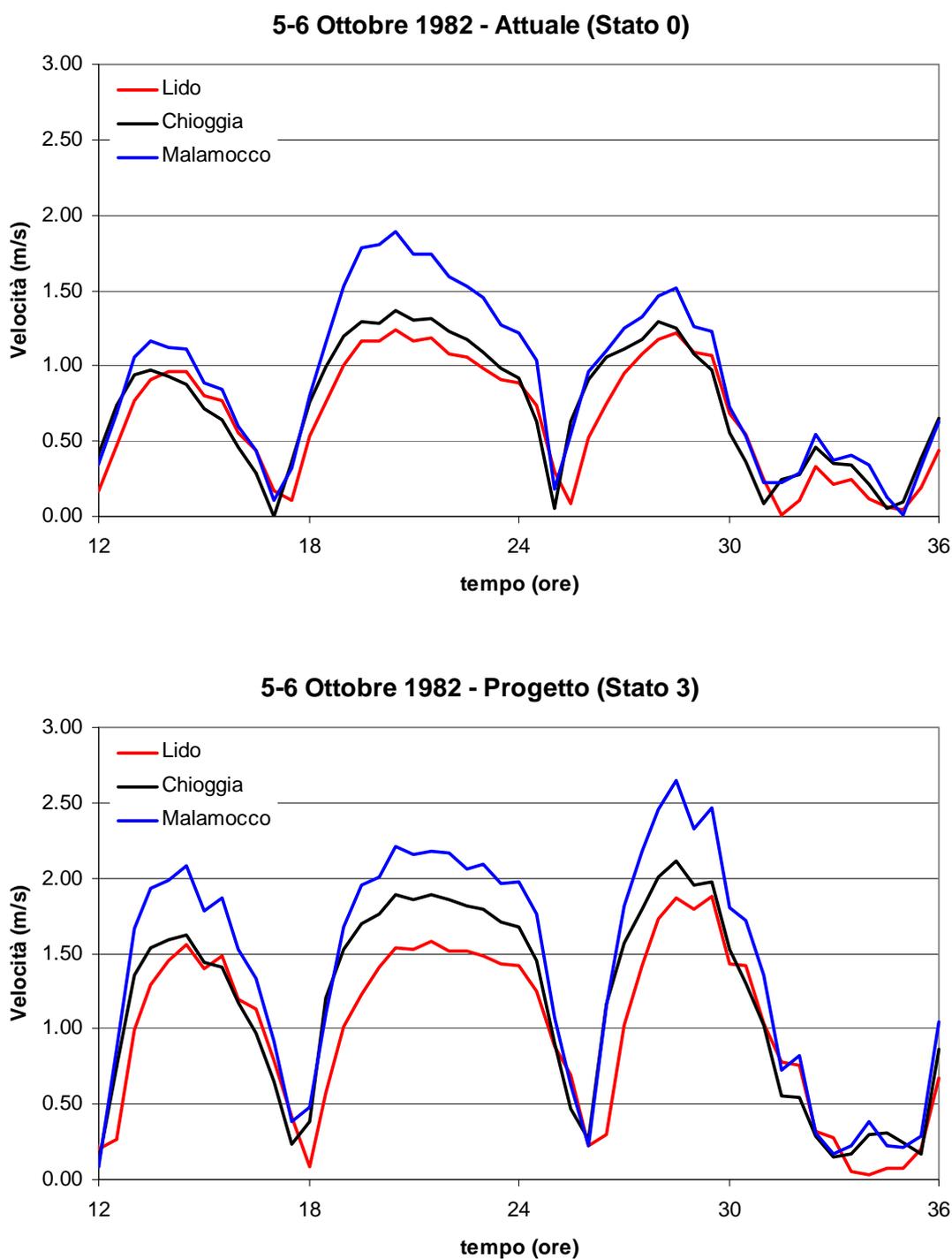


Figura 25 – Marea del 5-6 Ottobre 1982: andamento del modulo della velocità all'interno delle tre bocche di porto nel punto in cui essa raggiunge i valori massimi (vedi figure 4-9) considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

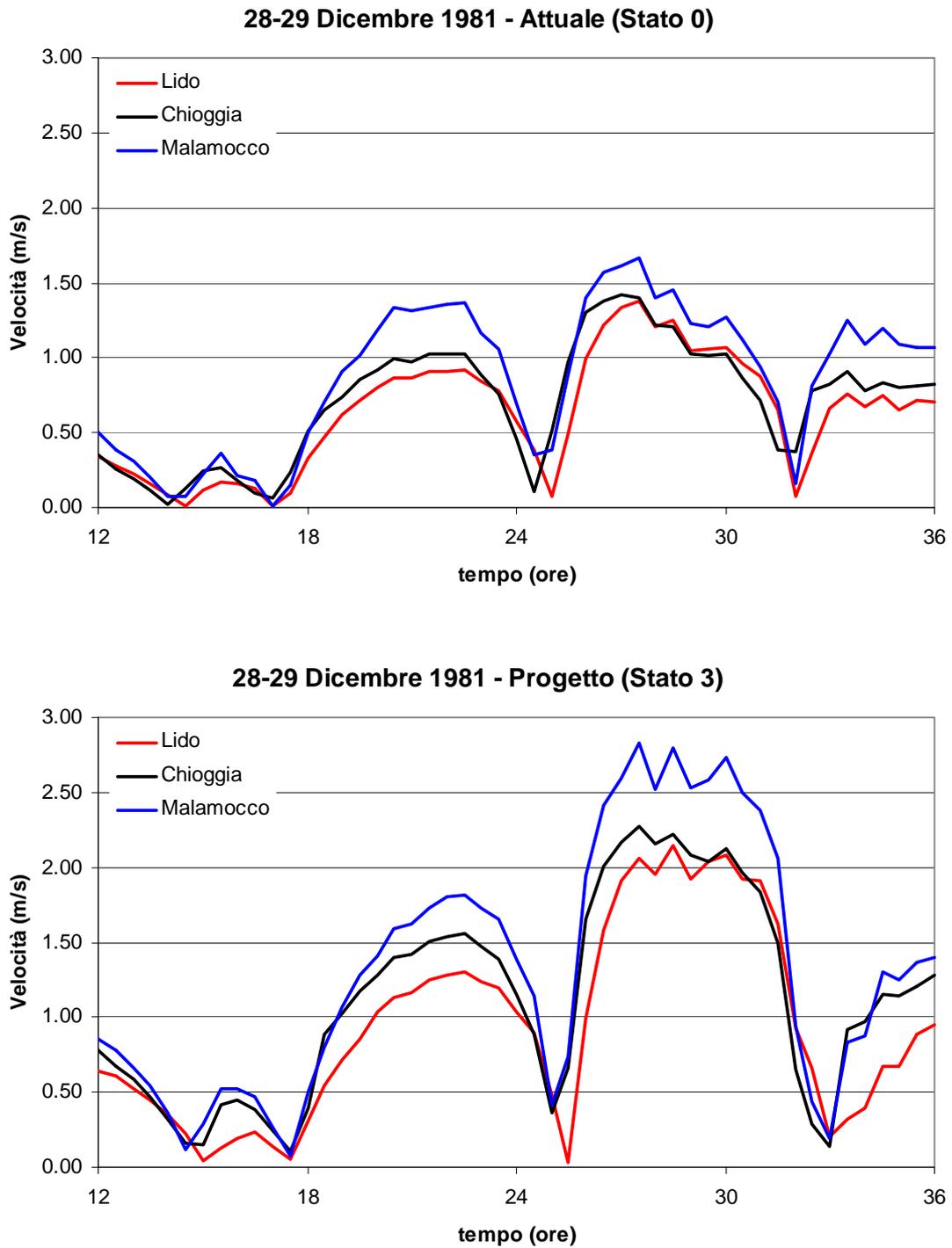


Figura 26 – Marea del 28-29 Dicembre 1981: andamento del modulo della velocità all'interno delle tre bocche di porto nel punto in cui essa raggiunge i valori massimi (vedi figure 4-9) considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

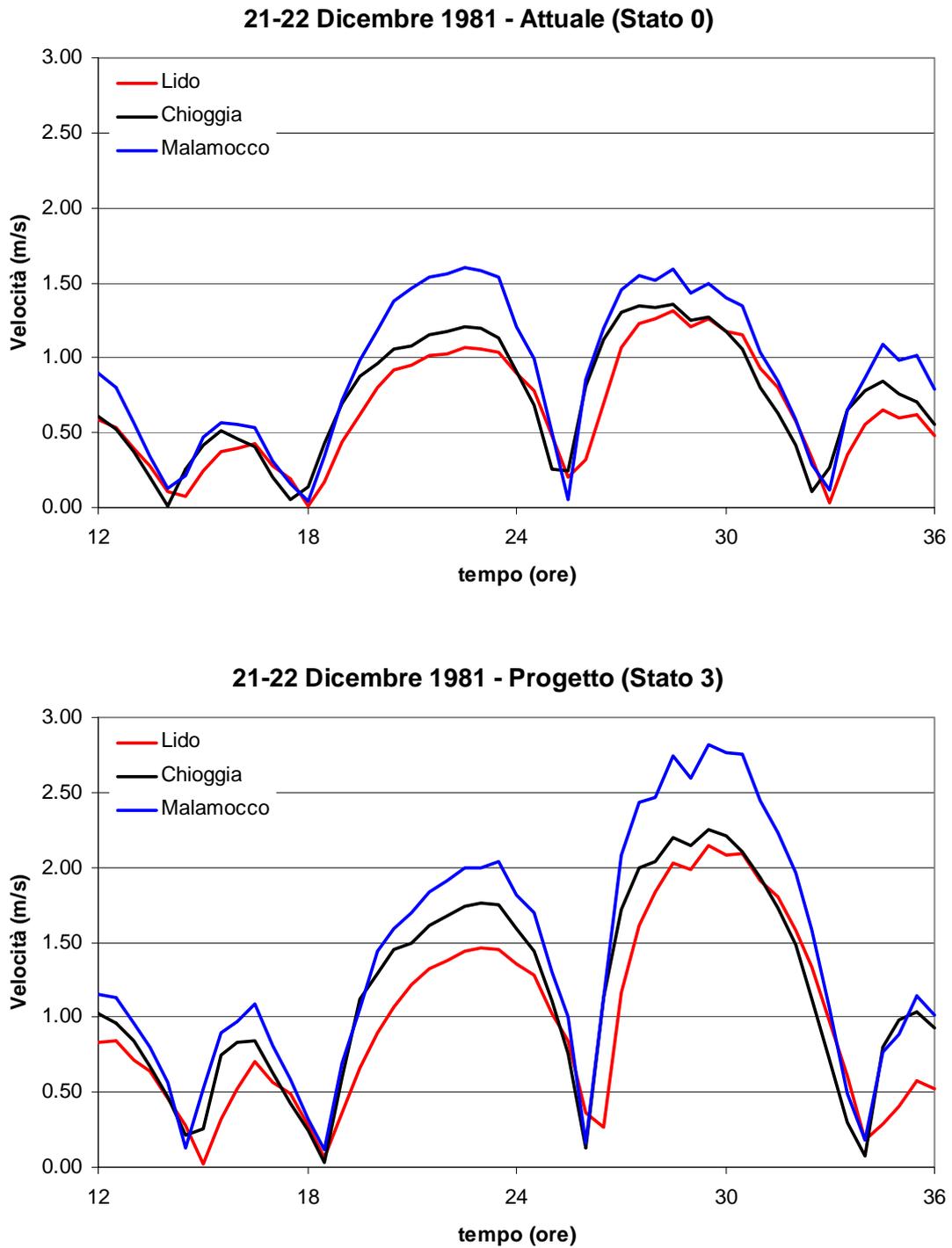


Figura 27 – Marea del 21-22 Dicembre 1981: andamento del modulo della velocità all'interno delle tre bocche di porto nel punto in cui essa raggiunge i valori massimi (vedi figure 4-9) considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

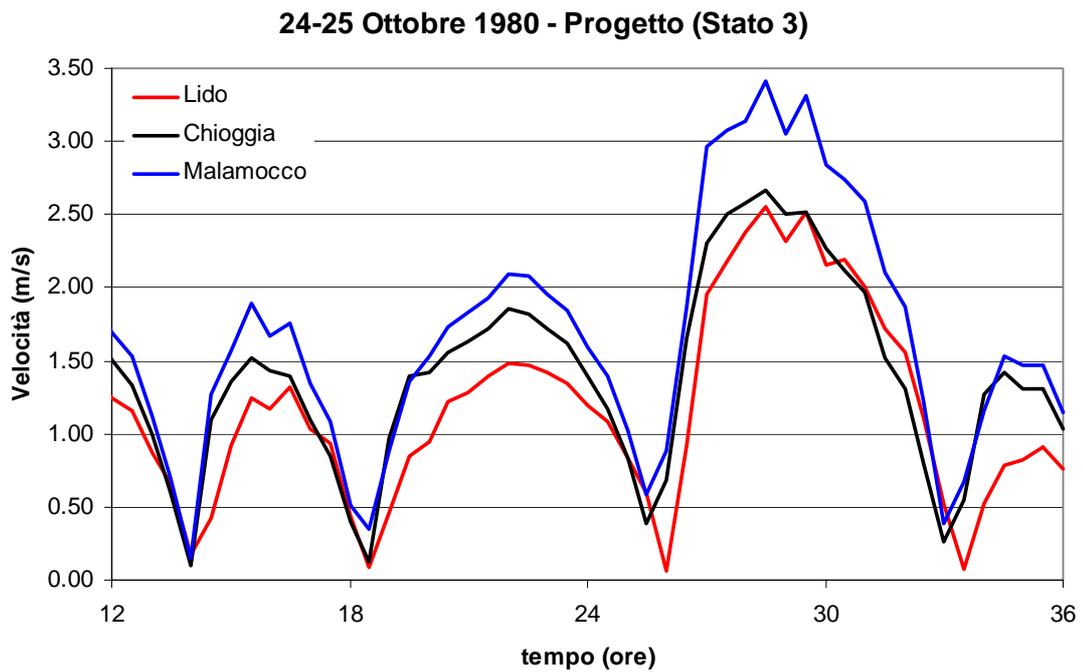
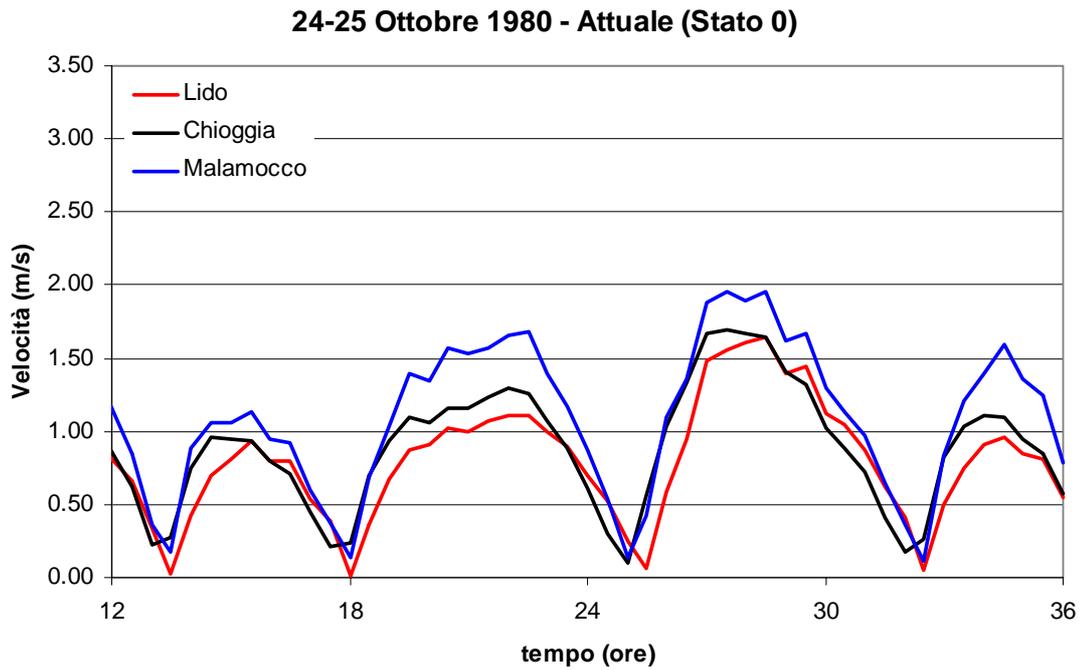


Figura 28 – Marea del 24-25 Ottobre 1980: andamento del modulo della velocità all'interno delle tre bocche di porto nel punto in cui essa raggiunge i valori massimi (vedi figure 4-9) considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

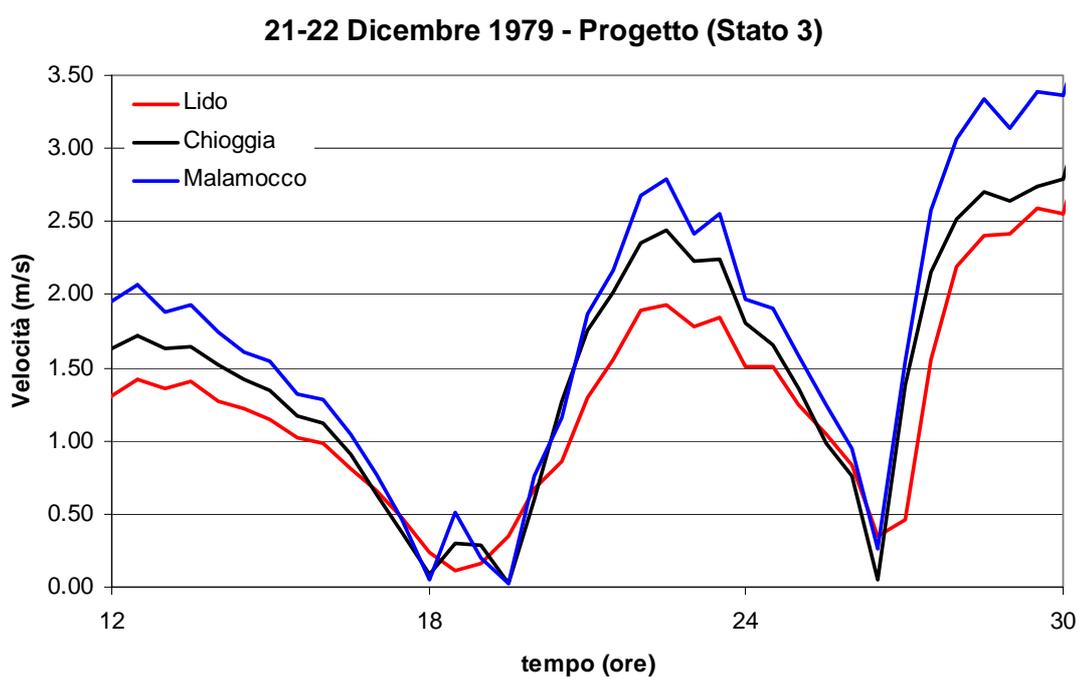
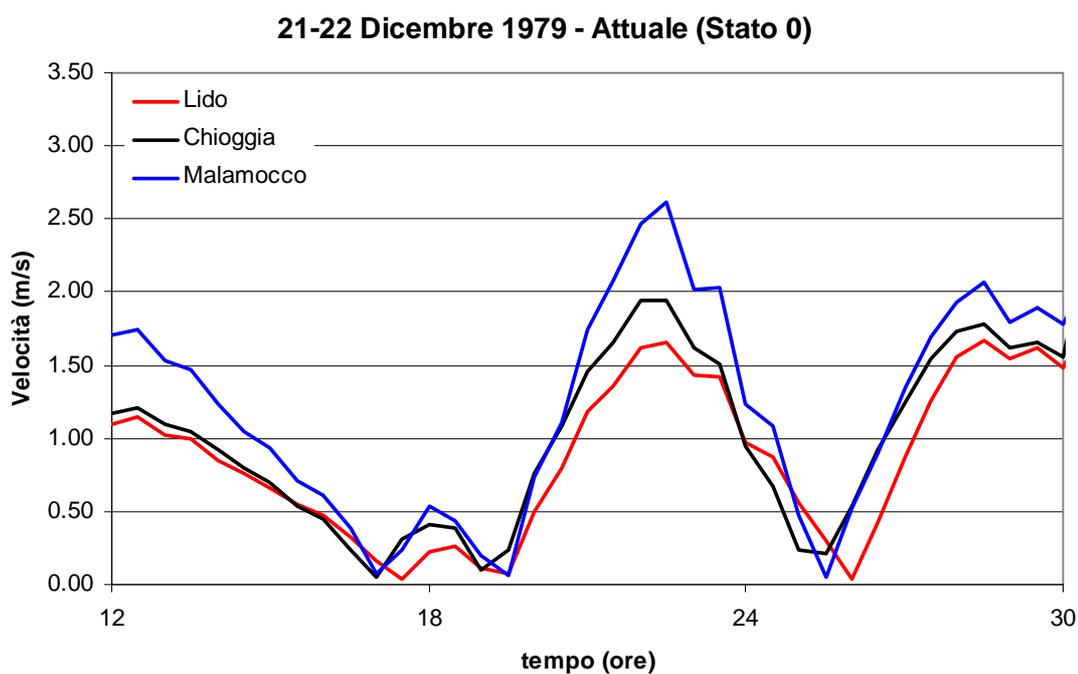


