

COLLEGIO DI ESPERTI DI LIVELLO INTERNAZIONALE

RAPPORTO SUL PROGETTO DI MASSIMA DEGLI INTERVENTI ALLE BOCCHE LAGUNARI PER LA REGOLAZIONE DEI FLUSSI DI MAREA

(Traduzione dal testo originale in lingua Inglese)

Giugno 1998

*Collegio istituito con Decreto del 01.02.96 (modificato dai Decreti 10.07.97 e 27.09.97) del
Presidente del Consiglio dei Ministri*

Composizione del Collegio di Esperti di Livello Internazionale

Prof. Philippe Bourdeau (coordinatore)

*IGEAT, Université Libre de Bruxelles
Bruxelles, Belgium*

Prof. Jean-Marie Martin

*Environment Institute, Joint Research Centre, European Commission
Ispra, Italy*

Prof. Chiang C. Mei

*Massachusetts Institute of Technology
Cambridge, MA, USA*

Prof. Ignazio Musu

*Facoltà di Economia, Università Ca' Foscari
Venezia, Italy*

Prof. Pier Vellinga

*Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit
Amsterdam, The Netherlands*

INDICE

Sintesi del rapporto

1. Introduzione

2. Venezia e la sua laguna

3. La protezione di Venezia e degli altri centri urbani dall'acqua alta

4. Il progetto delle barriere mobili

5. Effetti e compatibilità ambientale del progetto delle barriere mobili in diversi scenari

6. Aspetti economici del progetto delle barriere mobili

7. Alternative al progetto delle barriere mobili

8. Sommario e conclusioni sul progetto delle barriere mobili e delle sue alternative

Riferimenti bibliografici

Allegato

SINTESI DEL RAPPORTO

L'aumento del livello del mare ed il costante processo di subsidenza registrati nei secoli passati rappresentano una minaccia crescente per le aree costiere, situate a livelli bassi rispetto al mare, di tutto il mondo. Le previsioni di un ulteriore aumento del livello del mare, a causa di cambiamenti climatici, accrescono l'esigenza di porre in atto opportune contromisure, che abbiano un respiro di lungo periodo.

Venezia rappresenta un caso particolare. L'unicità della città storica e dei suoi monumenti, incastonati in un sistema lagunare di alto valore storico e naturale, ne fanno un patrimonio dell'intera umanità.

Negli ultimi trecento anni, il livello del mare è cresciuto di circa 50 centimetri rispetto alla terra ferma (inclusa la subsidenza). Di conseguenza, il centro storico della città è ora soggetto a frequenti allagamenti, che compromettono l'integrità degli edifici, causano disagi alla popolazione e rappresentano un disincentivo per lo sviluppo economico della città. È altamente probabile che il livello del mare cresca ulteriormente tra 10 e 20 centimetri nei prossimi 50 anni, e ci si aspetta che questa tendenza continui.

Esistono esempi nel mondo, quali le barriere realizzate sul Tamigi o sulla Schelda, ove circostanze analoghe riguardo al livello del mare hanno richiesto interventi per la protezione del sistema costiero e dei centri urbani. Questi interventi hanno richiesto studi accurati ed approfonditi. Decisioni di questa portata sono di solito accompagnate da un dibattito pubblico molto animato, giustificato dagli alti costi delle opere e dalle conseguenze di lungo termine delle scelte. Anche nel caso di Venezia, la popolazione, gli enti locali e le amministrazioni regionali e nazionali devono affrontare una decisione di grande portata, che avrà conseguenze di lungo periodo.

La spinta per l'azione è venuta dallo storico evento di acqua alta del 1966, con un livello di marea che sfiorò i 2 metri sopra il livello di riferimento. A seguito di tale evento, fu deciso che la città debba essere protetta da eventi di questo tipo. Sono state promulgate leggi speciali per Venezia e sono state attuate misure di protezione di breve periodo. Nel frattempo sono stati progettati schemi di protezione più ampi. Dato l'effetto cumulativo dell'esposizione dell'area all'acqua alta negli ultimi trent'anni, e le prospettive di crescita del livello del mare, l'esigenza di agire rimane.

Il progetto proposto (noto come progetto delle opere mobili) consiste nell'installazione di una serie di paratoie mobili, incernierate sul fondo delle bocche di porto. Quest'opera è combinata con l'innalzamento delle parti più basse dei centri urbani fino a 100 cm. sopra il livello di riferimento. Le barriere mobili vengono alzate quando il mare Adriatico raggiunge un livello altrimenti tale da allagare la città.

Prima di prendere una decisione di procedere nella realizzazione di un progetto di tale portata, è necessario affrontare un certo numero di problemi, che vanno dalla valutazione degli impatti ambientale, sociale ed economico delle opere proposte, all'analisi delle conseguenze di breve e di lungo periodo per Venezia e la sua laguna. È stato commissionato uno Studio di Impatto Ambientale (SIA) allo scopo di analizzare la compatibilità ambientale del progetto, da presentare alla Commissione Nazionale per la Valutazione di Impatto Ambientale. In modo

indipendente, il Governo Italiano ha nominato un gruppo internazionale di esperti (Collegio) con lo scopo di fornire un parere sullo studio.