Figura 29 – Marea del 21-22 Dicembre 1979: andamento del modulo della velocità all'interno delle tre bocche di porto nel punto in cui essa raggiunge i valori massimi (vedi figure 4-9) considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

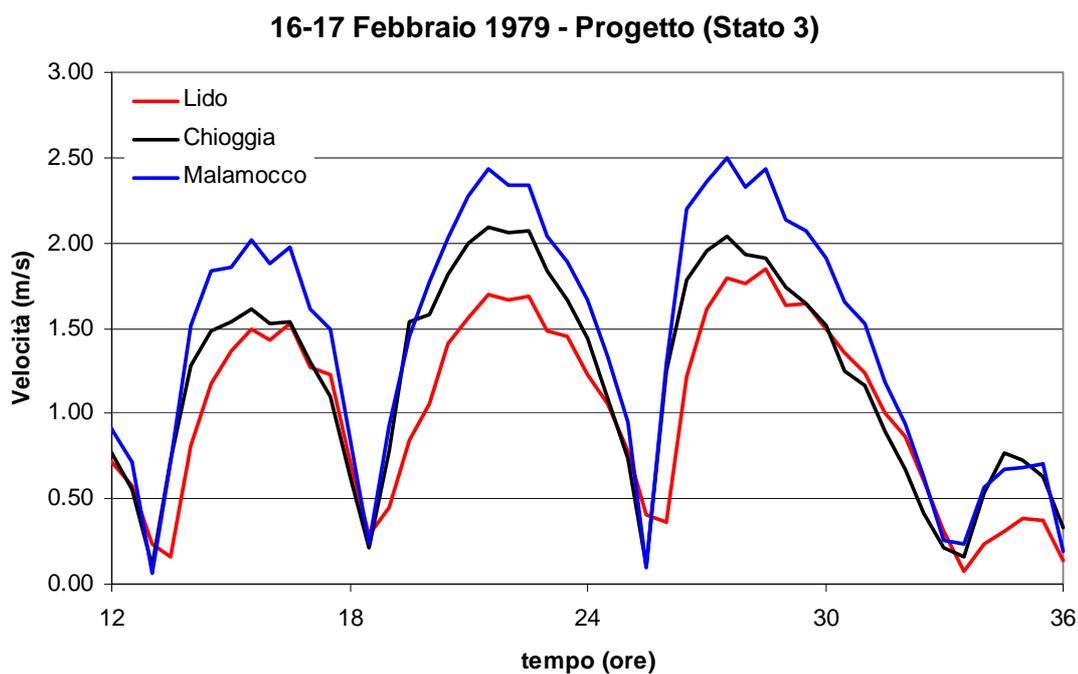
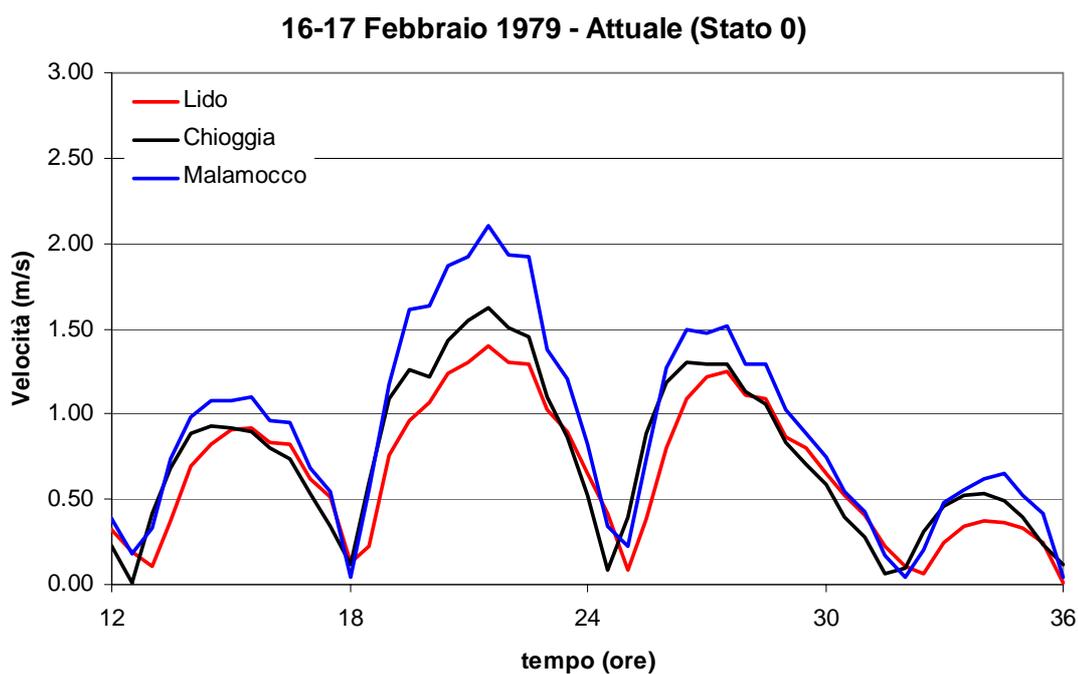


Figura 30 – Marea del 16-17 Febbraio 1979: andamento del modulo della velocità all'interno delle tre bocche di porto nel punto in cui essa raggiunge i valori massimi (vedi figure 4-9) considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

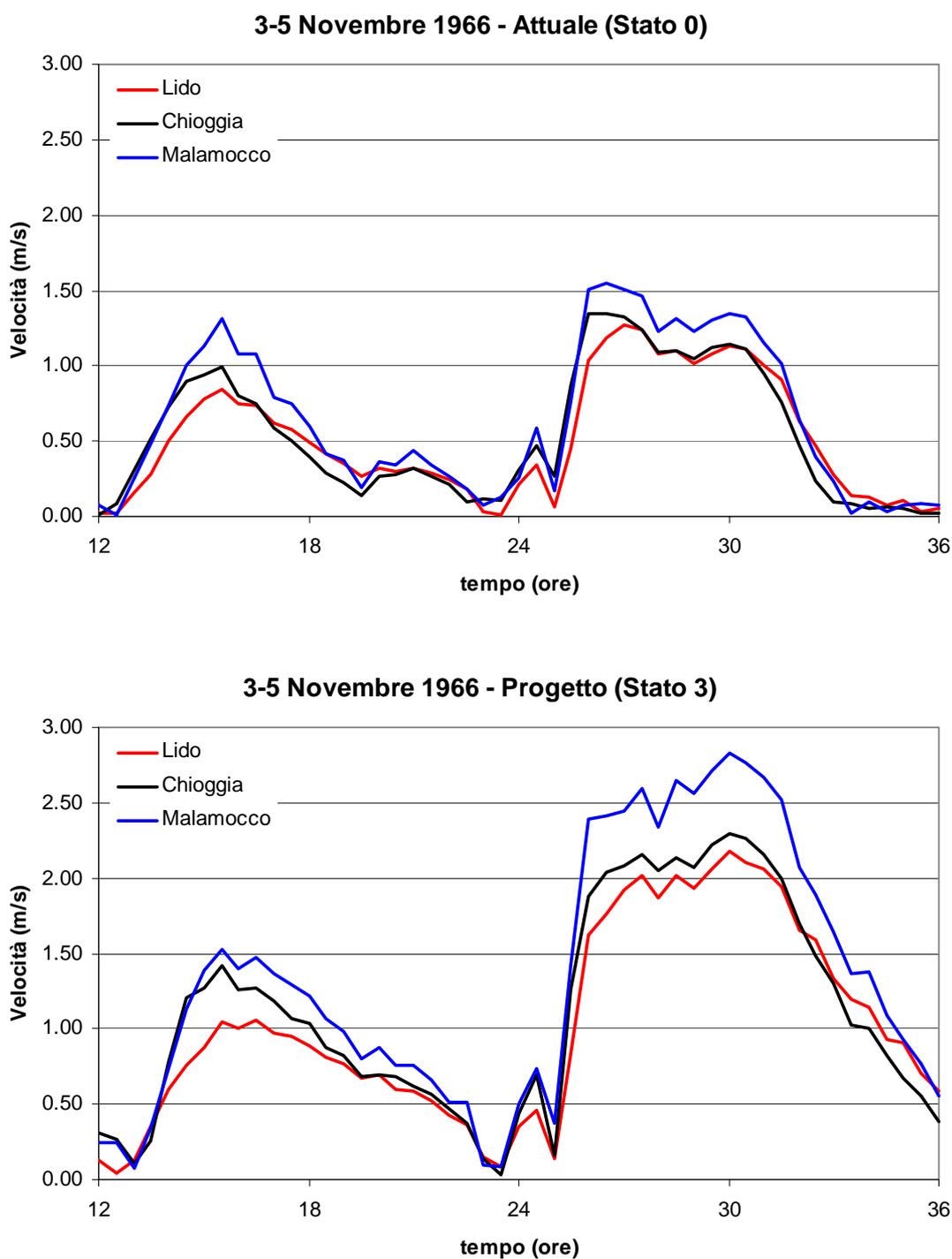


Figura 31 – Marea del 3-5 Novembre 1966: andamento del modulo della velocità all'interno delle tre bocche di porto nel punto in cui essa raggiunge i valori massimi (vedi figure 4-9) considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

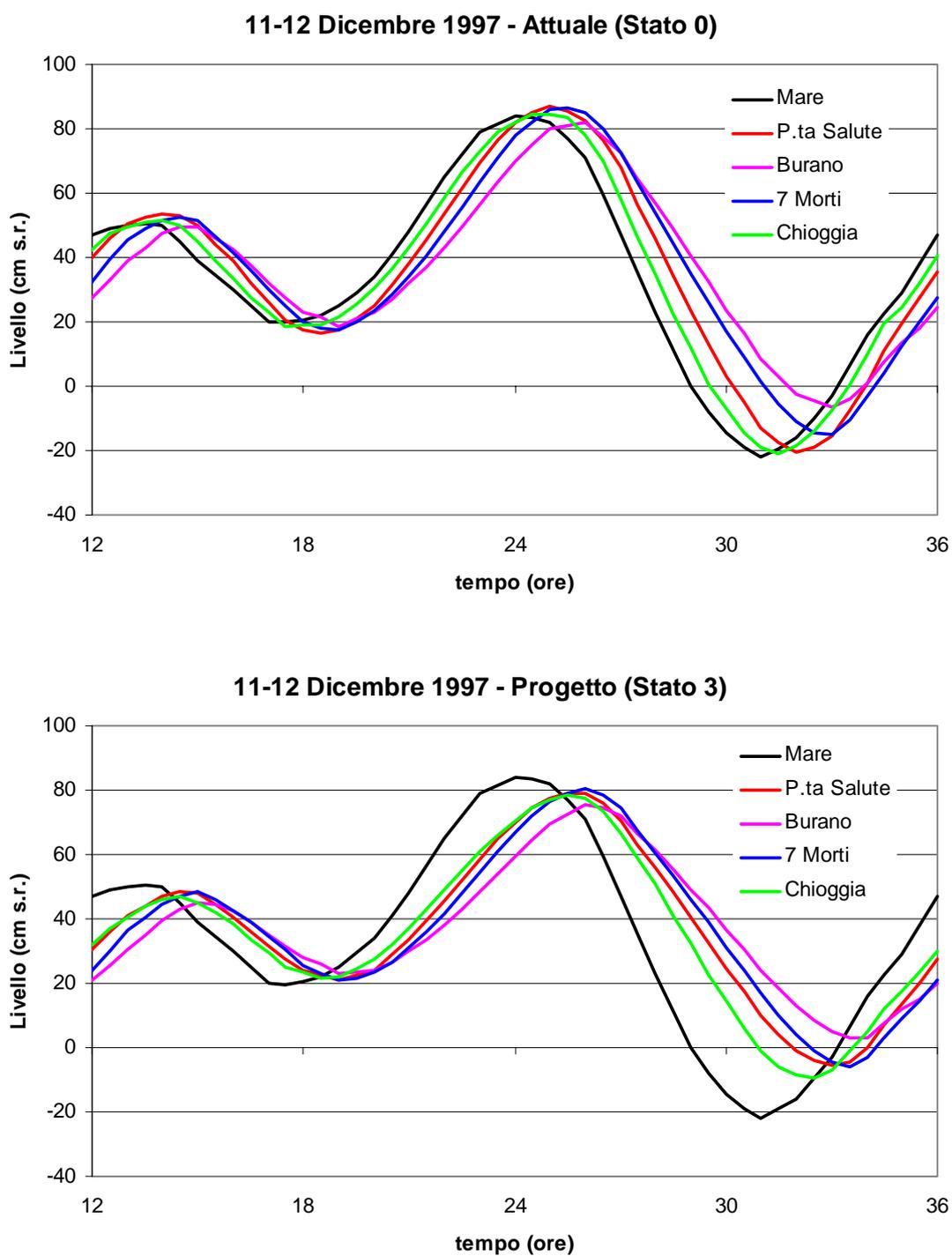


Figura 32 – Marea del 11-12 Dicembre 1997: andamento dei livelli calcolati in mare e in alcuni punti significativi all'interno della laguna considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche di porto (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

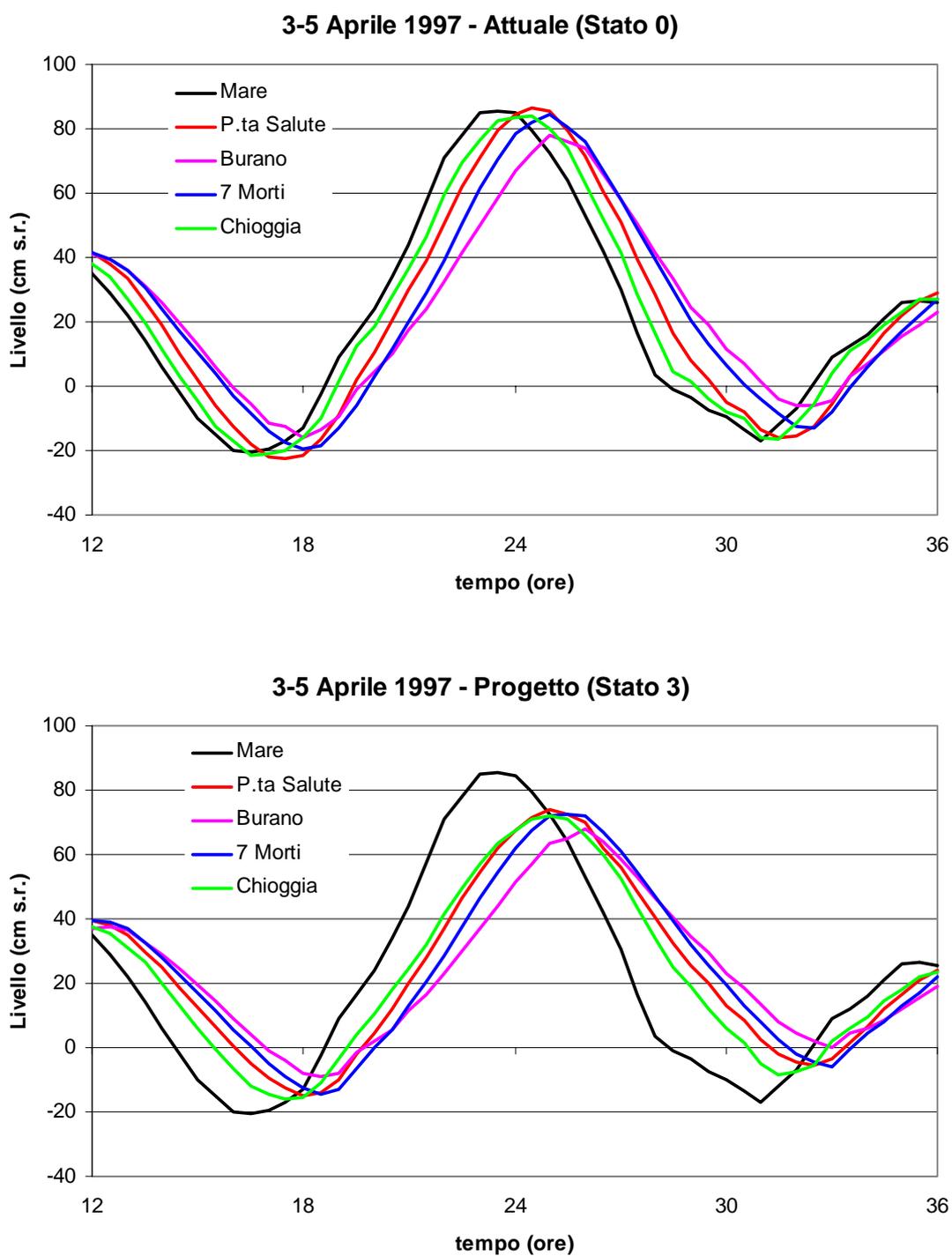


Figura 33 – Marea del 3-5 Aprile 1997: andamento dei livelli calcolati in mare e in alcuni punti significativi all'interno della laguna considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche di porto (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

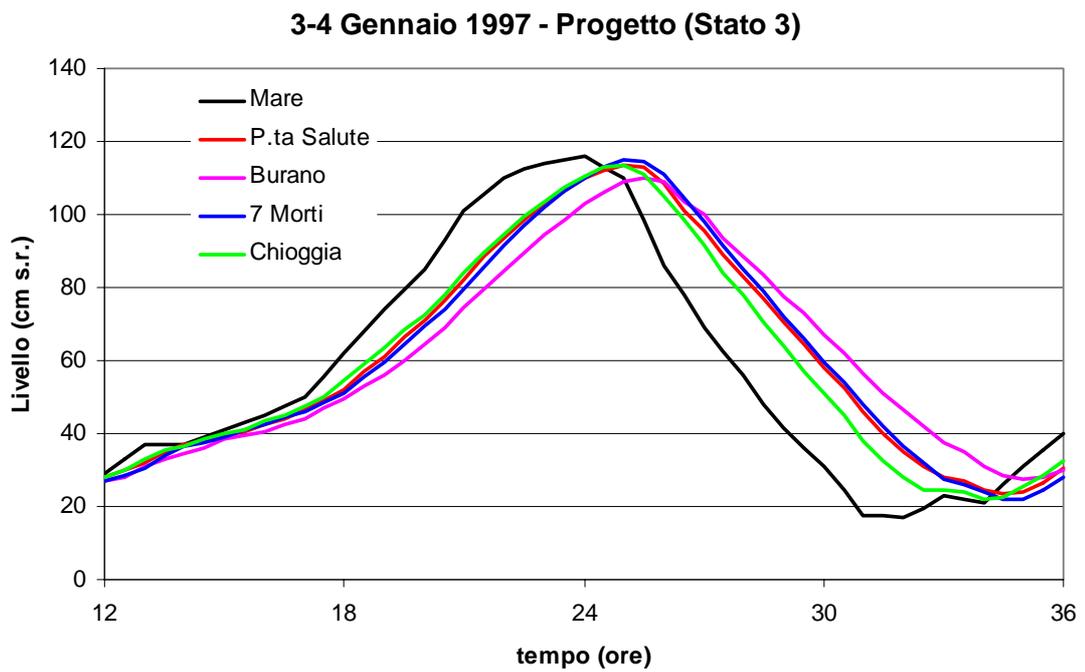
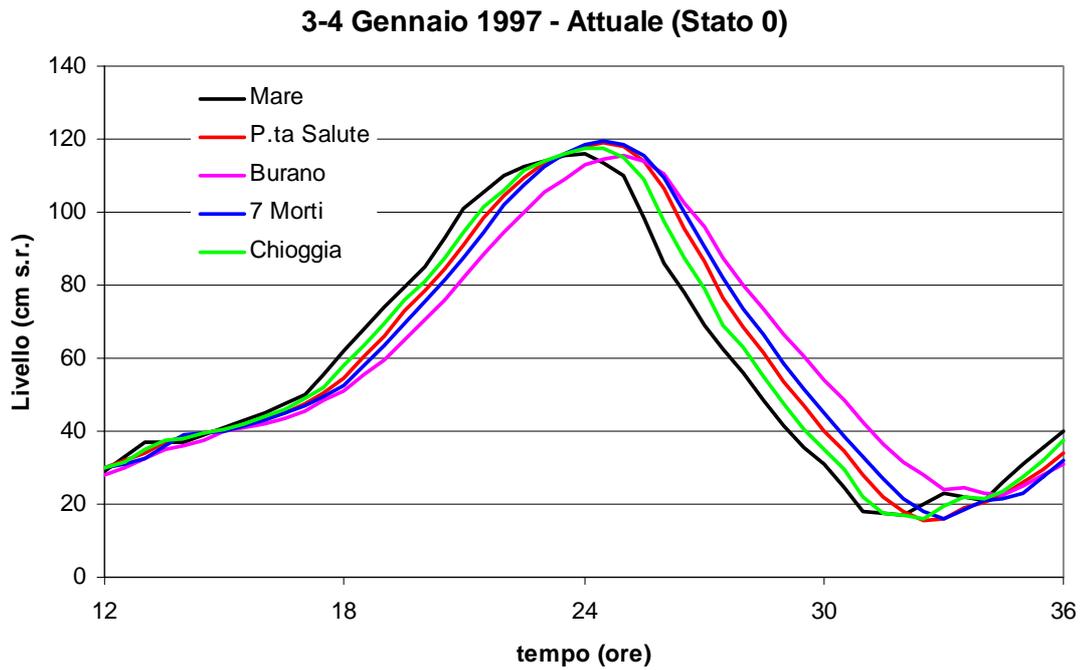


Figura 34 – Marea del 3-4 Gennaio 1997: andamento dei livelli calcolati in mare e in alcuni punti significativi all'interno della laguna considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche di porto (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

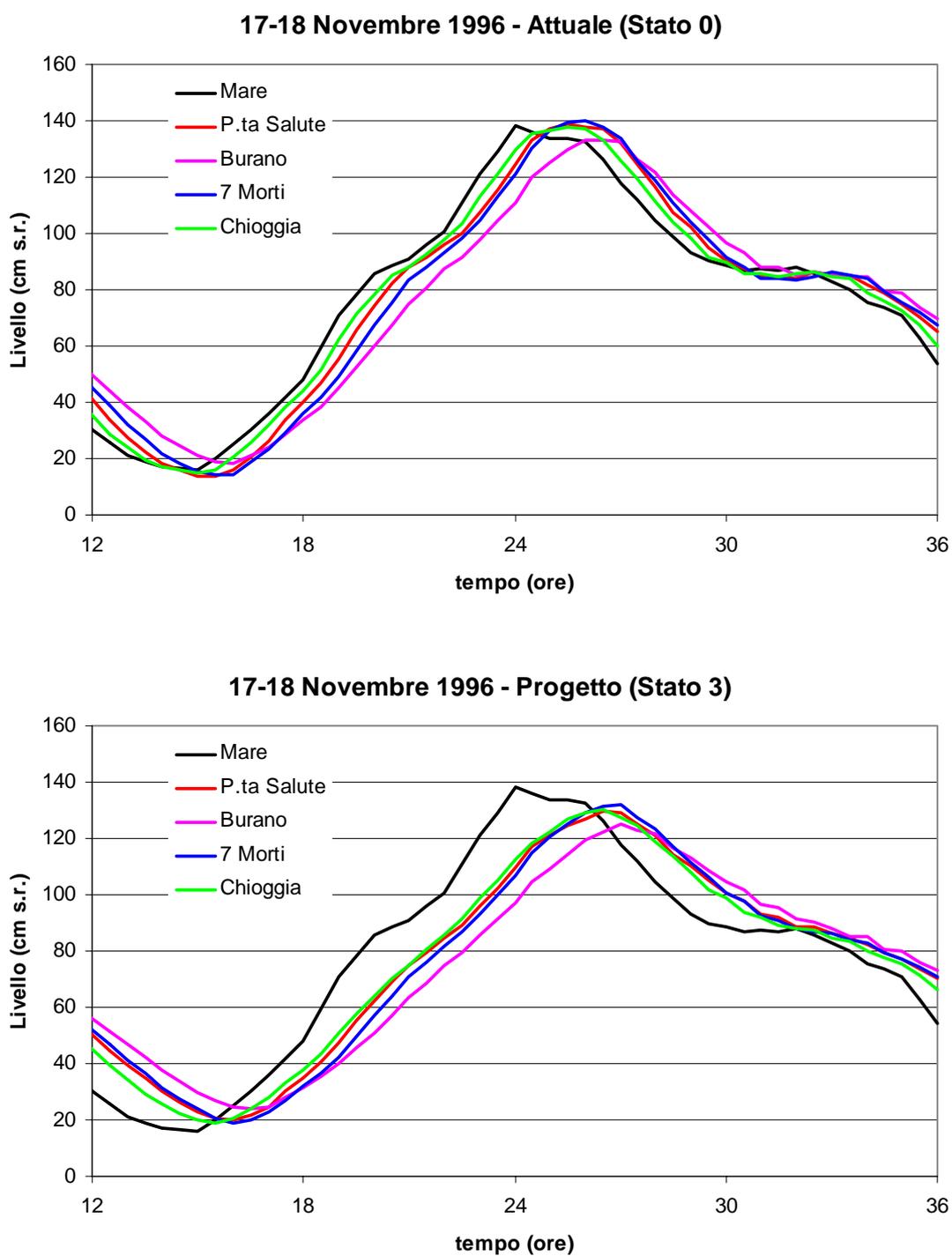


Figura 35 – Marea del 17-18 Novembre 1996: andamento dei livelli calcolati in mare e in alcuni punti significativi all'interno della laguna considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche di porto (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

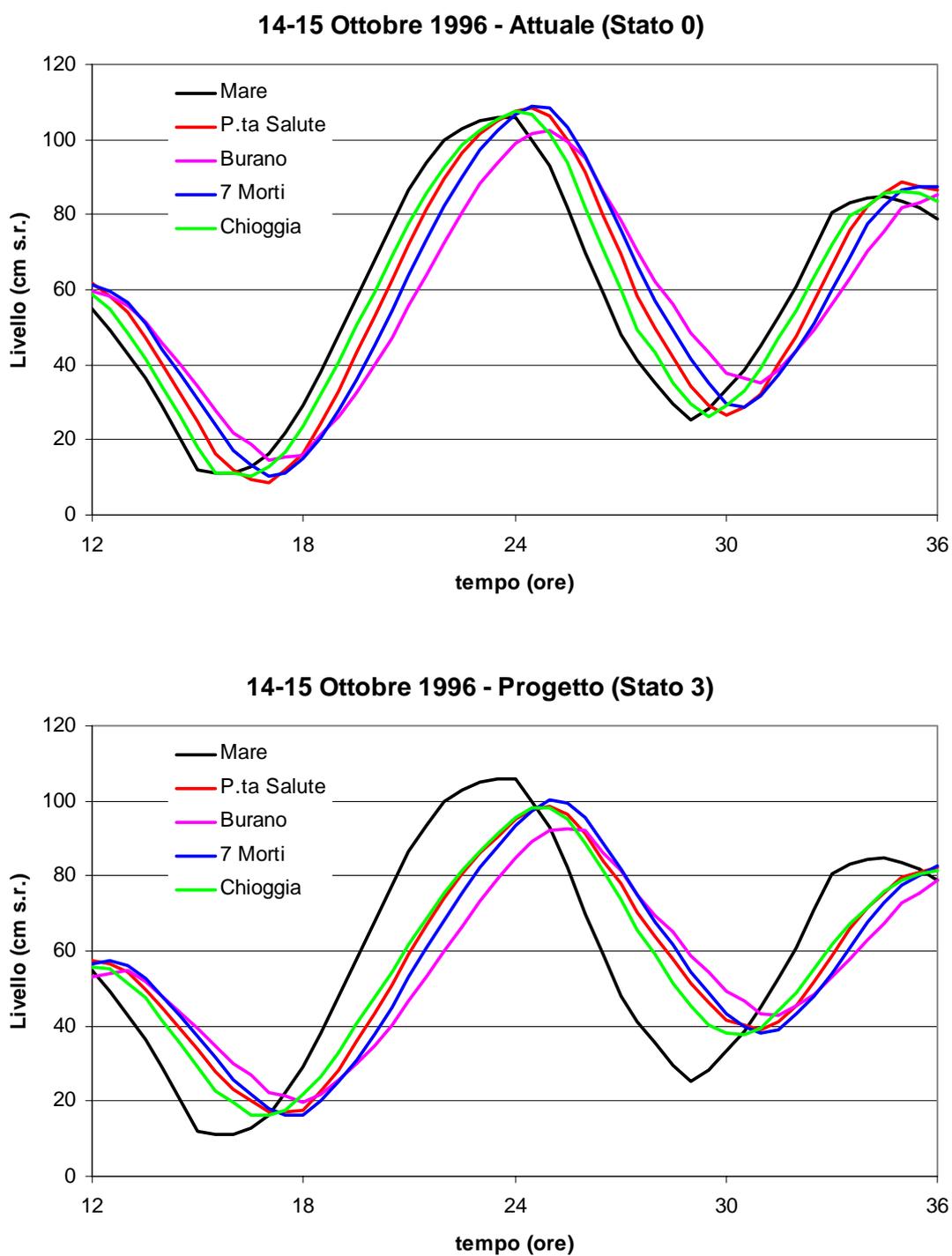


Figura 36 – Marea del 14-15 Ottobre 1996: andamento dei livelli calcolati in mare e in alcuni punti significativi all'interno della laguna considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche di porto (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

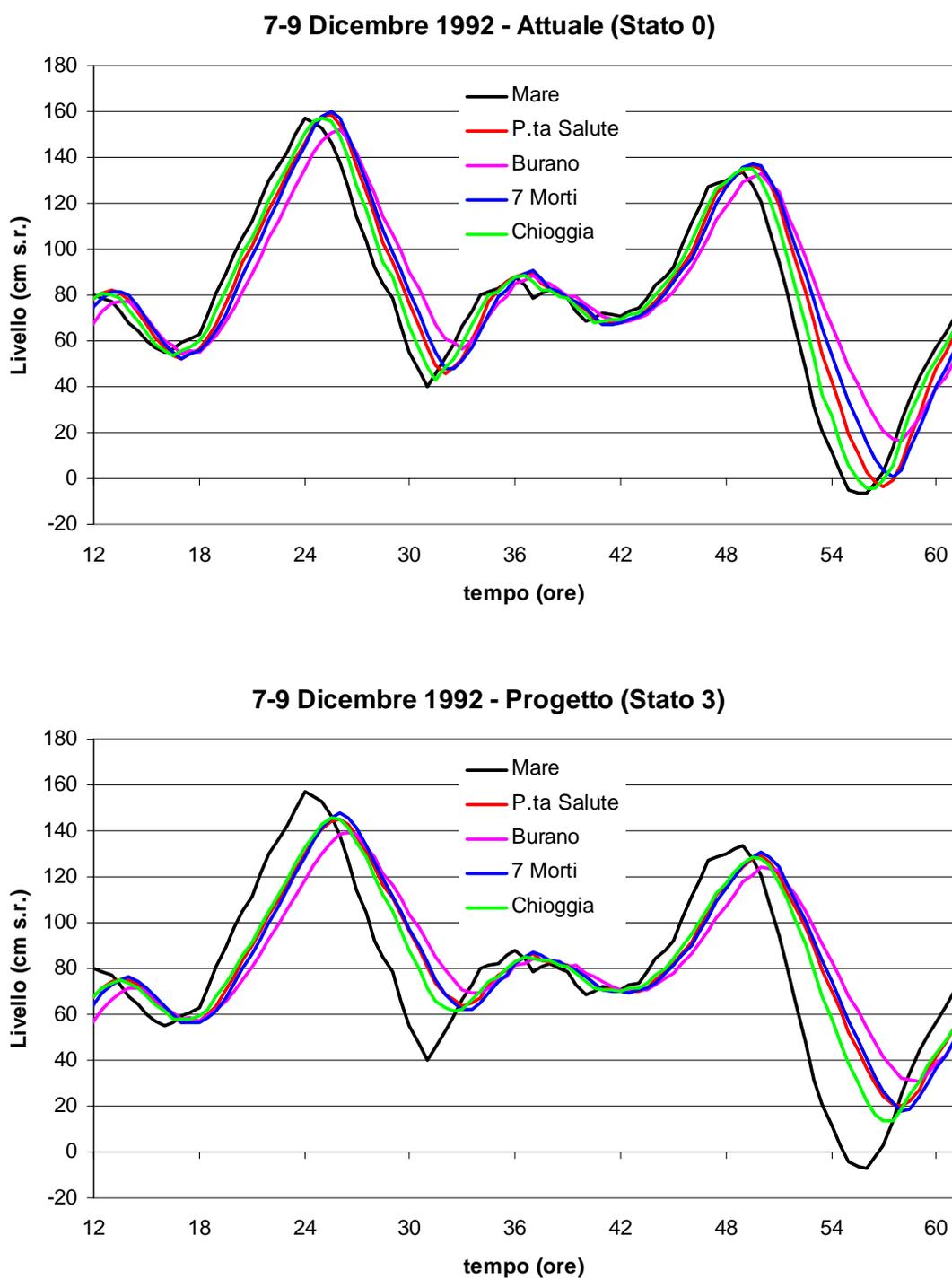


Figura 37 – Marea del 7-9 Dicembre 1992: andamento dei livelli calcolati in mare e in alcuni punti significativi all'interno della laguna considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche di porto (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

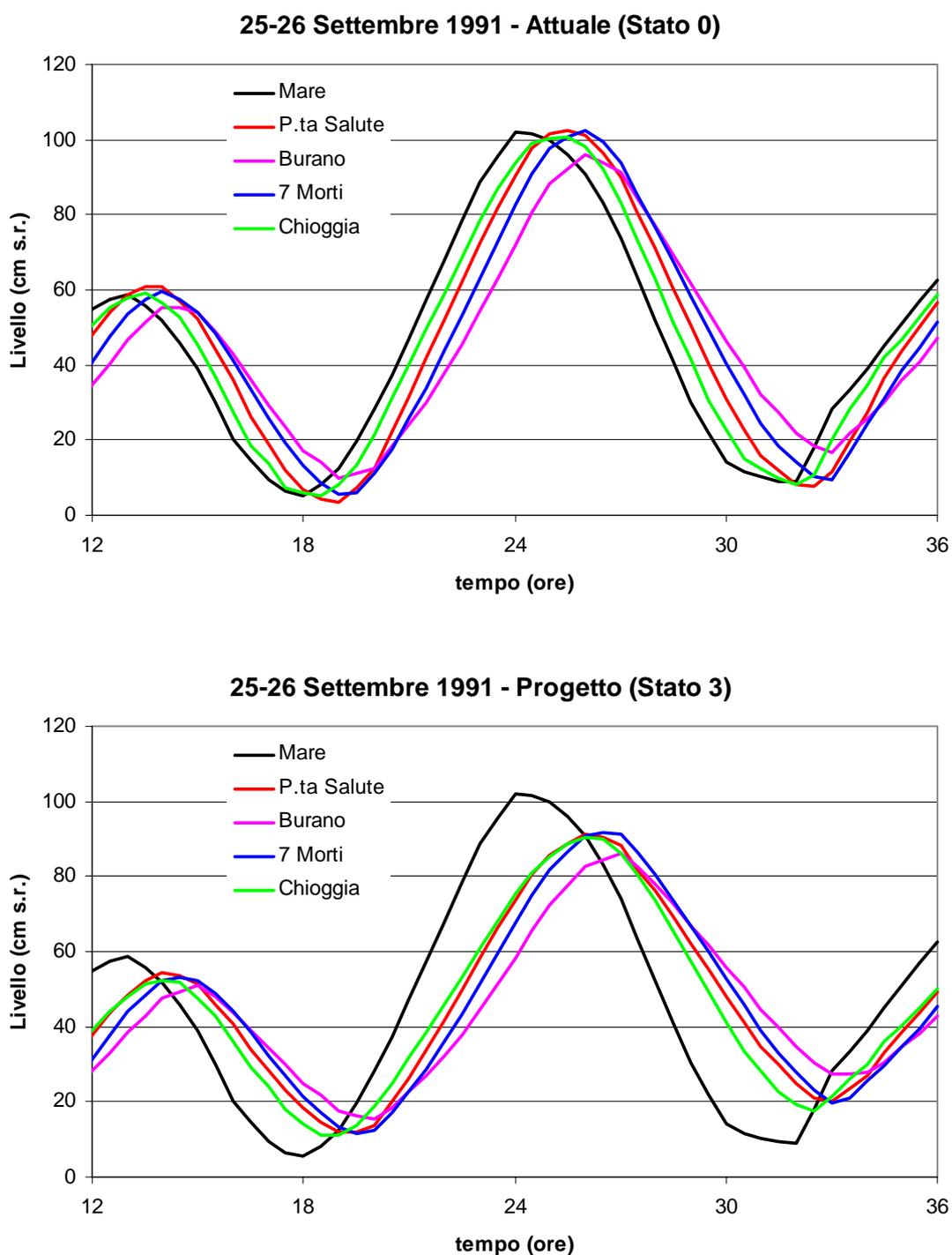


Figura 38 – Marea del 25-26 Settembre 1991: andamento dei livelli calcolati in mare e in alcuni punti significativi all'interno della laguna considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche di porto (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

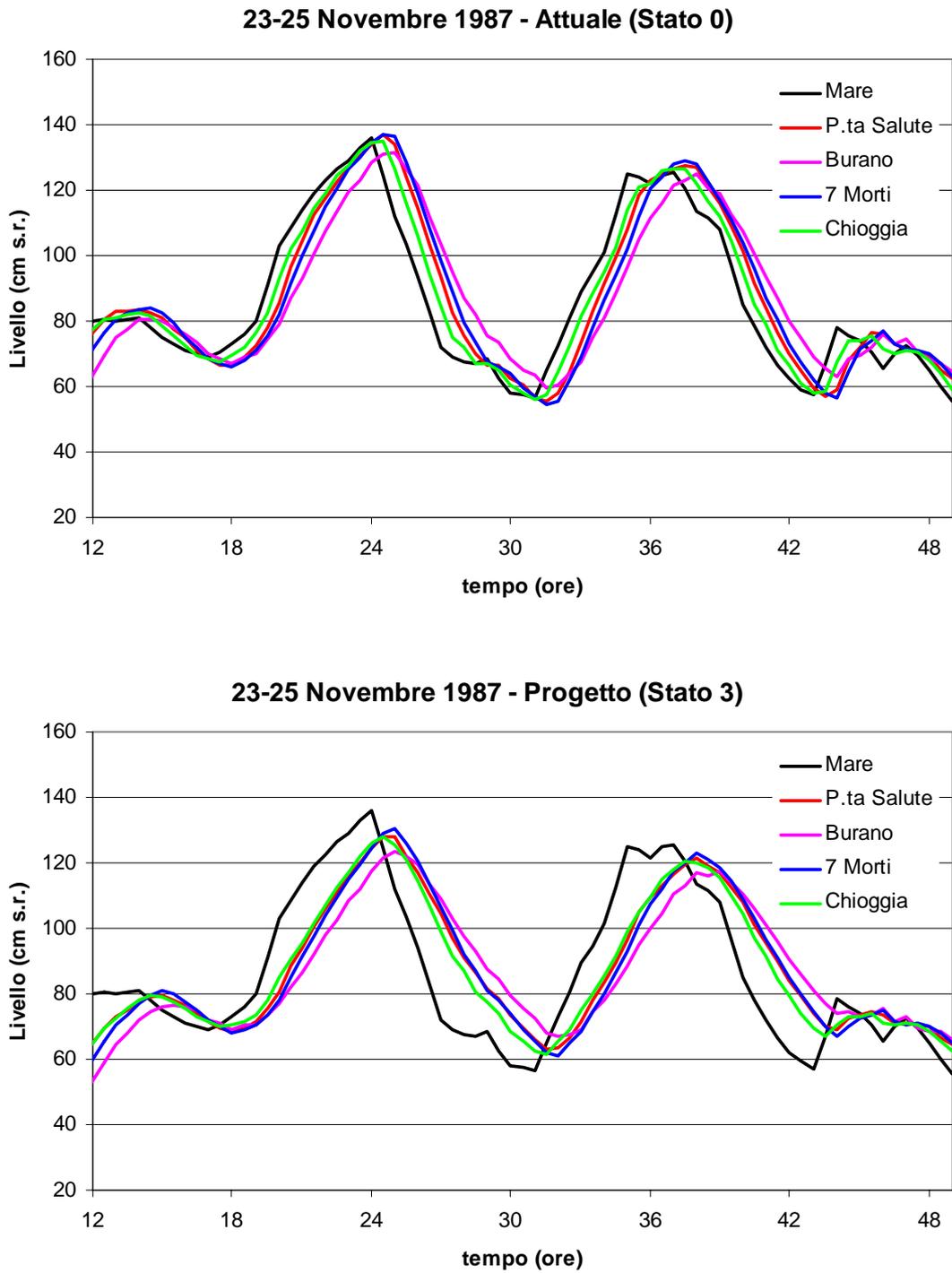


Figura 39 – Marea del 23-25 Novembre 1987: andamento dei livelli calcolati in mare e in alcuni punti significativi all'interno della laguna considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche di porto (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