Questo rapporto presenta le conclusioni del Collegio.

Le principali questioni identificate ed affrontate in questo rapporto sono:

- Lo schema di protezione proposto sarà efficace e ci sono altri modi per proteggere Venezia?
- Quali sono gli effetti sull'ambiente della costruzione e dell'esercizio dello schema di protezione?
- Quali sono i costi e i benefici del progetto proposto e delle sue alternative, ed in quale modo influiscono sulle attività portuali?

Questi temi sono stati affrontati sia per la situazione attuale, sia per vari scenari di aumento del livello del mare. Per essere efficace, lo schema proposto dovrebbe essere in grado di proteggere Venezia per le condizioni attuali e per uno spettro di futuri scenari di livello del mare. Le proiezioni più conservative assumono l'arresto del processo storico di innalzamento del livello relativo del mare, implicando un livello medio del mare con un aumento non superiore ai 4 centimetri (come risultato della subsidenza di lungo periodo) nei prossimi cento anni. Uno scenario più realistico assume la continuazione del trend storico di innalzamento del livello del mare, come osservato nel bacino Mediterraneo nel corso degli ultimi 1500 anni. Assieme alla continuazione della subsidenza geologica di lungo periodo (non superiore ai 4 centimetri per secolo), questo porta ad una proiezione dell'innalzamento del livello del mare di circa 15 centimetri verso la fine del prossimo secolo (Scenario B).

Se si considera anche l'innalzamento del livello del mare indotto da cambiamenti climatici, il livello medio del mare potrebbe crescere tra i 15 ed i 100 cm. verso la fine del prossimo secolo. Tenendo conto dell'incertezza e delle variazioni regionali coinvolte in queste stime, è stato scelto un valore medio all'interno di questo ampio spettro di proiezioni. Questo porta ad uno scenario di incremento del livello del mare di 50 cm. nei prossimi 100 anni (Scenario C). Le variazioni climatiche e la correlata crescita del livello del mare si sviluppano in tempi lunghi, così che ci si attende un lento avvio del processo. Lo scenario C quindi proietta un innalzamento del livello del mare di 20 centimetri per l'anno 2050.

Gli scenari scelti dallo Studio di Impatto Ambientale rappresentano l'intervallo generale di situazioni future che ci si possono attendere nei prossimi cento anni.

Efficacia della protezione contro l'acqua alta

Per sollevare Venezia dal pericolo di frequenti allagamenti, il progetto delle barriere mobili mira a prevenire che l'acqua alta superi un certo livello in laguna. A differenza di altre barriere contro le inondazioni realizzate altrove, le barriere proposte non saranno appariscenti poiché gran parte delle strutture saranno immerse, e saranno innalzate solo se si prevede una inondazione oltre un certo livello. Dividendo le barriere in molti elementi, le operazioni, la manutenzione e la gestione risulteranno semplificate. Un aspetto caratteristico è rappresentato dal fatto che gli elementi delle barriere possono oscillare avanti ed indietro rispetto ad un asse

comune fissato sul fondale, quindi permettendo al mare stesso di distribuire il carico delle onde e riducendo l'esigenza di massicce strutture di supporto. La spinta di galleggiamento inoltre elimina il pericolo di mareggiate nell'improbabile caso di una crisi nell'intero sistema delle barriere. Misure possono essere prese per garantire l'efficacia delle barriere mobili concepite come una diga. Poichè le barriere sono state progettate per operare con una inclinazione di circa 45° quando elevate, l'effettiva altezza delle barriere può essere aumentata di un ampio margine incrementando questo angolo, in modo da mantenere la funzione di prevenzione dalle inondazioni anche in caso di futuri aumenti del livello del mare. L'angolo può essere modificato cambiando la spinta di galleggiamento degli elementi delle barriere. Se affiancato dal progetto "insulae", ovvero la protezione delle parti più basse della città, l'attuale progetto dovrebbe essere in grado di offrire la più efficace protezione per Venezia contro le acque alte nel corso del prossimo secolo.

Misure alternative, che potrebbero essere in grado di ridurre i picchi di marea nella laguna, quali l'apertura della valli da pesca, la chiusura del Canale dei Petroli, l'incremento della resistenza al flusso entrante mediante la riduzione della sezione delle bocche di porto e la modifica della parte finale dei moli foranei, la creazione/ricostruzione di velme e barene, potranno avere un effetto molto limitato sul livello dell'acqua in laguna. Di conseguenza, queste misure non si possono ritenere delle valide alternative. Tuttavia, alcune di queste misure possono essere complementari alle barriere mobili, specialmente quelle che favoriscono la ricostituzione della dinamica naturale e della biodiversità della laguna.

Una misura che potrebbe aiutare a ridurre gli effetti dell'acqua alta è l'innalzamento delle parti più basse della città e degli altri centri urbani. L'attuale proposta, conosciuta come "insulae", consiste nel proteggere queste aree sino a un livello di 100 centimetri (sopra il livello di riferimento), in modo tale che le barriere siano azionate solo quando si prevede che l'acqua raggiunga livelli superiori. Questo è un modo molto efficace di ridurre il numero di chiusure delle barriere mobili.