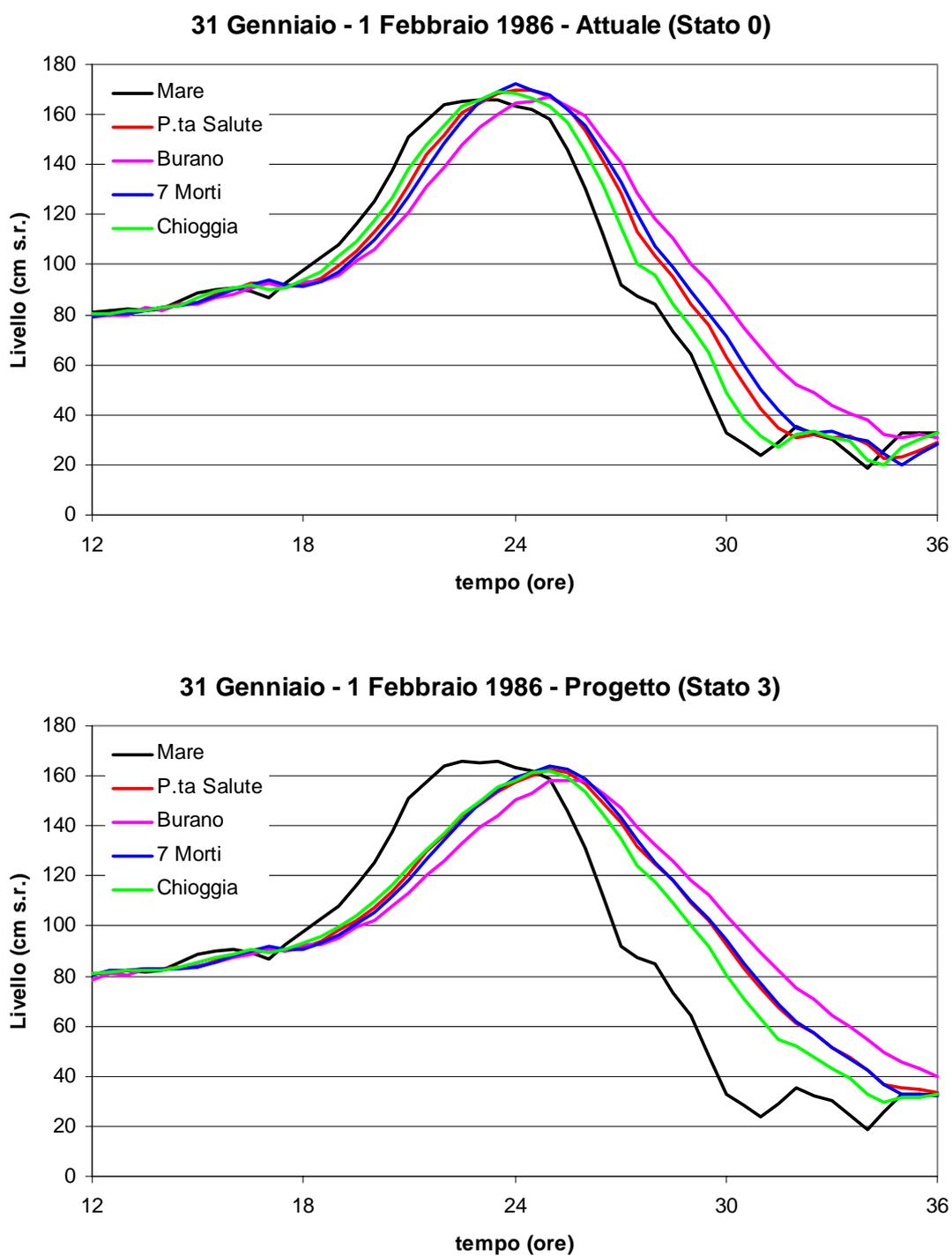


Figura 40 – Marea del 31 Gennaio – 1 Febbraio 1986: andamento dei livelli calcolati in mare e in alcuni punti significativi all’interno della laguna considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche di porto (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

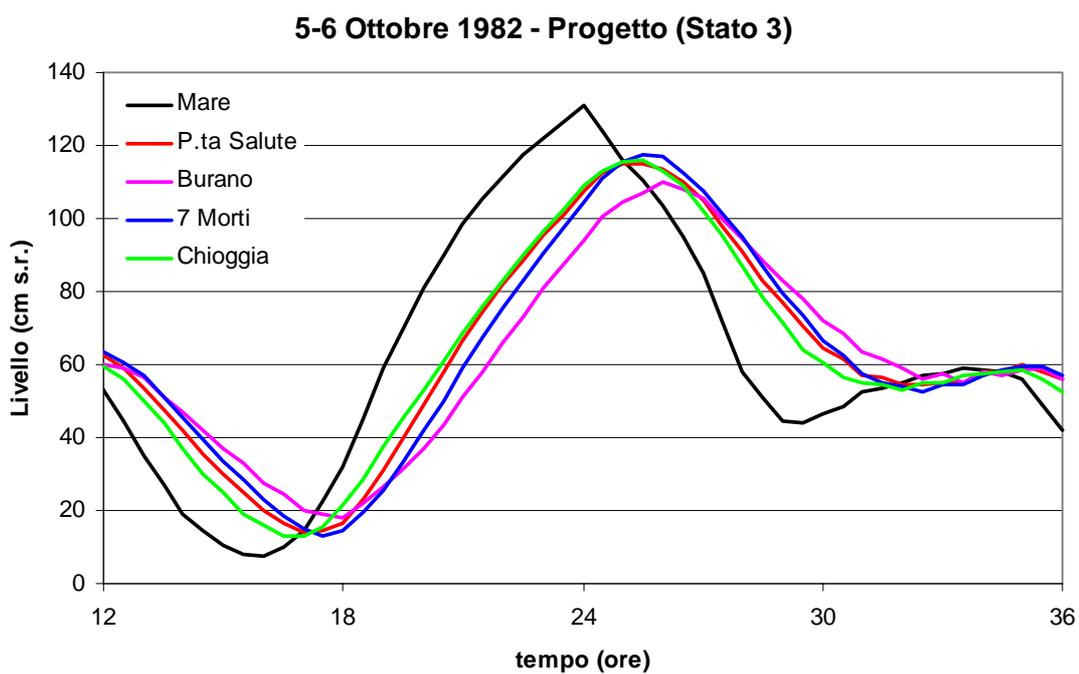
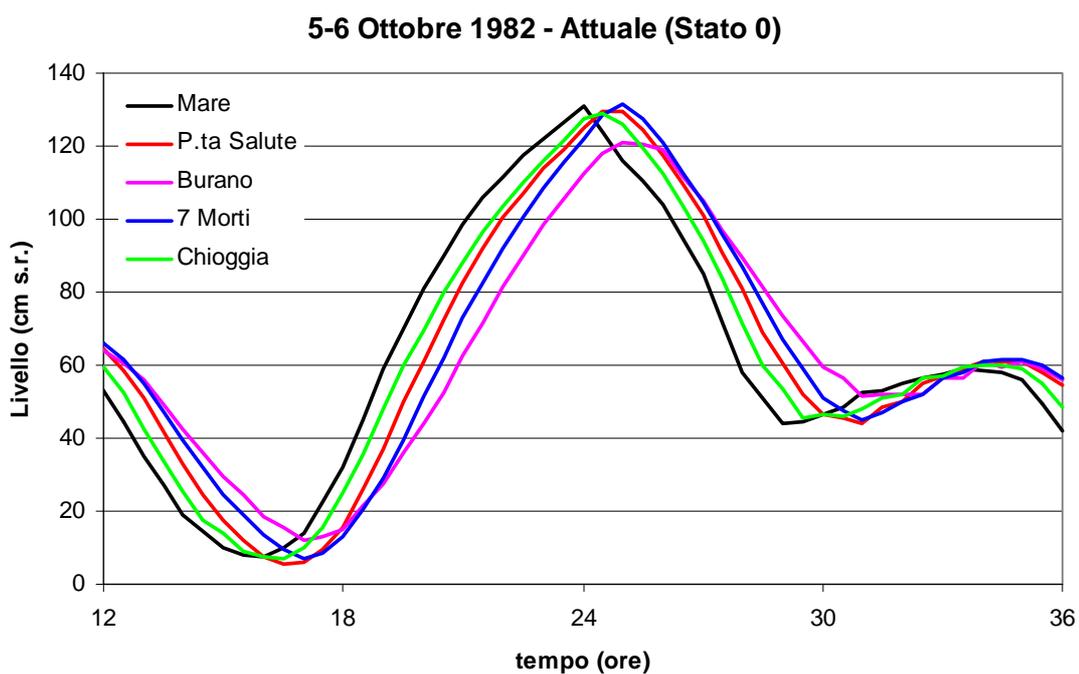


Figura 41 – Marea del 5-6 Ottobre 1982: andamento dei livelli calcolati in mare e in alcuni punti significativi all'interno della laguna considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche di porto (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

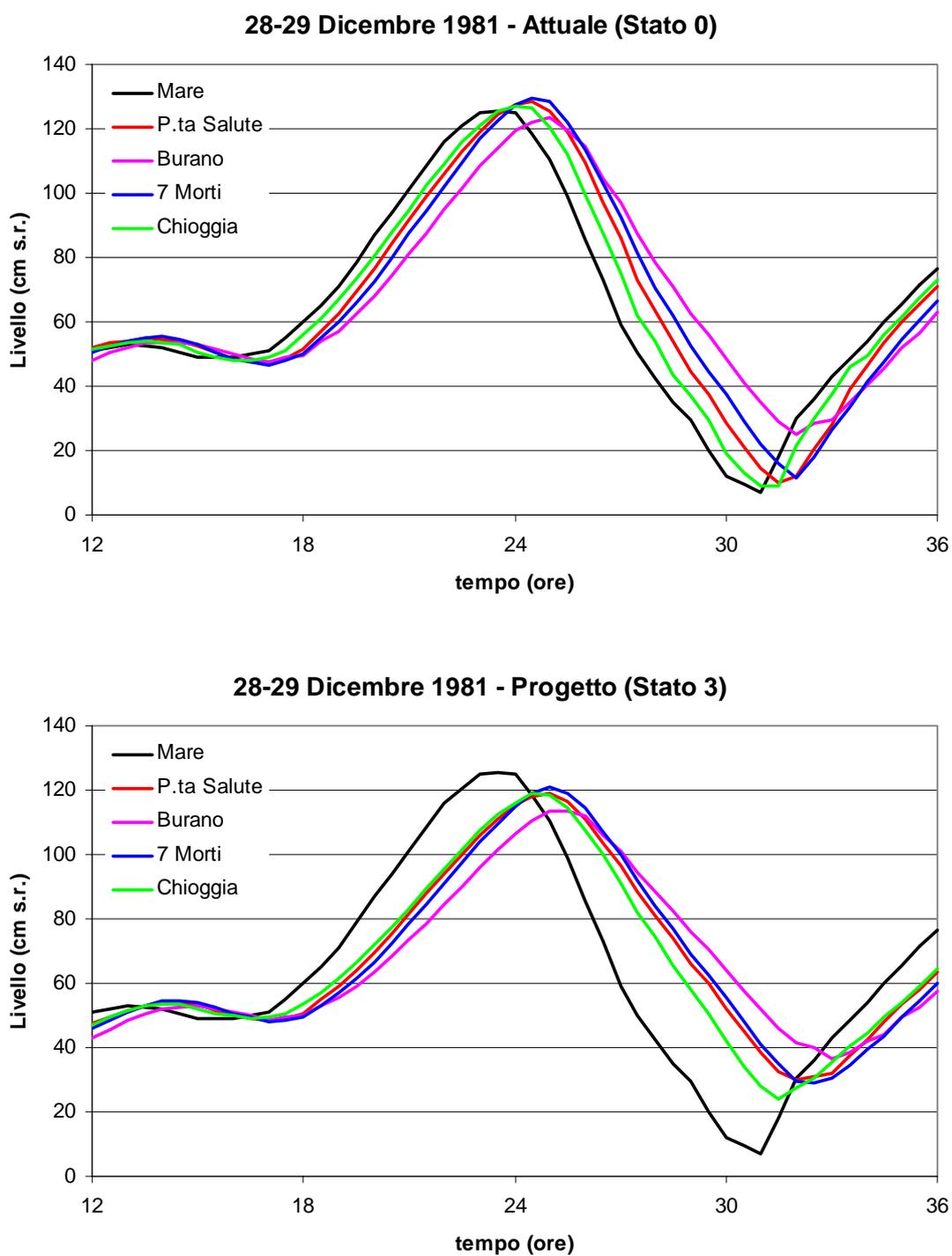


Figura 42 – Marea del 28-29 Dicembre 1981: andamento dei livelli calcolati in mare e in alcuni punti significativi all'interno della laguna considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche di porto (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

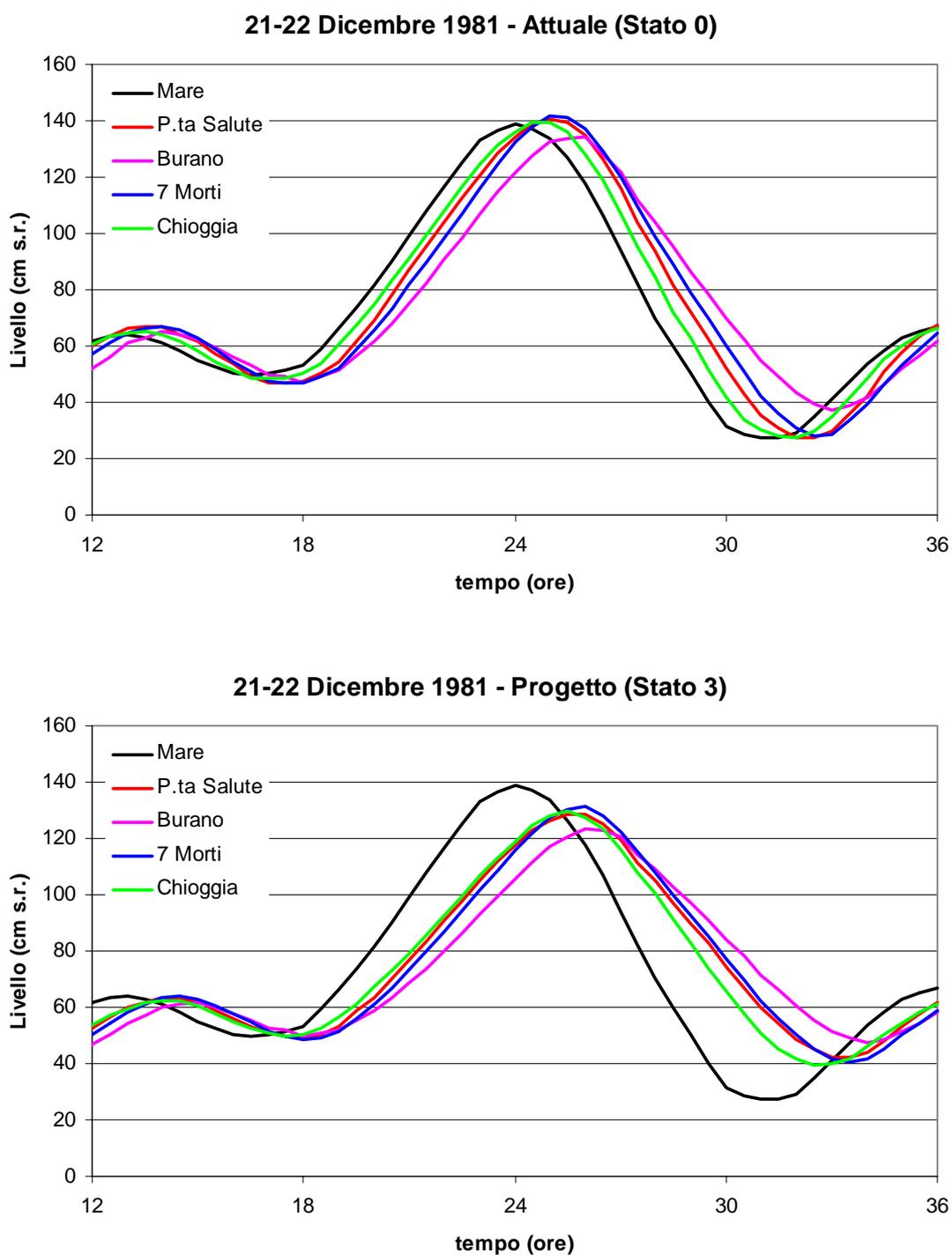


Figura 43 – Marea del 21-22 Dicembre 1981: andamento dei livelli calcolati in mare e in alcuni punti significativi all'interno della laguna considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche di porto (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

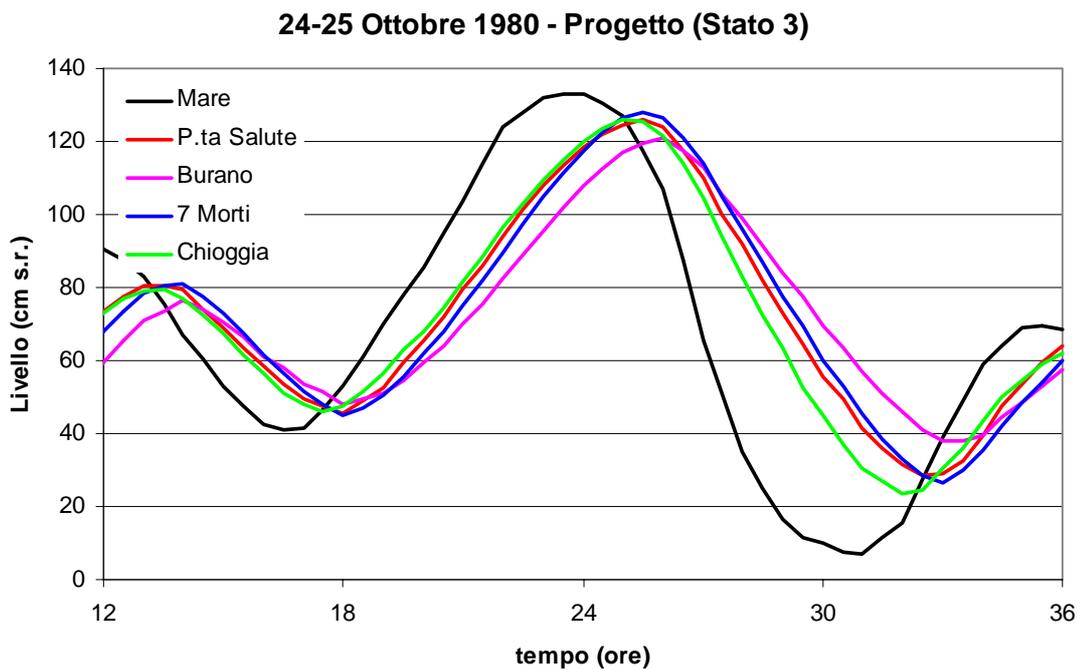
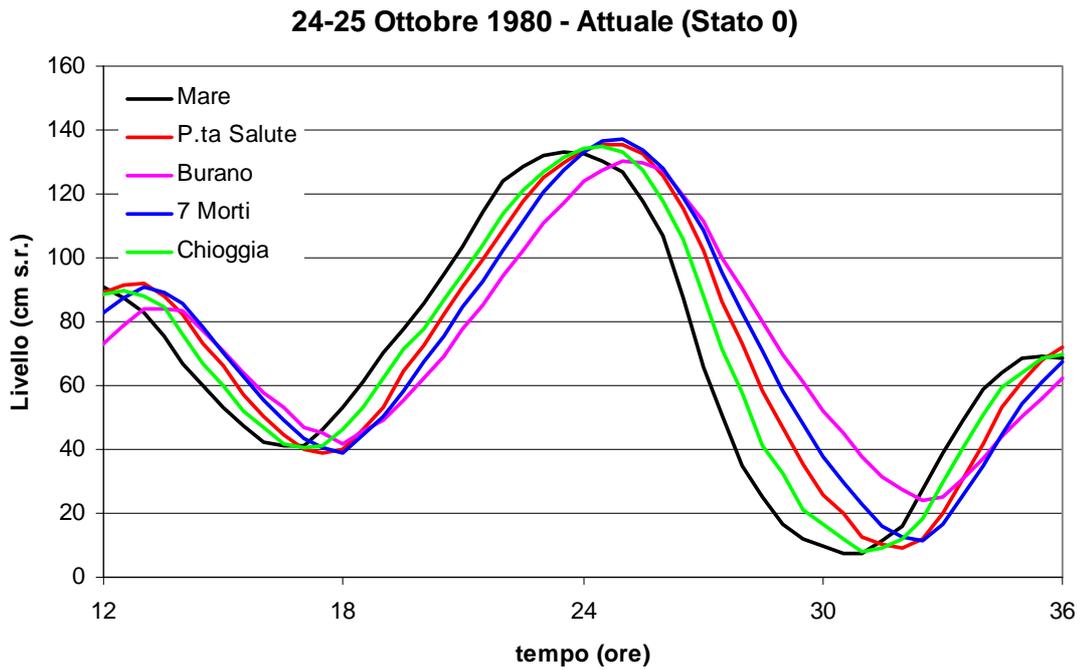


Figura 44 – Marea del 24-25 Ottobre 1980: andamento dei livelli calcolati in mare e in alcuni punti significativi all'interno della laguna considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche di porto (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