L'idea di innalzare le parti basse della città a livelli superiori, ad esempio sino a 120 centimetri, è stata proposta come alternativa alle barriere mobili. Tale misura ridurrebbe la frequenza degli allagamenti con il presente livello del mare a circa uno all'anno. In pratica, comunque, sarebbe difficile da attuare, costosa, e richiederebbe lunghi tempi di realizzazione. Questa alternativa è altrettanto costosa delle barriere mobili, richiederebbe 60 anni o più per essere completata, e lascerebbe la città esposta per un lungo periodo a venire. Dato che non sarebbe in grado di proteggere contro acque alte eccezionali superiori ai 120 centimetri, va considerata come una soluzione solo parziale.

Effetti sull' ambiente

Con l'attuale livello del mare, e con una frequenza attesa di chiusura delle barriere di circa 12 volte all'anno, in media, per un totale di 42 ore di chiusura, specialmente in inverno, gli effetti sull'ambiente lagunare saranno trascurabili, poichè la durata delle chiusure è molto breve rispetto alla durata dei periodi di scambio aperto con il mare.

Inoltre, la durata massima di una singola chiusura nelle situazioni peggiori potrebbe raggiungere il giorno o due, nel qual caso ci potrebbero essere degli effetti, ma ci si attende che la laguna recuperi rapidamente.

Tuttavia, l'effetto sull'ambiente della chiusura delle barriere crescerebbe con il numero di chiusure, e quindi con l'aumento del livello del mare. In corrispondenza di un aumento del livello del mare di 10 centimetri, previsto nel periodo tra il 2030 ed il 2100, a seconda dello Scenario C o B rispettivamente, il numero medio di chiusure salirebbe a circa 30 per anno. Per tale periodo, gli effetti sul sistema naturale della laguna diventerebbero misurabili, anche se si prevedono bassi. Molto dipenderà dallo stato delle popolazioni di macro alghe. Attualmente queste si sono ridotte sensibilmente, ma potrebbero ritornare. Qualora dovessero proliferare, la biomassa in decomposizione potrebbe determinare una situazione di anossia e la produzione di solfuro nei sedimenti. Misure per ridurre l'input di nutrienti nella laguna sono probabilmente in grado di ridurre tale rischio.

Con un aumento del livello del mare di circa 20 centimetri (al di sopra del livello attuale) il numero di chiusure aumenterebbe a circa 70 in media all'anno, situazione che potrebbe verificarsi con lo Scenario C verso il 2050. In tale situazione, l'effetto sull'ambiente sarebbe misurabile.

Verso la metà del prossimo secolo, il regime di chiusura potrebbe essere rivisto alla luce delle esperienze maturate. Per quel periodo, ci sarà una maggiore conoscenza a proposito dell'ambiente lagunare ed a proposito delle variazioni del clima e dell'aumento del livello del mare. Inoltre, per quel periodo il regime di chiusura potrebbe essere riconsiderato in relazione alla possibilità di aumentare il livello di protezione delle insulae.

Comunque, in ogni situazione la flessibilità delle barriere mobili costituirebbe un vantaggio importante. Da questo punto di vista, il sistema delle barriere mobili è superiore ad ogni altro sistema, più fisso, di protezione della città. Se il livello del mare dovesse continuare a crescere, la frequenza delle chiusure dovrebbe essere aumentata. Questo processo causerebbe una graduale, ma inevitabile, trasformazione della laguna da un sistema marino aperto ad un sistema semi-aperto ad acqua salmastra. Il lento avvio di questo processo, e la flessibilità di gestione delle barriere mobili, potrà prevenire drastiche transizioni dell'ecosistema.

Per quanto riguarda le alternative, alcune delle misure diffuse, quali la ricostruzione delle barene e delle velme, avrebbero un impatto ambientale positivo. Altre, quali la modifica della parte finale dei moli foranei, avrebbero un impatto negativo. È importante sottolineare che in assenza di interventi l'ambiente lagunare cambierebbe comunque come risultato dell'innalzamento del livello del mare.

Aspetti economici

Eliminando quasi tutti i danni delle acque alte, il progetto di barriere mobili proposto avrà una serie di benefici intangibili, ma importanti, quali la protezione dei monumenti storici, il miglioramento della qualità della vita nei centri urbani lagunari, ed un incremento delle opportunità di sviluppo sociale ed economico.

Un'analisi costi-benefici più limitata, basata solamente su benefici misurabili, dimostra che il progetto produce benefici futuri quasi uguali, o più elevati, dei costi di costruzione e gestione del progetto come presentati nel SIA (rispettivamente per la situazione attuale e per un incremento del livello del mare).

Inoltre, combinando l'efficienza economica interna del progetto e la sua efficacia nel ridurre i danni delle acque alte, il progetto delle barriere mobili è migliore sia delle insulae potenziate (protezione sino a 120 cm.) sia delle misure diffuse.

Nel caso di un aumento del livello del mare, la gestione delle barriere mobili dovrà essere riconsiderata alla luce degli effetti sul porto. Ciò diventerebbe necessario particolarmente con un aumento del livello del mare di 10 centimetri o più, che potrebbe verificarsi tra il 2030 ed il 2100. Le alternative che potrebbero essere considerate alla luce della conoscenza ed esperienza maturate sia rispetto all'aumento del livello del mare, sia rispetto all'innalzamento della città, sono:

1. Accettare chiusure più frequenti ed iniziare la costruzione di una conca di navigazione.
2. Continuare l'innalzamento della città man mano che il livello del mare cresce. Questa operazione è costosa e richiede tempi lunghi, ma tecniche più aggiornate e meno costose potrebbero venire sviluppate nei prossimi decenni. Qualora le parti più basse della città si potessero innalzare di altri 10 centimetri, il regime di chiusura delle barriere mobili potrebbe rimanere accettabile per la continuazione dell'attività portuale.

Conclusioni e raccomandazioni

Il progetto proposto è considerato un modo efficace per proteggere la città dalle acque alte. Inoltre, il sistema di barriere mobili avrà una influenza minima sull'ambiente lagunare, nelle condizioni attuali. Qualora il livello del mare dovesse aumentare, il sistema delle barriere mobili è sufficientemente flessibile da permettere un aggiustamento del regime delle operazioni a quelle che saranno le conoscenze scientifiche prevalenti e le priorità sociali del tempo.

La combinazione delle barriere mobili con le insulae, in modo che l'innalzamento delle barriere avvenga solo per acque alte al di sopra di una certa soglia, appare come la migliore soluzione, poichè permetterebbe di minimizzare gli impatti ambientali, i mutamenti all'idrodinamica lagunare e le interferenze con le attività portuali.

Di fatto, il sistema di barriere mobili risponde adeguatamente ai problemi attuali, mentre lascia aperte le opzioni per il futuro.

Tuttavia: Il progetto richiede degli aggiustamenti ingegneristici per garantire la eliminazione della possibile ed indesiderata risonanza tra gli elementi delle barriere. La gestione delle operazioni del sistema di barriere mobili e la loro efficacia per la prevenzione delle acque alte dipende dalla qualità ed affidabilità delle previsioni di marea. Se il progetto viene approvato, specifici investimenti saranno probabilmente richiesti per migliorare il sistema di previsione meteorologica e delle maree. Il contributo all'inquinamento della laguna dovuto a scarichi urbani, industriali ed agricoli è attualmente la maggior fonte di deterioramento dell'ambiente

lagunare. La riduzione di questi inquinanti determinerà in larga misura la qualità ambientale della laguna nel lungo periodo. La protezione dell'ambiente lagunare sarà difficilmente praticabile in assenza di un esteso sistema di monitoraggio per l'intera laguna, tale da permettere la valutazione dello stato attuale dell'ambiente e delle tendenze prevedibili. Si raccomanda la realizzazione di tale sistema, che sarebbe necessario anche per lo sviluppo dei futuri regimi di operazione, in caso di innalzamento del livello del mare. Per garantire il successo complessivo del progetto si raccomanda di associare la responsabilità della costruzione dell' opera a quella della sua gestione. La allocazione dei fondi per la manutenzione ordinaria della città e della laguna non dovrebbe essere sacrificata alla realizzazione del progetto, perchè questo, in definitiva, comprometterebbe i benefici ottenuti dal controllo delle acque alte. Particolare attenzione dovrebbe essere dedicata allo sviluppo di un contesto istituzionale che fissi i criteri di gestione delle barriere mobili e che garantisca una gestione flessibile di lungo periodo del sistema nel suo complesso, a seguito della esperienza maturata e della nuova informazione che man mano si rende disponibile.

1. INTRODUZIONE

In seguito all'inondazione del 1966 e alle sue drammatiche conseguenze, è iniziato un programma di misure destinate alla salvaguardia di Venezia e della laguna in base alle leggi 171/73, 798/84 e 139/92 (vedere Sezione 3.1).

In questo contesto, il Consorzio Venezia Nuova (CVN), concessionario del Ministro dei Lavori Pubblici e del Magistrato alle Acque di Venezia, ha sviluppato il progetto preliminare di barriere mobili per controllare il flusso delle maree alle tre bocche di porto della laguna di Venezia. Questo progetto è stato approvato con alcuni vincoli aggiuntivi dal Consiglio Superiore per i Lavori Pubblici in data 18.10.94.

Su richiesta del Comune di Venezia, il Comitato di Coordinamento e Controllo (Comitatone), che presiede all'adempimento delle misure prese per attuare le disposizioni della legge 798/84, ha concordato di sottoporre il progetto preliminare ad una procedura di valutazione di impatto ambientale, sebbene progetti di questo tipo non siano soggetti alla legge italiana sulla valutazione di impatto ambientale.