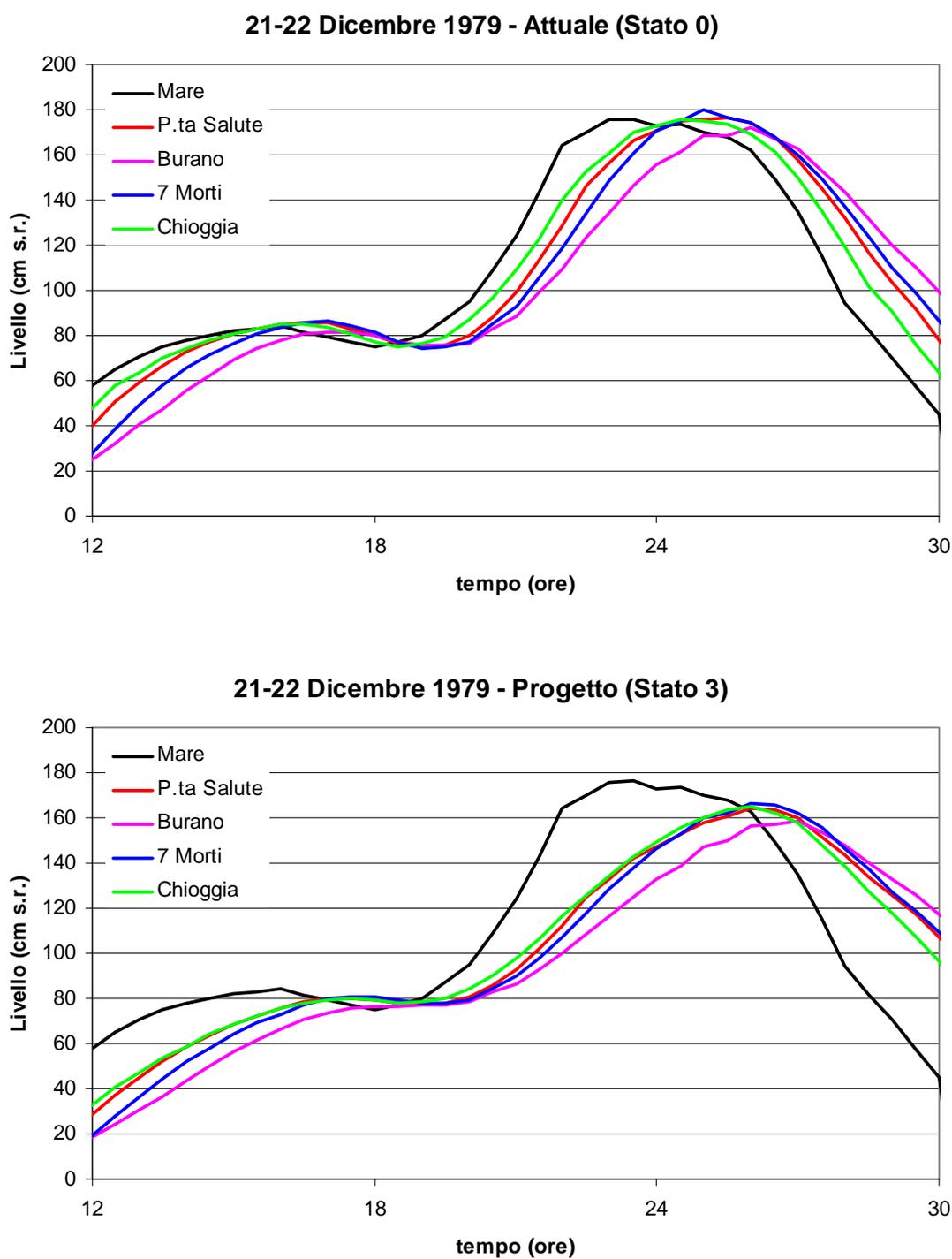


Figura 45 – Marea del 21-22 Dicembre 1979: andamento dei livelli calcolati in mare e in alcuni punti significativi all'interno della laguna considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche di porto (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

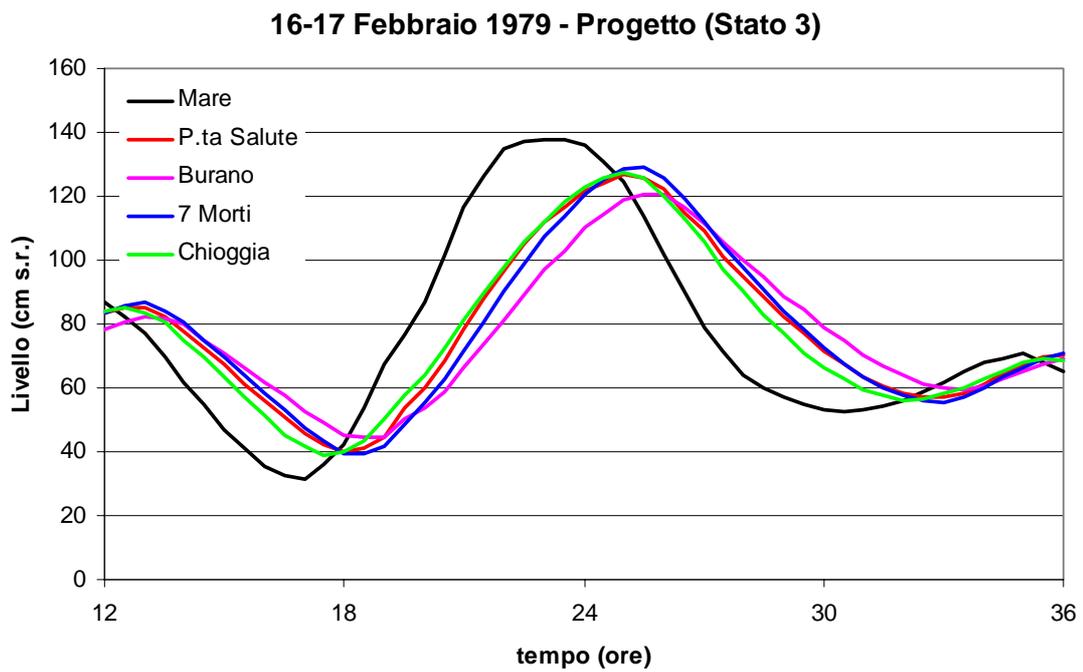
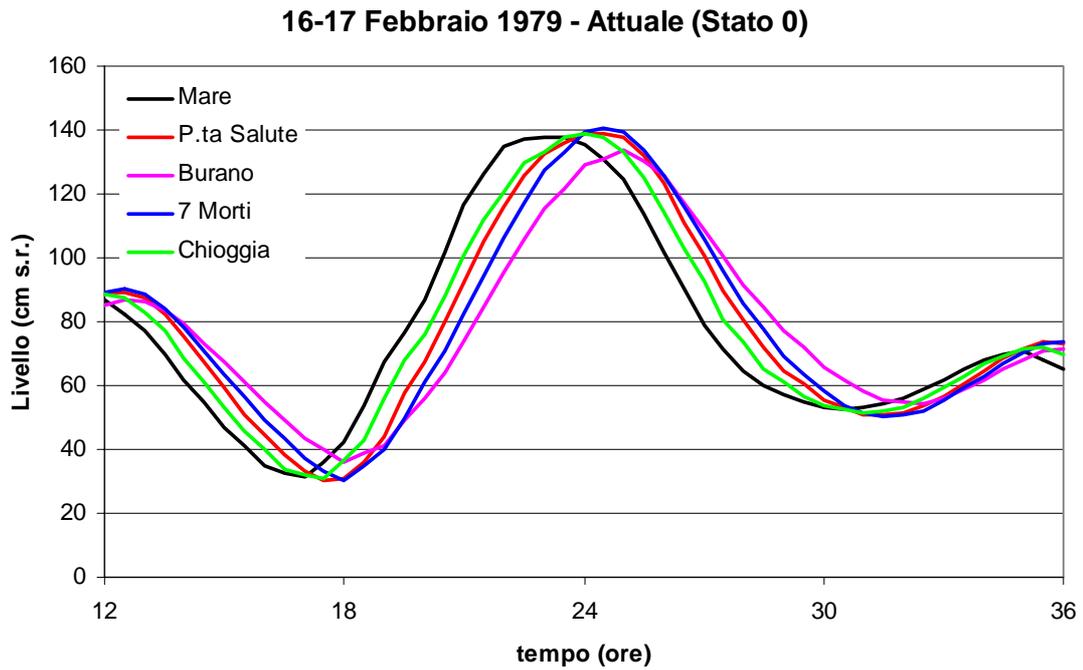


Figura 46 – Marea del 16-17 Febbraio 1979: andamento dei livelli calcolati in mare e in alcuni punti significativi all'interno della laguna considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche di porto (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

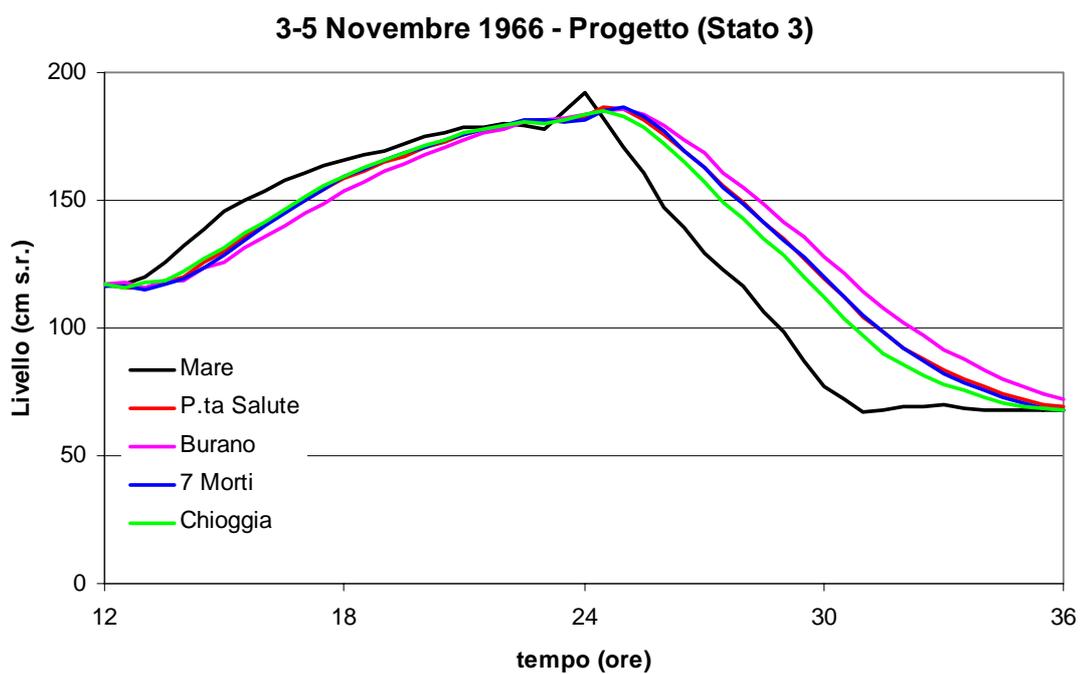
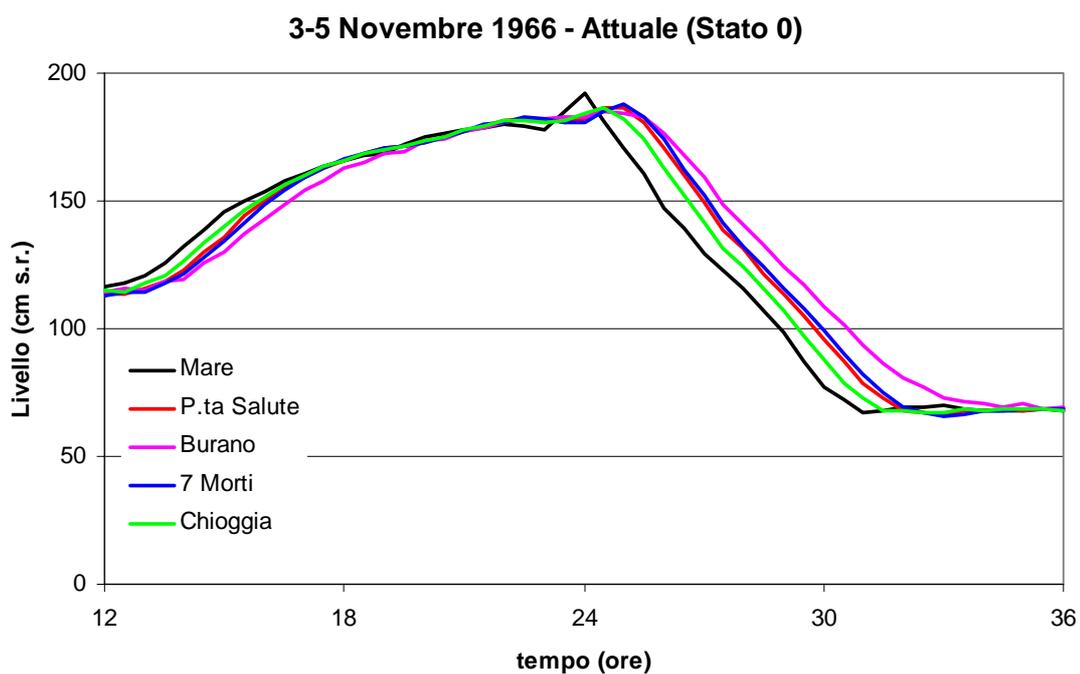


Figura 47 – Marea del 3-5 Novembre 1966: andamento dei livelli calcolati in mare e in alcuni punti significativi all'interno della laguna considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche di porto (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

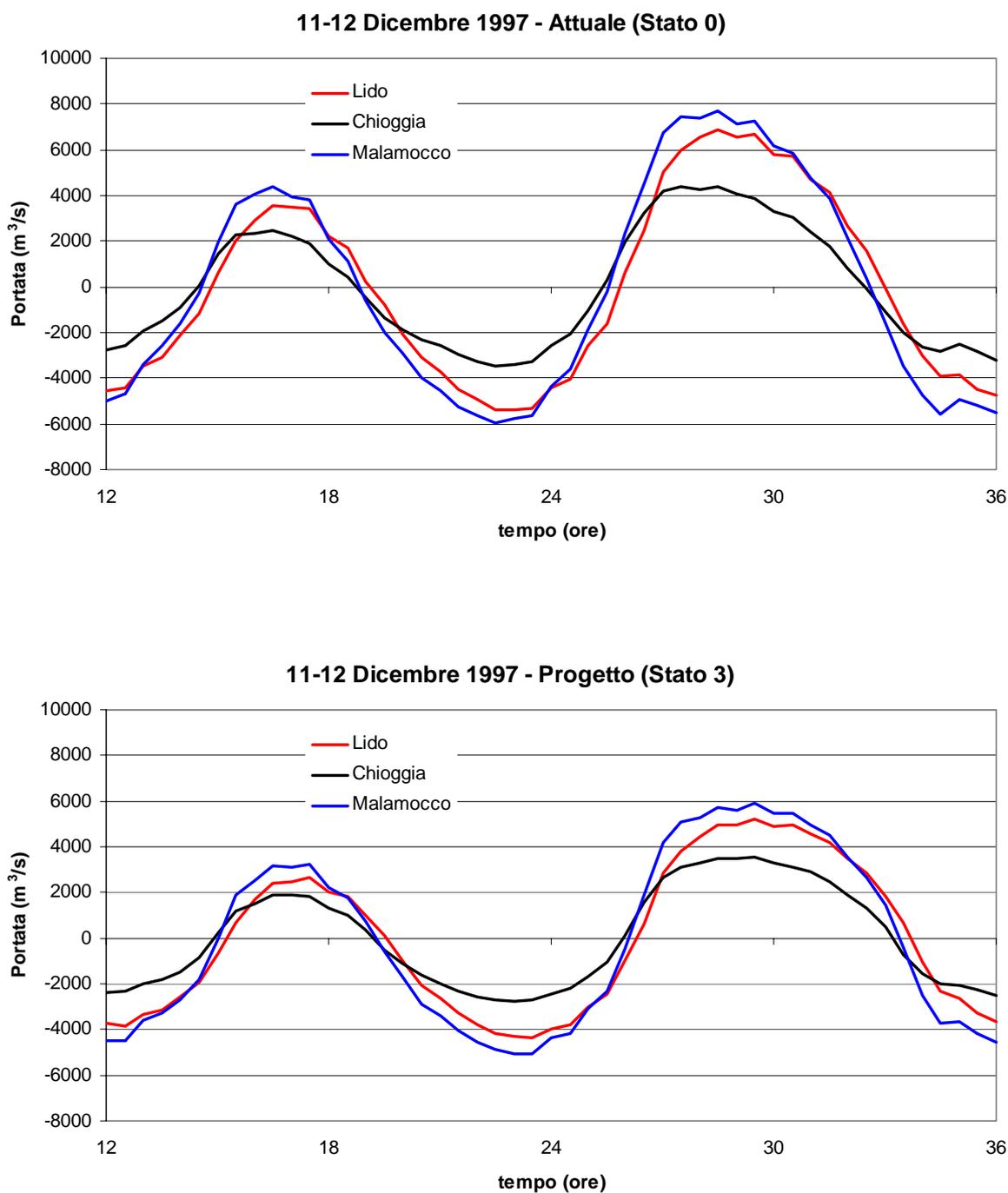


Figura 48 – Marea del 11-12 Dicembre 1997: andamento delle portate fluenti attraverso le tre bocche di porto considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

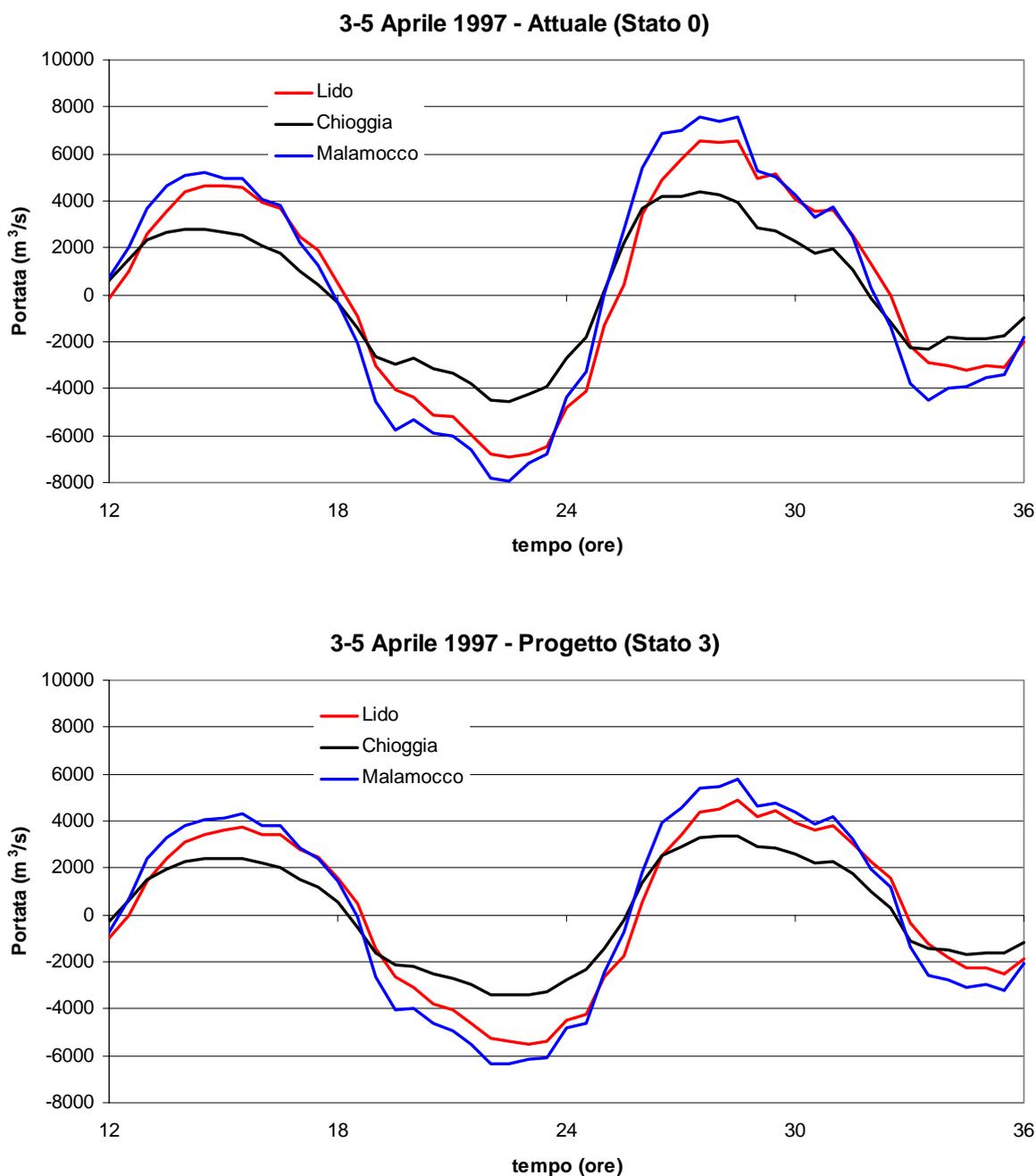


Figura 49 – Marea del 3-5 Aprile 1997: andamento delle portate fluenti attraverso le tre bocche di porto considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