Il Comitato ha proposto un gruppo di esperti di livello internazionale (Collegio di Esperti di livello Internazionale, chiamato Collegio nel resto del documento) per dare un'opinione sul progetto, valutando la sua compatibilità ambientale. Con proprio decreto del 01.02.96 il Presidente del Consiglio dei Ministri ha costituito questo Collegio, formato dai Professori Ph. Bourdeau (coordinatore), P. Costa, J-M. Martin, C.C. Mei e P. Vellinga. Prima di iniziare i suoi lavori, la composizione del Collegio è stata modificata dal decreto del 10.07.97 il quale sostituiva il Prof. P. Costa, in seguito alla sua nomina a Ministro dei Lavori Pubblici, con il Prof. I. Musu. Questo decreto specificava che il Collegio avrebbe dovuto concludere le sue attività entro 7 mesi dalla sua prima seduta. Il decreto è stato ulteriormente modificato dal decreto del 27.09.97 il quale specificava che il Collegio avrebbe dovuto iniziare i suoi lavori il, o in data antecedente al, 30 settembre 1997 e concluderli il 30 aprile 1998, ma poteva anche richiedere un rinvio della scadenza, qualora necessario. Esso affermava anche che il Collegio avrebbe dovuto portare a termine il suo compito a stretto contatto con il Magistrato alle Acque di Venezia, il Ministro dell'Ambiente e la Commissione costituita secondo l'articolo 18 della legge 67/88 per le valutazioni di impatto ambientale (la Commissione VIA).

Visto il ritardo nell'avvio dei lavori, la complessità del compito a causa della necessità di analizzare l'ampio Studio di Impatto Ambientale (SIA) del progetto, di sentire molte parti interessate e di avere scambi di vedute con la Sottocommissione VIA assegnata al progetto, il Collegio ha richiesto un rinvio della scadenza al 30 giugno 1998. Tale richiesta è stata accolta e la scadenza fissata al 31 luglio 1998 dal DPCM del 29 aprile 1998.

Le conclusioni del Collegio devono essere sottoposte al Presidente del Consiglio dei Ministri e ai Ministri dei Lavori Pubblici e dell'Ambiente, così come al Comitato di Coordinamento e Controllo (Comitatone).

Il Ministro dell'Ambiente trasmetterà le conclusioni alla Commissione nazionale VIA la quale formulerà il suo giudizio sulla compatibilità ambientale del progetto, come definito dall'articolo 6 della legge 349/86. Il Ministro dell'Ambiente comunicherà la sua posizione al Comitato. Quest'ultimo esprimerà poi la sua opinione sulla compatibilità ambientale del

progetto, in base alle conclusioni del Collegio e alla posizione adottata dalla Commissione nazionale VIA.

Il Collegio si è riunito per la prima volta a Venezia il 12-13 novembre 1997. Altre sei riunioni si sono susseguite fino al giugno 1998. Sono state organizzate udienze di organizzazioni e singoli, elencati nell'allegato. Il Collegio si è riunito inoltre altre tre volte con la Sottocommissione VIA e ha consultato una vasta rosa di esperti.

Nel preparare la relazione e le conclusioni in conformità al suo mandato, il Collegio si è avvalso non solo delle informazioni contenute nel SIA ma anche di relazioni e di letteratura scientifica recenti e rilevanti, come anche di opinioni espresse dalle diverse persone e dai rappresentanti di organizzazioni che sono stati intervistati e che si ringraziano sinceramente per il loro contributo.

Ringraziamenti

Il Collegio è grato al Magistrato alle Acque di Venezia, al suo Presidente Ing. Felice Setaro e alla Sig.ra Stefania Mazza per la loro efficiente cooperazione nell'organizzazione di questo lavoro.

Esprime inoltre il suo apprezzamento alla Prof.ssa Maria Rosa Vittadini e ai membri della sottocommissione VIA, in particolare ai suoi coordinatori, Prof. Bernardo De Bernardinis e Prof.ssa Andreina Zitelli, per l'utile scambio di opinioni e discussioni durante il corso del lavoro.

Nel suo compito il Collegio è stato aiutato dal Dr. Euro Beinat nella sua qualità di segretario scientifico. Il Collegio desidera riconoscere il suo contributo veramente essenziale.

Desidera altresì dare riconoscimento dei preziosi consigli avuti dal Prof. Oscar Ravera e ringraziare Ms. Jane Wallace Jones per il suo aiuto nel fornire informazioni.

2. VENEZIA E LA SUA LAGUNA

2.1. Una città nella sua collocazione naturale

La laguna è sempre stata il contesto ambientale per la vita di Venezia e degli insediamenti urbani limitrofi. Nel corso della storia, si è sviluppata una forte integrazione tra Venezia e la sua laguna. Ogni divergenza tra il modo di organizzare la vita sociale ed economica di Venezia e il mantenimento dell'integrità della laguna creerebbe un conflitto di valori che ostacolerebbe lo sviluppo e produrrebbe una perdita dell'identità culturale della città. La peculiarità della laguna di Venezia è dovuta alla unicità della combinazione tra ambiente naturale, attività umane e patrimonio culturale.

La laguna di Venezia è un vasto ecosistema che, nei secoli, è stato mantenuto tale dall'incessante intervento umano. Nel corso della storia veneziana, si è sviluppato un vivace dibattito circa la migliore strategia per preservare l'esistenza della laguna, basato sulle necessità politiche ed economiche della città. Per rispondere al timore che la laguna si colmasse progressivamente di sedimenti e si trasformasse in un ambiente terrestre, la Repubblica di Venezia ha deviato il corso di alcuni importanti fiumi verso il mare.

Situata tra la terra e il mare, la laguna riceve materiali dal bacino scolante e li scambia, insieme al biota, con il Mare Adriatico. La laguna è un sistema altamente variabile, complesso, dinamico ed aperto, un mosaico di ecosistemi minori (velme, barene, canali ecc.) tale da rendere difficile la definizione di uno stato di equilibrio. Attualmente prevalgono i fenomeni erosivi che causano una perdita netta di sedimenti verso il mare. A causa di questo e dell'innalzamento del livello del mare la profondità della laguna sta lentamente aumentando.

Infine, un aspetto importante è la relazione tra il livello della città e quello del mare. Una combinazione di vari fattori, come l'eustatismo, la subsidenza naturale e quella indotta dalle attività umane (estrazione dell'acqua dal sottosuolo) ha prodotto un netto abbassamento del livello della città rispetto al livello del mare (circa 23 cm. nell'ultimo secolo). Ne consegue che la città viene inondata con maggiore frequenza.

2.2. Aspetti economici e sociali di Venezia e della sua laguna

Per un lungo periodo di tempo, l'obiettivo di mantenere l'ambiente lagunare è stato in armonia con quello dello sviluppo economico dei suoi centri urbani. Con l'era industriale, è cominciato ad emergere un divario tra i due obiettivi. La probabilità di conflitti è aumentata durante gli anni 30 e 50 con la scelta economica strategica di insediare grandi complessi industriali sul bordo lagunare. Questo ha portato, tra l'altro, all'estrazione di acqua dalla falda, all'inquinamento dell'aria e dell'acqua. Il problema è stato aggravato dall'impatto di una agricoltura intensiva e dello sviluppo urbano nel bacino scolante.

La vita sociale ed economica di Venezia attraversa attualmente un periodo di cambiamento strutturale. La popolazione del centro storico di Venezia sta diminuendo e invecchiando. L'occupazione è diminuita a seguito del declino nel settore industriale, che non ha più un ruolo leader nello sviluppo economico della città.

Il turismo è l'attività il cui l'impatto sull'economia veneziana è maggiormente cresciuto. Venezia viene visitata ogni anno da più di 10 milioni di persone, la cui maggioranza ne visita il centro storico solo per gite giornaliere. Questo rende il turismo, com'è attualmente organizzato, un'attività che da un lato produce un alto valore economico, ma dall'altro produce un danno potenziale e una pressione ambientale sulla qualità della vita dei veneziani e sulle strutture fisiche della città

Venezia sta cercando un ruolo produttivo nella società post-industriale. Il valore universalmente riconosciuto di Venezia e della sua laguna li rende un bene pubblico internazionale che deve essere preservato non solo nell'interesse dei veneziani ma anche dell'umanità intera. Venezia non dovrebbe essere considerata solo un museo di arte e storia; è costituita di una città viva e da un ambiente naturale unico. Preservare una realtà così complessa è un compito ambizioso che richiede un insieme diversificato di attività economiche positivamente legate all'ambiente lagunare. L'insieme di attività fisiche, ambientali e culturali di cui Venezia e la laguna sono dotati fornisce un'opportunità unica per insediare imprese e persone che operino nel campo dei beni non-materiali e dei servizi.

Tuttavia, altri fattori, che danneggiano la qualità della vita e le attività economiche ed impongono costi eccessivi di manutenzione di palazzi e infrastrutture, potrebbero scoraggiare un così promettente scenario economico e sociale. L'aumento della frequenza e del livello dell'acqua alta sono certamente tra questi fattori negativi.

Qualsiasi soluzione contemplata per proteggere Venezia dall'acqua alta deve tenere conto della necessità di preservare l'ecosistema della laguna e di prevenire un suo futuro deterioramento.

2.3. Conclusioni

Venezia e la sua laguna sono fortemente legate tra di loro. Nel passato sono state prese importanti decisioni per preservare la laguna, così che ciò che vediamo oggi è in larga misura il risultato dell'intervento umano. L'armonia tra la laguna e le attività sociali ed economiche di Venezia che prevaleva in passato è ora profondamente compromessa. L'ambiente lagunare si è degradato e Venezia affronta problemi di ristrutturazione economica, diminuzione della popolazione e predominio del turismo. L'acqua alta nella laguna è uno dei maggiori fattori che rende la soluzione di questi problemi più difficile

3. LA PROTEZIONE DI VENEZIA E DEGLI ALTRI CENTRI URBANI DALL'ACQUA ALTA

3.1. L'inondazione del 1966 come spinta per l'azione

L'inondazione del novembre 1966 e le sue drammatiche conseguenze hanno promosso una serie di programmi e di azioni per proteggere Venezia, Chioggia e gli altri centri urbani lagunari dalle acque alte eccezionali.