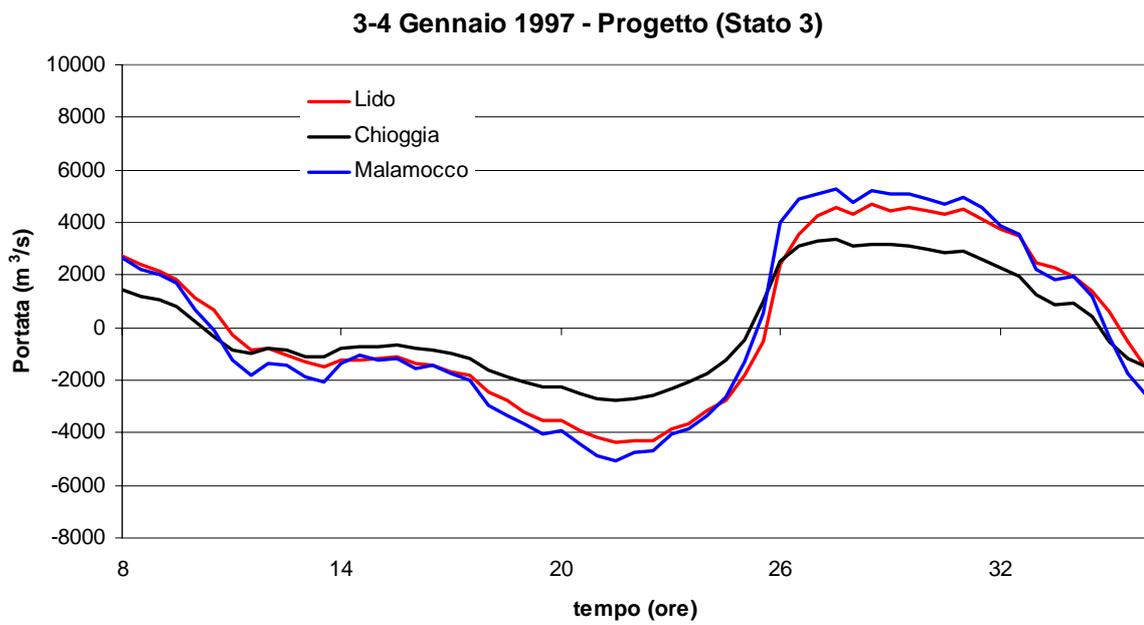
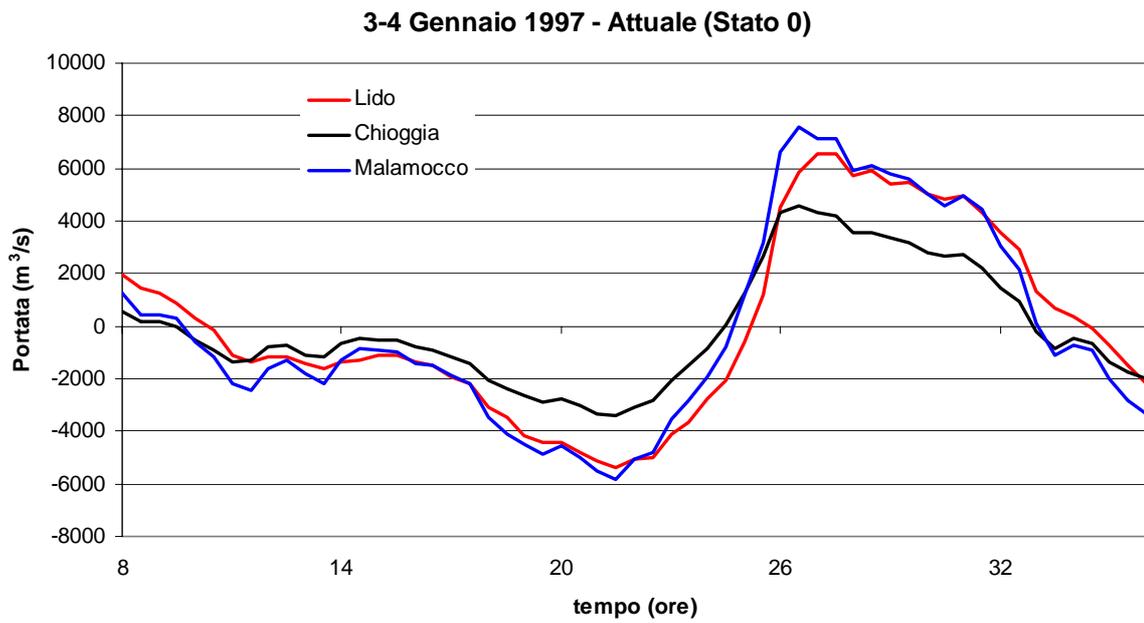


Figura 50 – Marea del 3-4 Gennaio 1997: andamento delle portate fluenti attraverso le tre bocche di porto considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

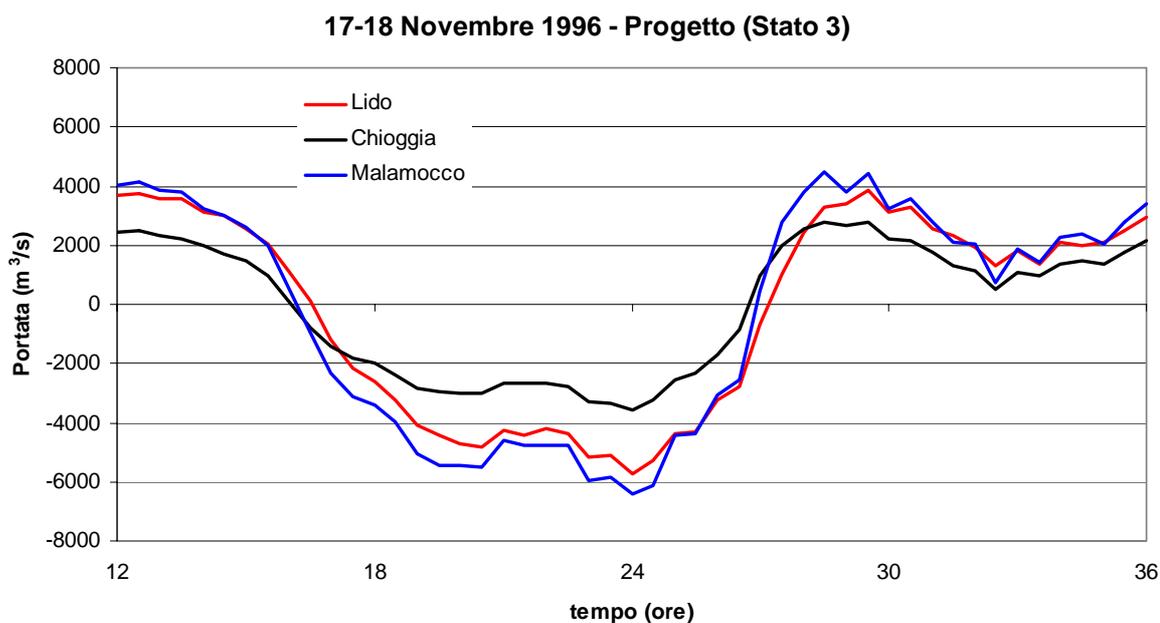
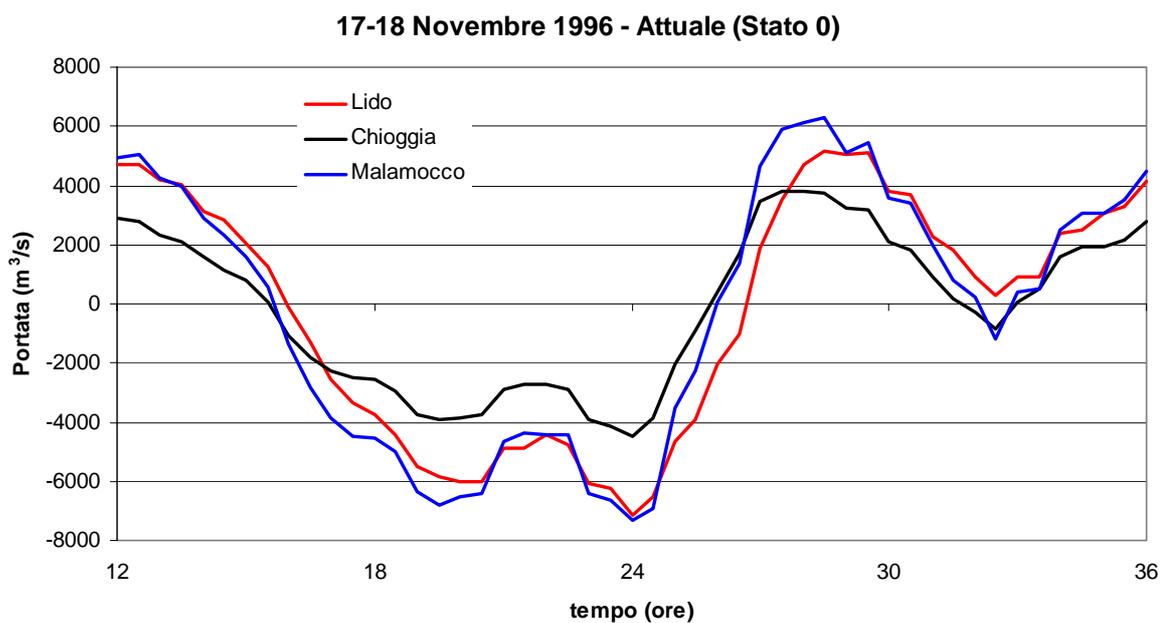


Figura 51 – Marea del 17-18 Novembre 1996: andamento delle portate fluenti attraverso le tre bocche di porto considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

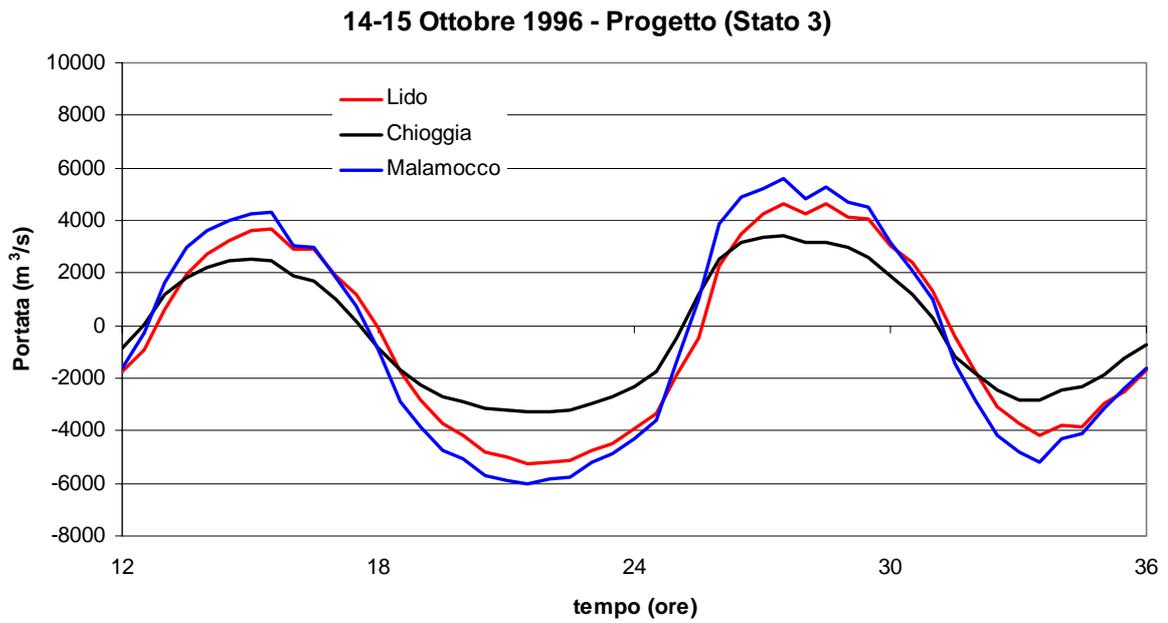
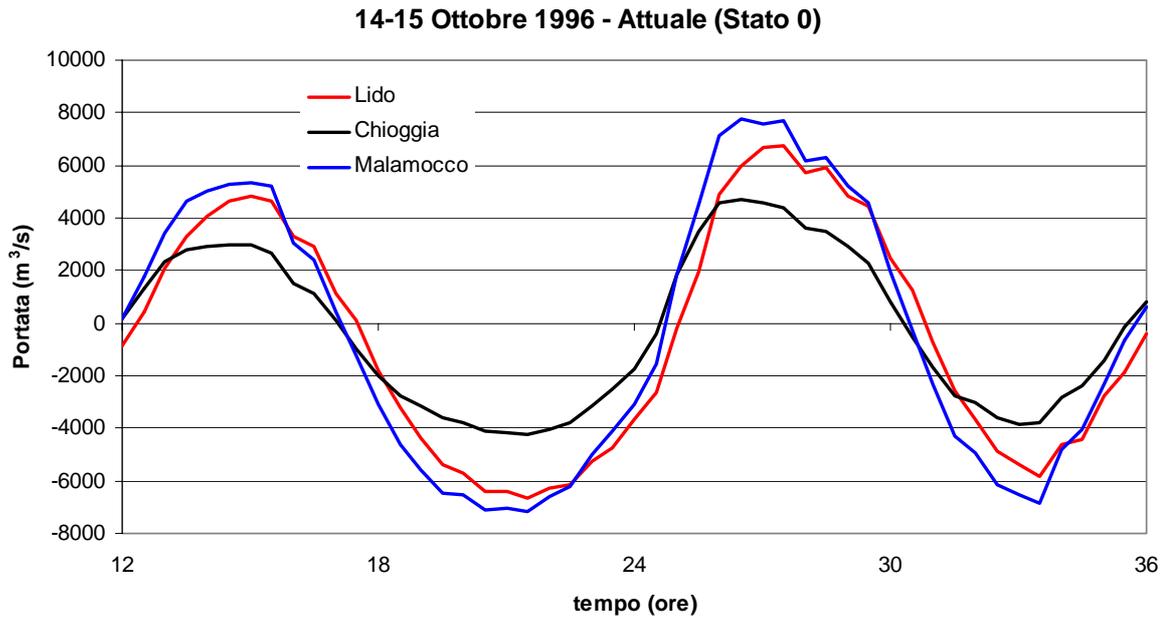


Figura 52 – Marea del 14-15 Ottobre 1996: andamento delle portate fluenti attraverso le tre bocche di porto considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

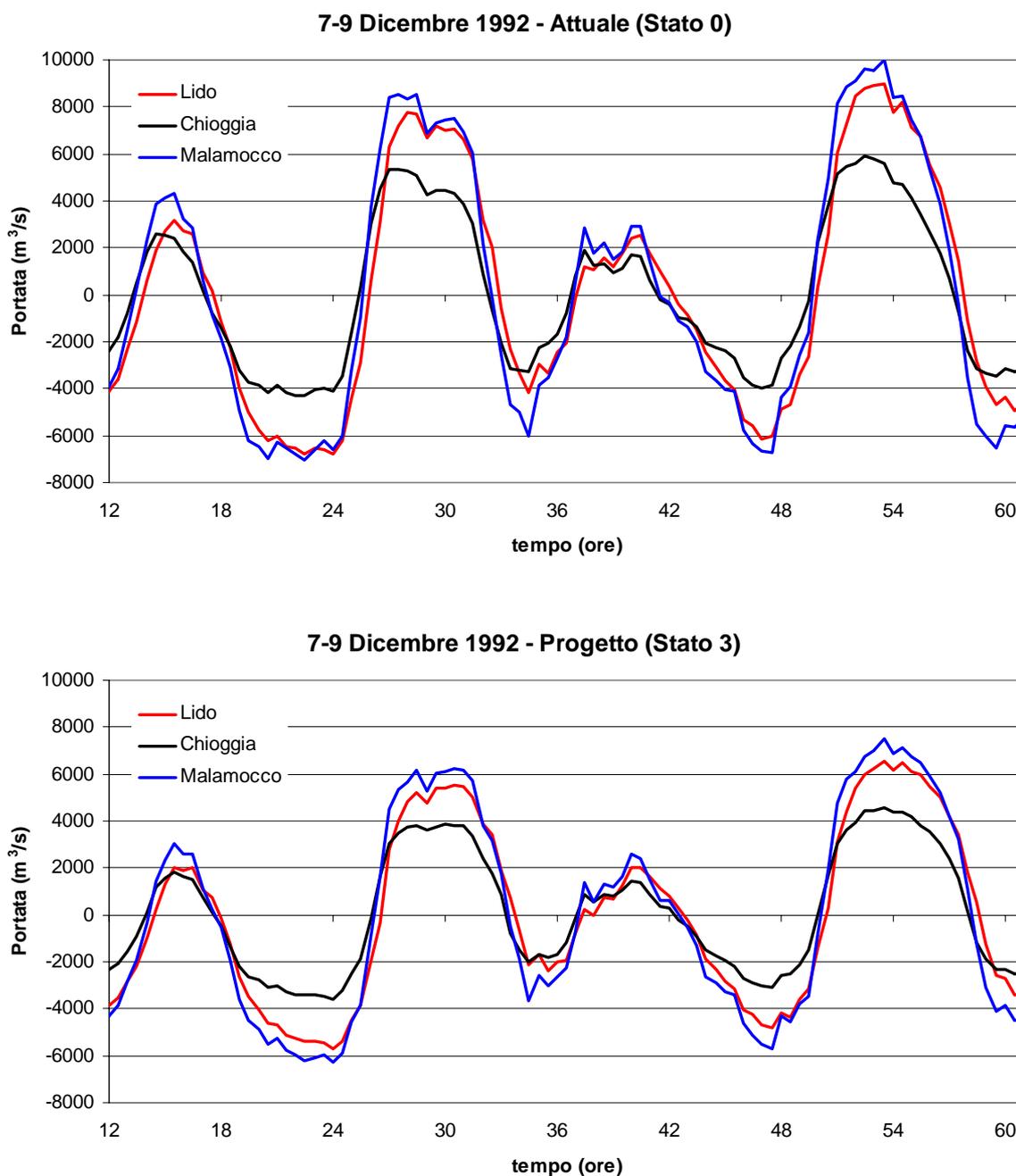


Figura 53 – Marea del 7-9 Dicembre 1992: andamento delle portate fluenti attraverso le tre bocche di porto considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

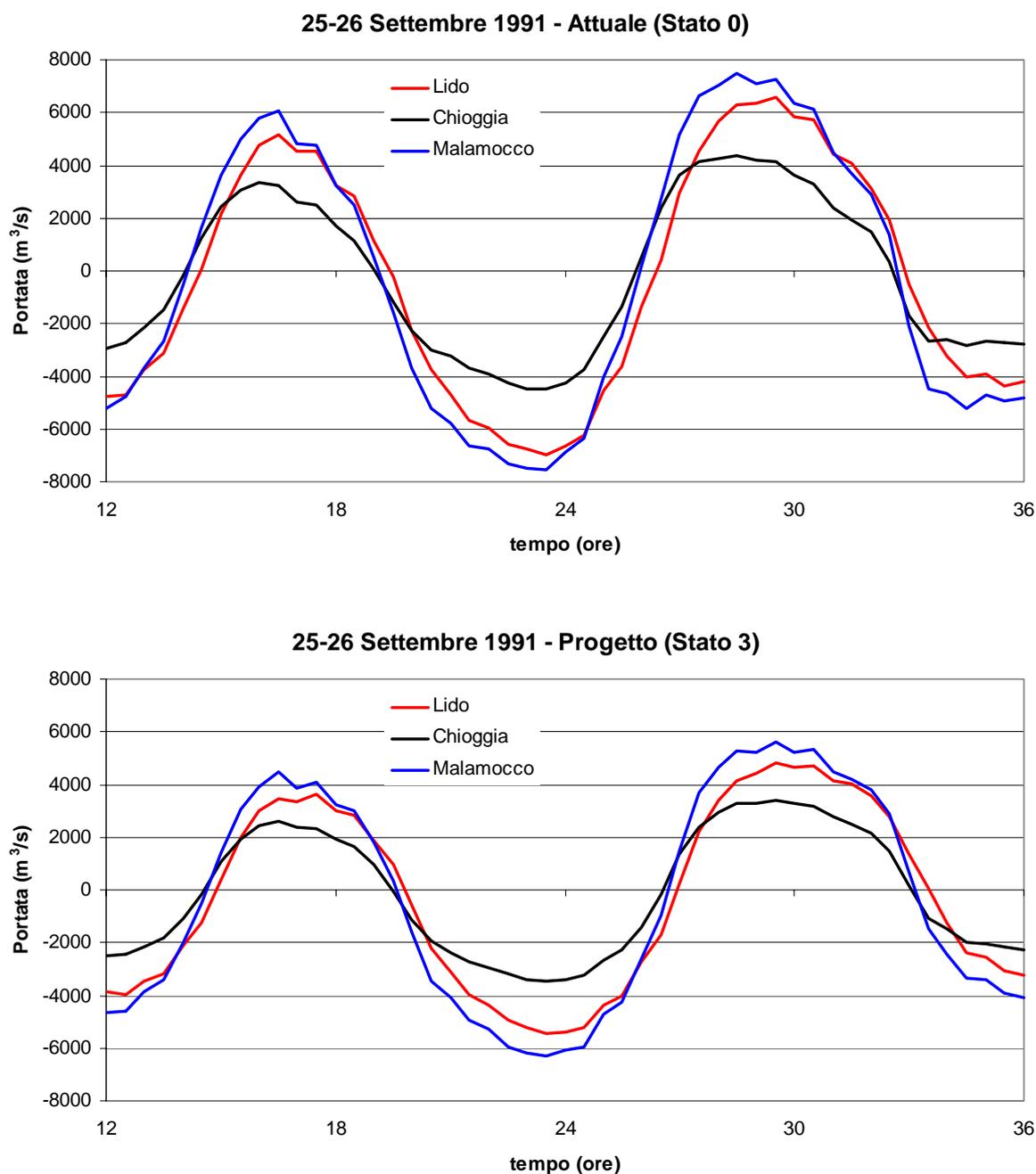


Figura 54 – Marea del 25-26 Settembre 1991: andamento delle portate fluenti attraverso le tre bocche di porto considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

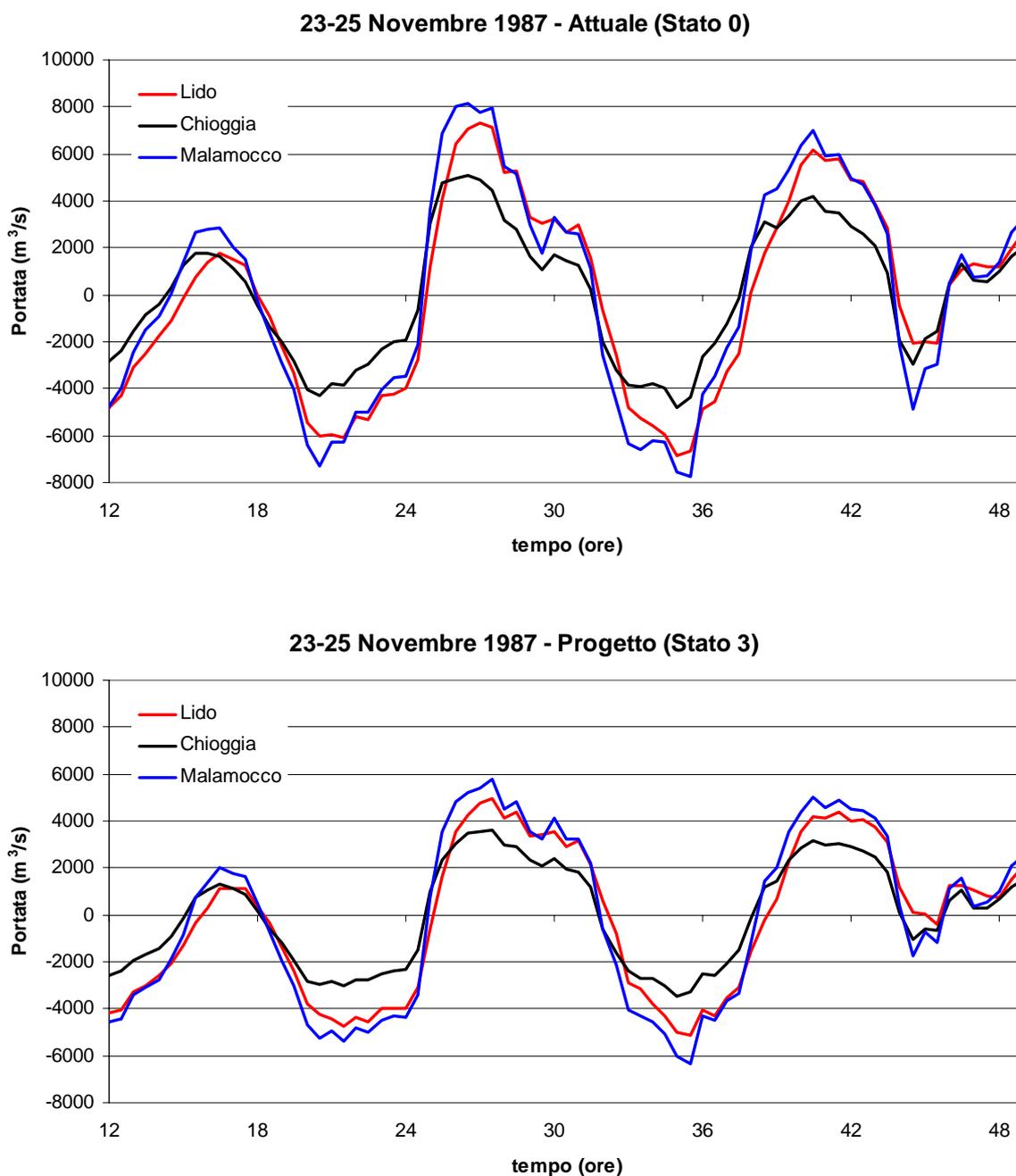


Figura 55 – Marea del 23-25 Novembre 1987: andamento delle portate fluenti attraverso le tre bocche di porto considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

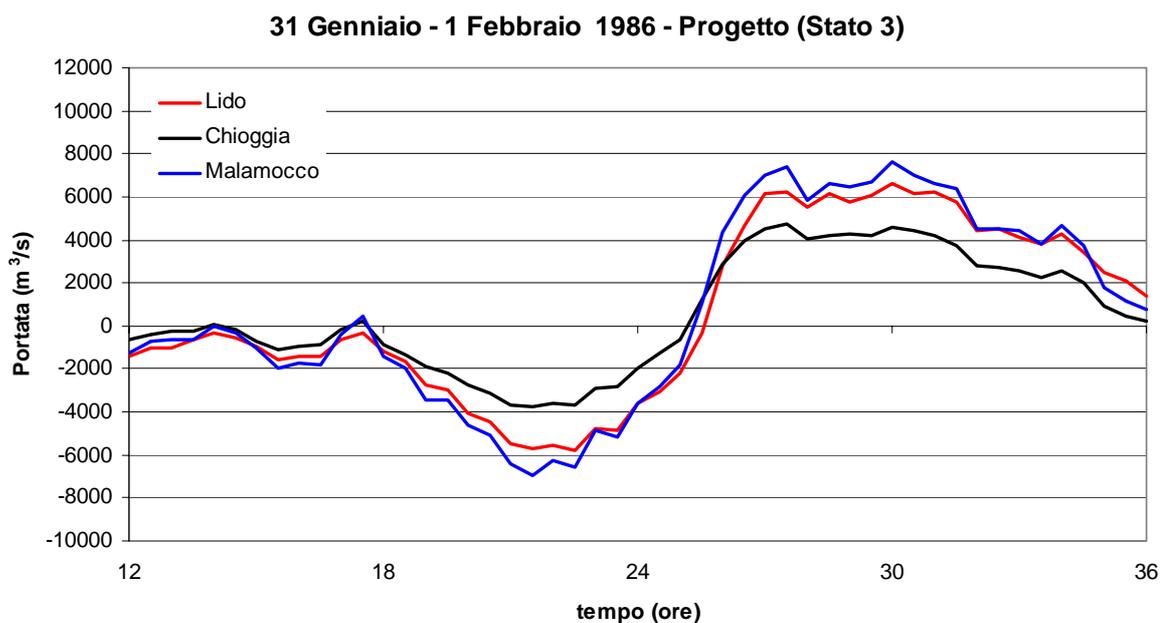
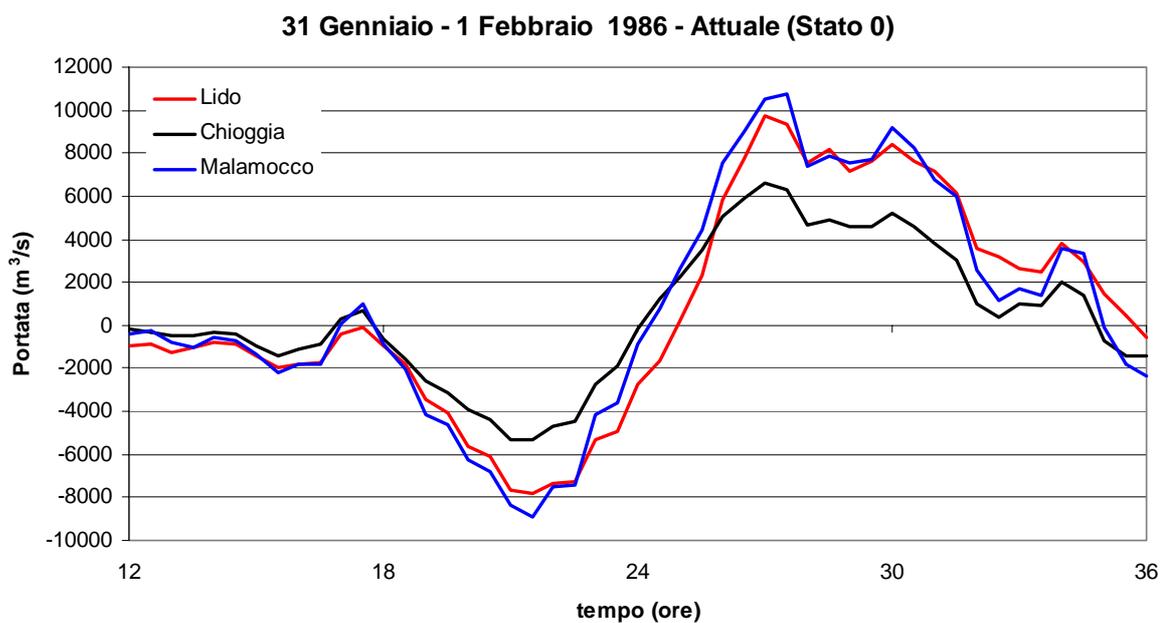


Figura 56 – Marea del 31 Gennaio – 1 Febbraio 1986: andamento delle portate fluenti attraverso le tre bocche di porto considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

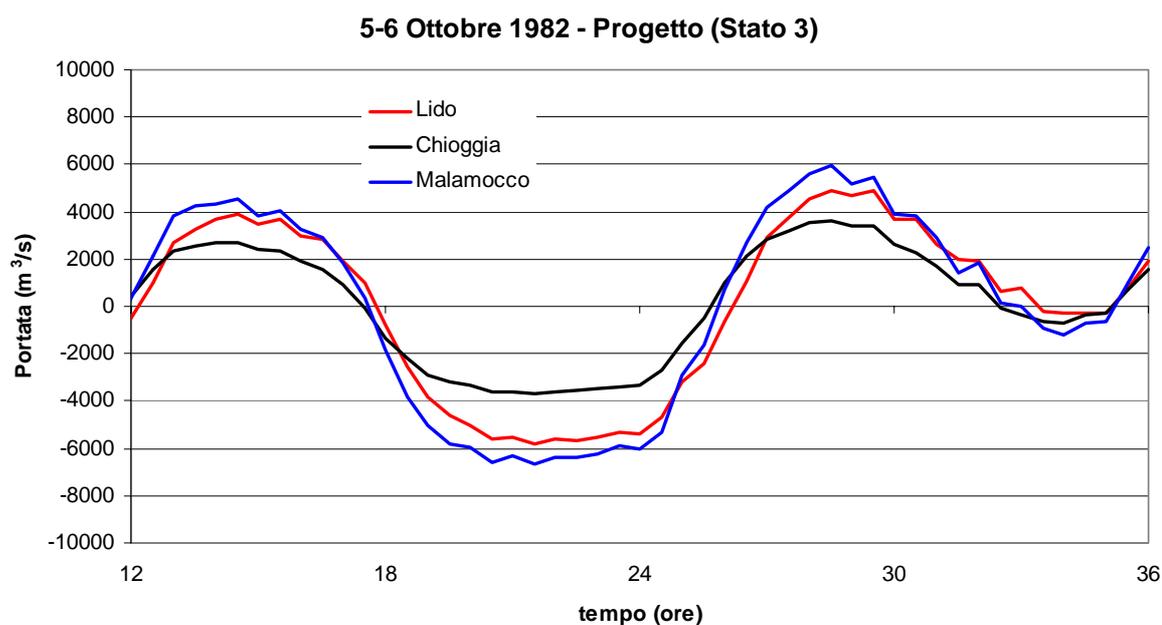
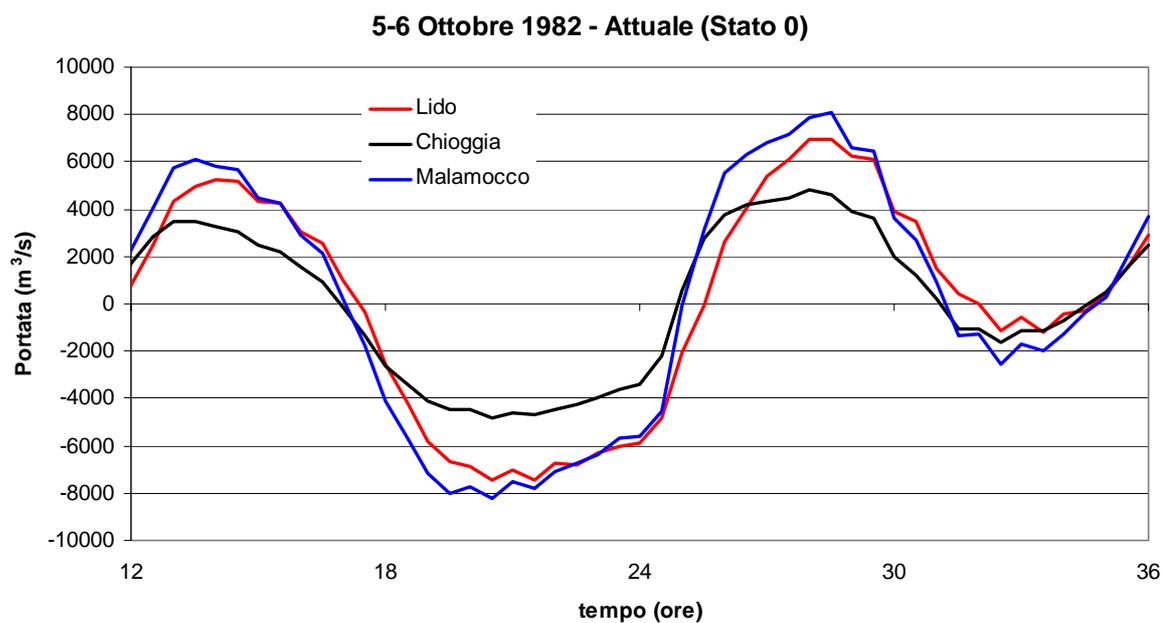


Figura 57 – Marea del 5-6 Ottobre 1982: andamento delle portate fluenti attraverso le tre bocche di porto considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

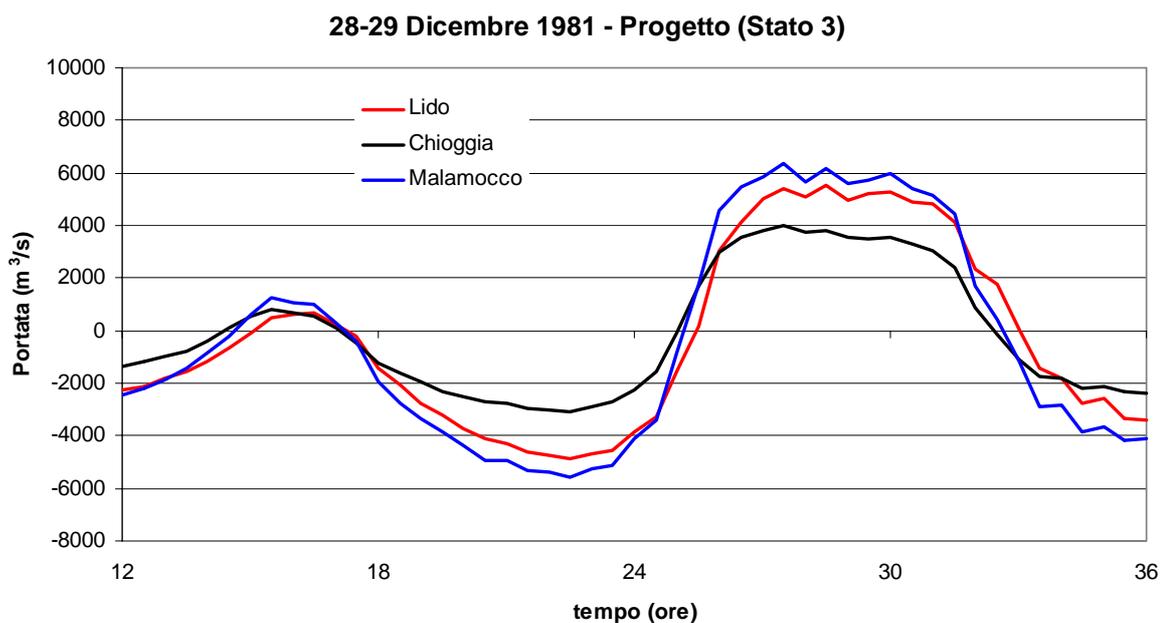
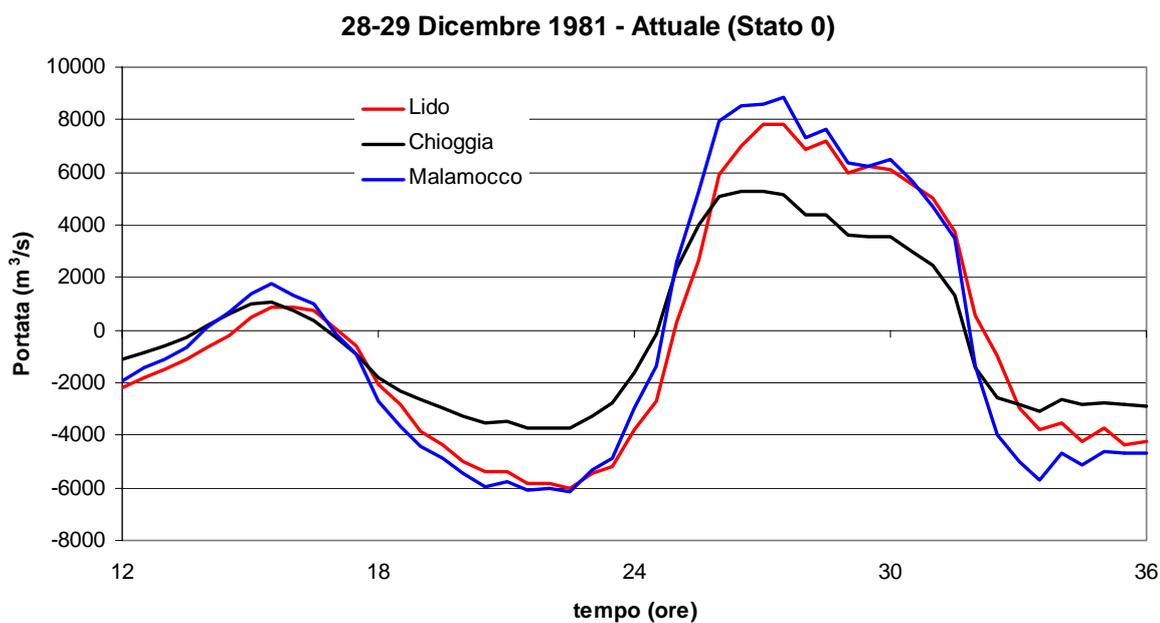


Figura 58 – Marea del 28-29 Dicembre 1981: andamento delle portate fluenti attraverso le tre bocche di porto considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

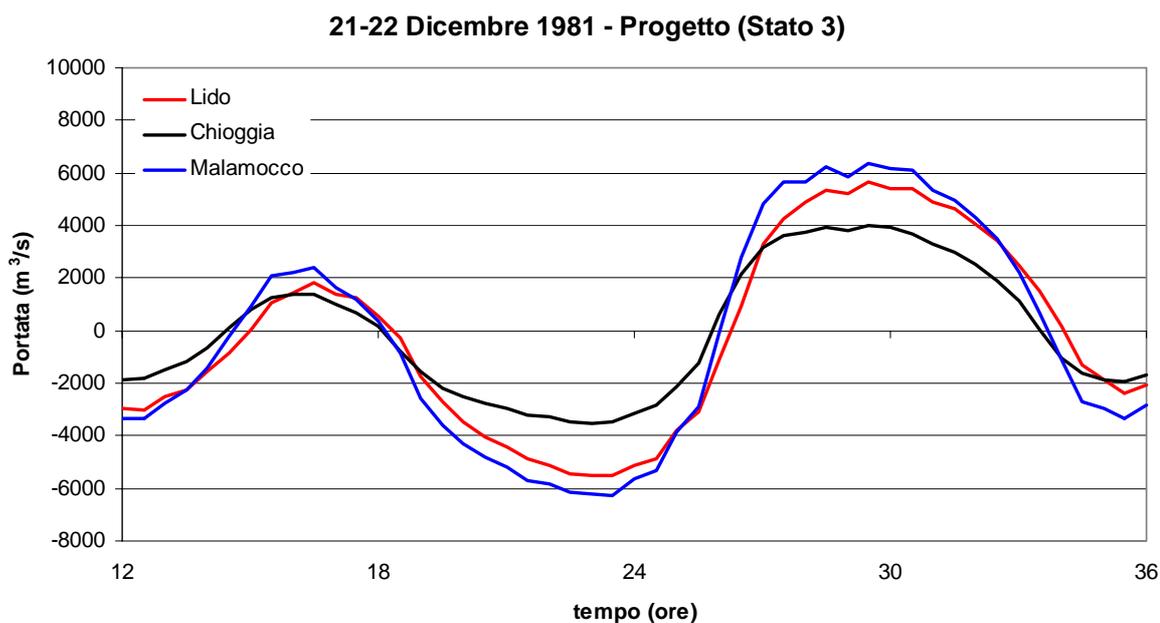
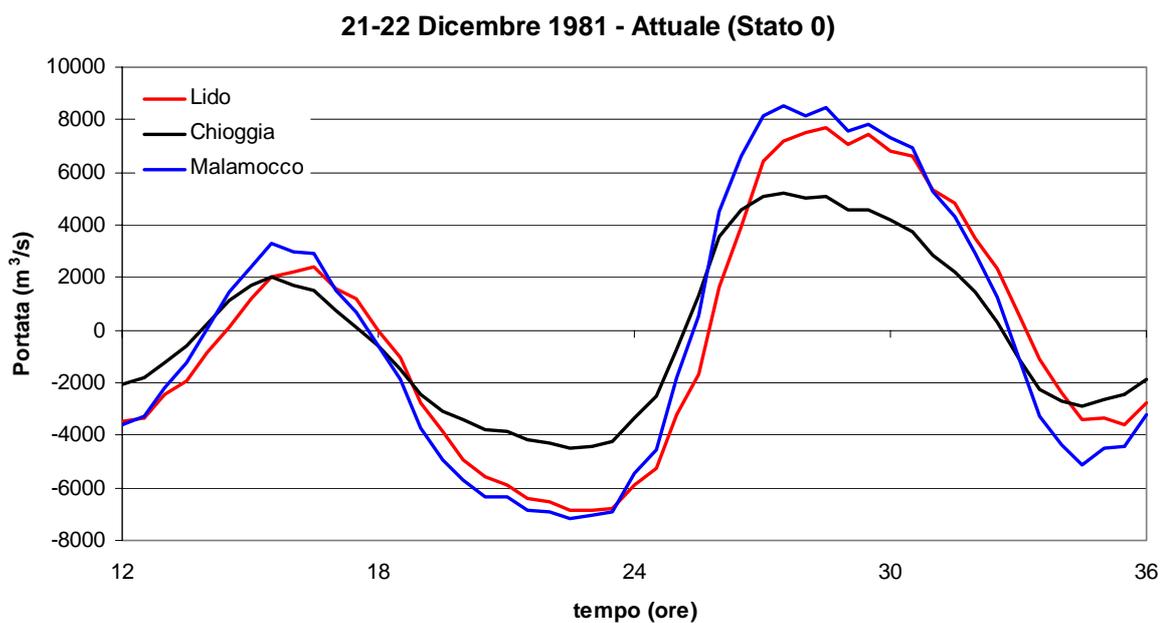