La preoccupazione per l'acqua alta è stata affrontata in una serie di leggi italiane specificatamente rivolte a Venezia e alla sua laguna. La prima legge speciale per Venezia è stata approvata nel 1973. L'articolo 7 della legge 171/73 ha reso il governo italiano responsabile per la "regolazione dei livelli marini in laguna finalizzata a porre gli insediamenti urbani al riparo dalle acque alte". L'articolo 12 ha autorizzato il governo ad intraprendere azioni immediate volte alla "riduzione dei livelli marini in laguna mediante opere che rispettino i valori idrogeologici, ecologici e ambientali ed in nessun caso possano rendere impossibile o compromettere il mantenimento dell'unità e continuità fisica della laguna".

Nel 1984 è stata approvata una seconda legge speciale per Venezia (legge n.798/1984). Nell'articolo 3, questa legge stanziava fondi per sostenere studi, progetti, esperimenti ed opere volti al raggiungimento dei seguenti obiettivi: riequilibrio idrogeologico della laguna; arresto e inversione del processo di degrado nel bacino lagunare e l'eliminazione delle cause che lo hanno provocato; attenuazione dei livelli delle maree in laguna; difesa, con interventi localizzati, delle insulae dei centri storici; messa a riparo degli insediamenti urbani lagunari dalle acque alte eccezionali, anche mediante interventi alle bocche di porto con sbarramenti manovrabili per la regolazione delle maree, nel rispetto delle caratteristiche di sperimentabilità, reversibilità e gradualità, contenute nel voto del Consiglio Nazionale dei Lavori Pubblici nel 1982.

La terza legge speciale per Venezia è stata approvata nel 1992 (legge n.139/1992). In base all'articolo 3 di questa legge, stanziamenti per lavori volti alla regolazione delle maree possono essere usati solo dopo che il Comitato di Coordinamento e Controllo (Comitatone) abbia verificato un progresso adeguato nei seguenti interventi: adeguamento e rinforzo dei moli foranei delle tre bocche lagunari; difesa dalle acque alte degli abitati insulari; ripristino della morfologia lagunare; arresto del processo di degrado della laguna; difesa dei litorali; sostituzione del traffico petrolifero in laguna; apertura delle valli da pesca all'espansione delle maree.

Dopo l'evento del 1966, gli enti responsabili hanno adottato inoltre una serie di misure organizzative e tecniche per ridurre il danno causato dagli eventi di acqua alta, come la conversione dei sistemi di riscaldamento a gas naturale, l'elevazione dei contatori e delle scatole di connessione, l'evacuazione di alcuni piani terra, lo sviluppo di un sistema d'allarme preventivo e la messa a disposizione di passerelle temporanee lungo le principali vie pedonali. Tali misure riducono alcuni dei danni a breve termine delle acque alte. Tuttavia non proteggono i monumenti dalla frequente esposizione all'acqua del mare. Ancora più

importante, queste misure non proteggono Venezia e gli altri centri urbani dalle acque alte eccezionali (cfr. Tabella 1 per una indicazione della frequenza degli allagamenti a Venezia e Chioggia).

Tabella 1. Frequenza annuale degli allagamenti nei centri storici in funzione del livello della marea (riprodotta dal SIA, Sezione C, Volume 1, Tab. C3.1.1.3, pag. 143 della versione in Inglese).

Livello della marea (cm) rispetto allo zero idrometrico a Punta della Salute	Venezia		Chioggia
	Frequenza media	Frequenza max	Frequenza media
+ 80	39 volte/anno	60 volte/anno	80 volte/anno
+ 100	7 volte/anno	19 volte/anno	15 volte/anno
+ 120	1 volta/anno	4 volte/anno	3 volte/anno
+ 140	1 in 6 anni	1 volte/anno	1 in 3 anni
+ 195	1 in 180 anni		1 in 85anni

3.2. Danni causati dall'acqua alta

3.2.1. Danni quantificati nel SIA

Il danno causato dall'acqua alta dipende dalla frequenza e dalla intensità (altezza e durata) degli allagamenti. Un aumento nel livello e nella frequenza degli episodi di acqua alta riduce ulteriormente la qualità della vita nei centri storici della laguna, colpisce negativamente le strutture fisiche, come gli edifici e le conterminazioni delle sponde lagunari, ed ostacola lo sviluppo economico e sociale.

La distinzione fatta nel SIA tra danni provocati dall'acqua alta in singoli episodi di alta marea (chiamati danni di breve periodo nel SIA) e i danni cumulativi dovuti ad episodi multipli di alta marea (chiamati danni di lungo periodo) (SIA, Allegato 6, Tema 7; Allegato 3) è accettabile.

I più importanti costi di breve periodo dell'acqua alta sono:

1. il valore economico del tempo perso a causa di interruzioni della mobilità (aumento del tempo di spostamento);
2. le perdite economiche dovute all'interruzione di attività economiche e di servizi;
3. i danni ai beni accumulati in magazzini e negozi.

Se non viene intrapresa nessuna azione, i costi di breve periodo aumenteranno con l'aumento del livello del mare a causa del maggiore livello e frequenza dell'acqua alta.

I costi di lungo periodo fanno riferimento al danno addizionale alle strutture fisiche specificatamente causato dall'acqua alta. La selezione fatta dal SIA dei seguenti quattro fattori fondamentali di danno di lungo periodo è ragionevole. Questi includono i danni:

1. alle conterminazioni delle sponde in alcune aree lagunari;
2. ai marginamenti dei canali e agli edifici a causa dell'acqua bassa successiva ad un allagamento;
3. agli edifici a causa dell'aggressione salina;
4. al sistema dei cuniculi di scarico nel centro storico di Venezia.