Figura 59 – Marea del 21-22 Dicembre 1981: andamento delle portate fluenti attraverso le tre bocche di porto considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

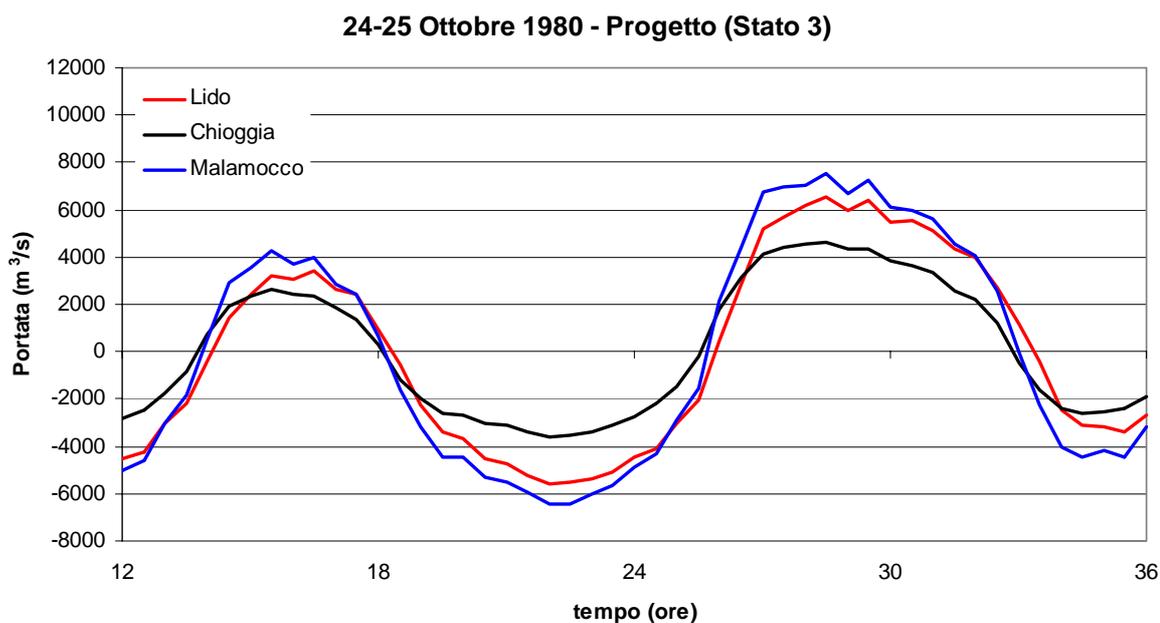
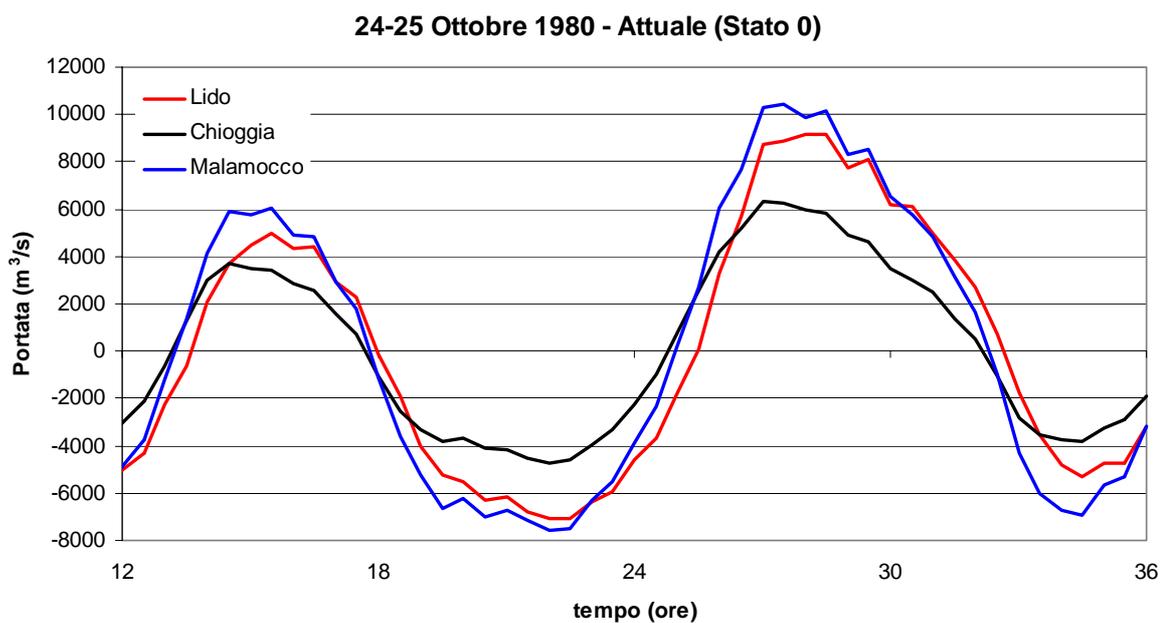


Figura 60 – Marea del 24-25 Ottobre 1980: andamento delle portate fluenti attraverso le tre bocche di porto considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

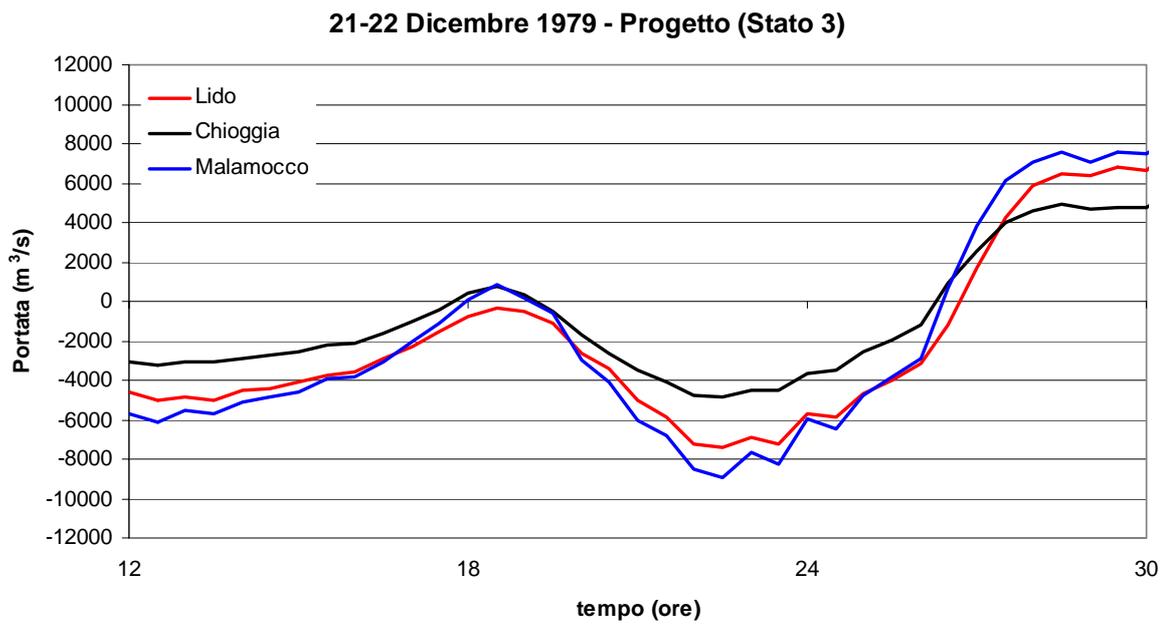
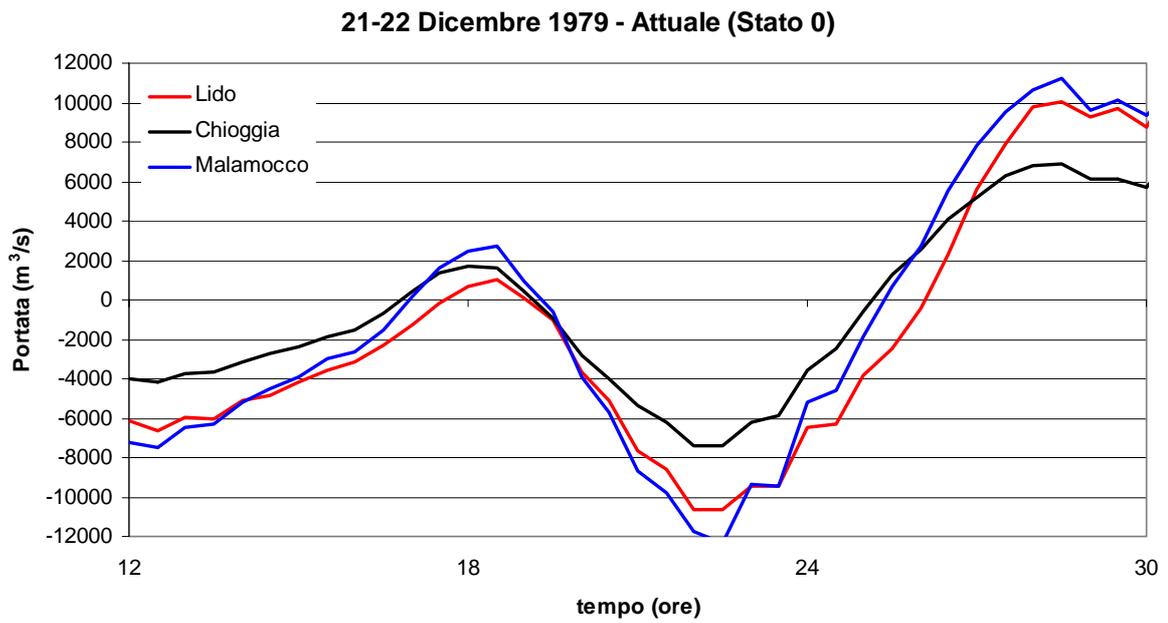


Figura 61 – Marea del 21-22 Dicembre 1979: andamento delle portate fluenti attraverso le tre bocche di porto considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

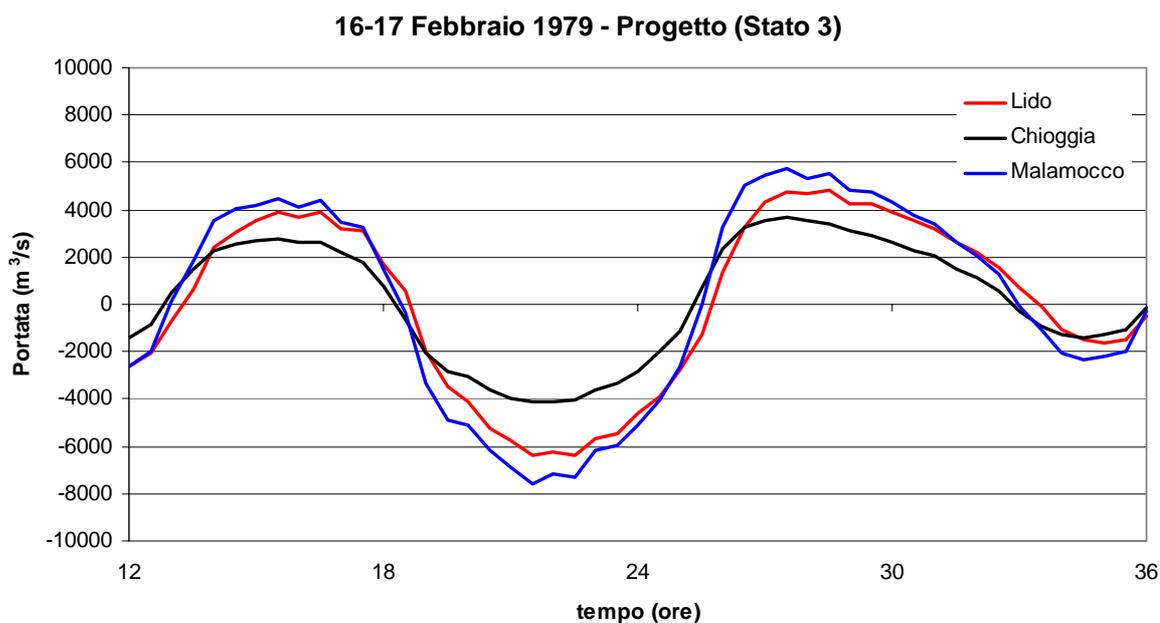
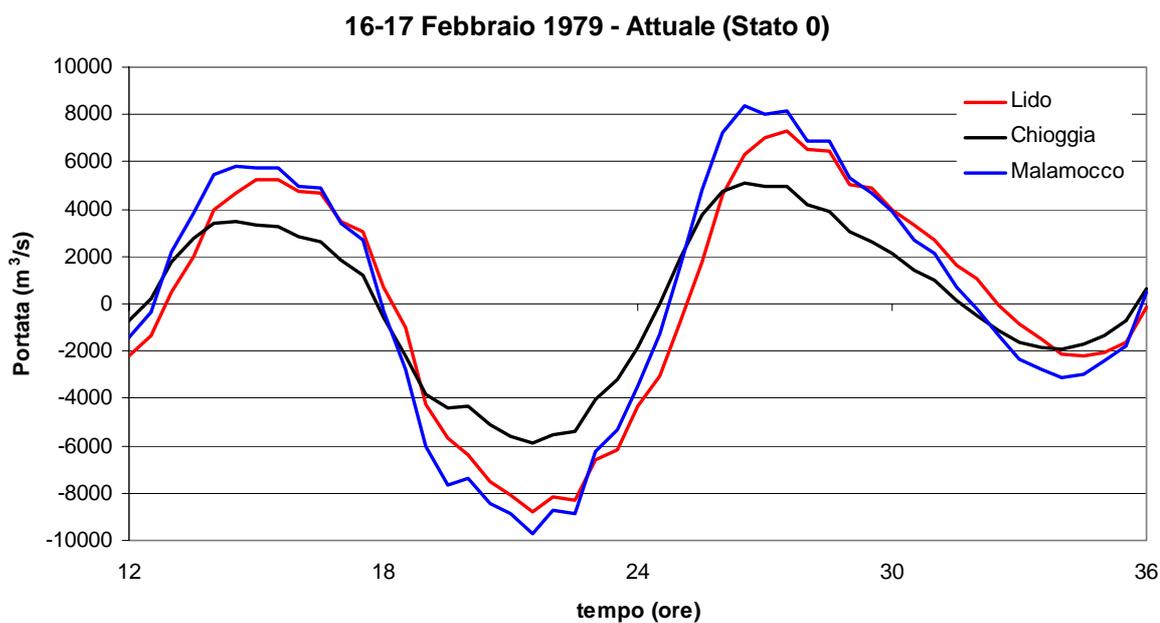


Figura 62 – Marea del 16-17 Febbraio 1979: andamento delle portate fluenti attraverso le tre bocche di porto considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

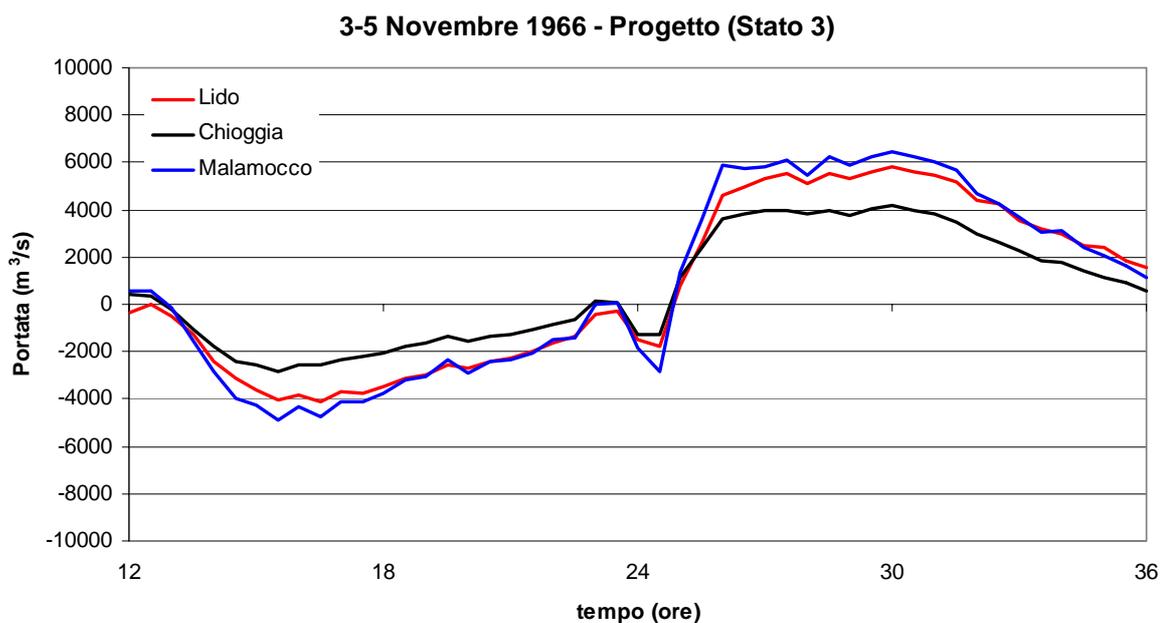
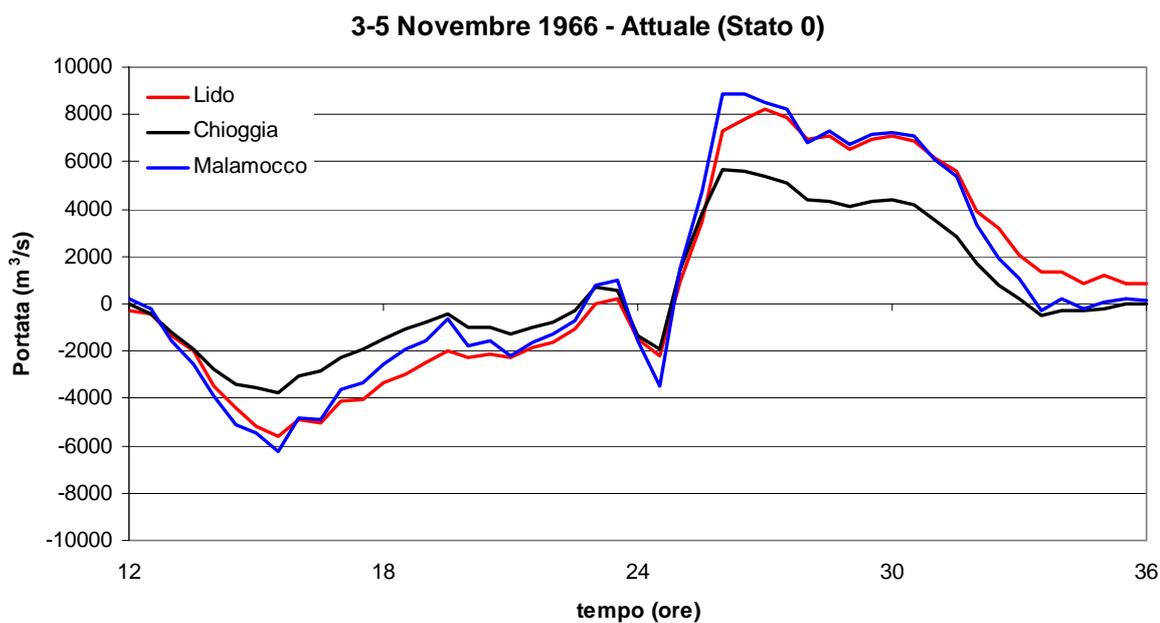


Figura 63 – Marea del 3-5 Novembre 1966: andamento delle portate fluenti attraverso le tre bocche di porto considerando rispettivamente la configurazione attuale delle bocche stesse (in alto) e quella finale di progetto (in basso).