Il danno alle conterminazioni delle sponde lagunari dipende dall'altezza delle onde. Nei fondali bassi l'altezza delle onde dipende dalla profondità dell'acqua, che è aumentata come risultato dell'innalzamento relativo del livello del mare. Il maggiore danno corrispondente richiede una manutenzione più frequente.

Il danno ai marginamenti dei canali e agli edifici, causato dall'acqua bassa successiva ad un allagamento, è il risultato della pressione differenziale che avviene quando la marea si ritira più velocemente del livello dell'acqua all'interno dell'edificio.

Il fattore principale nel degrado dei muri è l'aggressione del sale, dovuta alla fluttuazione tra cicli bagnati e asciutti che costituiscono il risultato dalle acque alte. Quando è asciutto, il sale cristallizza e aumenta il suo volume, danneggiando così mattoni e malte; quando è bagnato, i cristalli di sale si dissolvono di nuovo e l'acqua filtra capillarmente verso l'alto. Tre secoli fa gli edifici erano stati progettati per essere protetti da questo tipo di danno. Da allora, il livello della terra su cui Venezia è stata costruita ha ceduto di 50 cm. a causa della subsidenza e dell'eustatismo. Perciò l'assunzione del SIA che tutte le aree edificate che giacciono al di sotto di 140 cm. (al di sopra del livello di riferimento di Punta della Salute) sono a rischio di aggressione salina è accettabile.

I cuniculi di scarico vengono invasi sempre più frequentemente dagli allagamenti, a causa dell'abbassamento del livello della città. Quando i cuniculi di scarico vengono sommersi molto frequentemente si procura un danno e diventa necessario ripararlo.

Altri danni di lungo periodo, meno importanti, quantificati dal SIA sono rappresentati dall'aumento di perdita di sedimenti, dall'impatto maggiore del moto ondoso sugli edifici e dal danno agli insediamenti della terraferma situati vicino alla laguna.

3.2.2. Altri danni non quantificati nel SIA

L'acqua alta produce altri tipi di danni oltre a quelli per i quali il SIA fornisce stime economiche. Sebbene difficili da valutare, questi danni addizionali dovrebbero essere considerati almeno a livello qualitativo. Elementi intangibili di costo contribuiscono a un deterioramento generale dell'ambiente sociale e della qualità della vita; essi verranno sopportati dalle generazioni future, particolarmente in caso di ulteriore aumento del livello relativo del mare.

Le acque alte producono danni inestimabili e irreversibili ai monumenti storici e artistici, agli edifici e alle chiese. Esercitano anche un impatto negativo sullo sviluppo sociale ed economico di Venezia e dei centri urbani lagunari in quanto:

- incoraggiano il trasferimento altrove delle attività produttive;
- scoraggiano nuove attività economiche;
- promuovono lo spostamento della residenza al di fuori del centro storico;
- riducono il valore di mercato degli edifici;
- richiedono riparazioni frequenti agli edifici e alle strutture;
- creano difficoltà ai servizi di emergenza come sanità, polizia e vigili del fuoco e ai trasporti di persone per motivi non di lavoro;
- al di sopra di una certa soglia, colpiscono negativamente il turismo.

3.3. Scenari per l'acqua alta

Negli ultimi 500 anni, Venezia ha registrato un lento ma continuo aumento del livello del mare. In una recente pubblicazione Camuffo (1993) cita una vasta gamma di fonti, quali le relazioni del tecnico idraulico Sabbadino (inizio del 1500), Manfredi (1731), Ganassa (intorno al 1800), che affermavano che il livello del mare stava continuamente aumentando. Camuffo fa riferimento al lavoro di Rusconi (1983) come fonte di informazioni quantitative più oggettive per il periodo 1871-1980. Rusconi fa una distinzione tra subsidenza e eustatismo.

La subsidenza è la somma della subsidenza geologica di lungo periodo, della subsidenza dovuta al peso degli edifici e della subsidenza dovuta all'estrazione di acqua (specialmente rilevante nel periodo tra il 1930 e il 1970). Ci sono varie stime della subsidenza geologica di lungo periodo. Sulla base dell'analisi della letteratura, lo spettro di valori per la subsidenza geologica di lungo periodo della regione può essere ragionevolmente valutato tra i 2 e i 4 cm. per secolo. L'eustatismo è il fenomeno di cambiamento del livello del mare nel lungo periodo in risposta a cambiamenti geologici. La miglior stima per l'eustatismo è di 11 cm. per secolo. L'aumento del livello relativo del mare per l'area è così valutato tra i 13 e i 15 cm. per secolo.

Tuttavia, le misure del CNR degli ultimi 25 anni per Venezia non sembrano confermare questa tendenza di lungo periodo, come illustrato dalla Figura 1, che riproduce i dati usati dal SIA. La figura mostra, sul lato sinistro, il livello del mare a Venezia e Trieste tra il 1900 e il 1993.

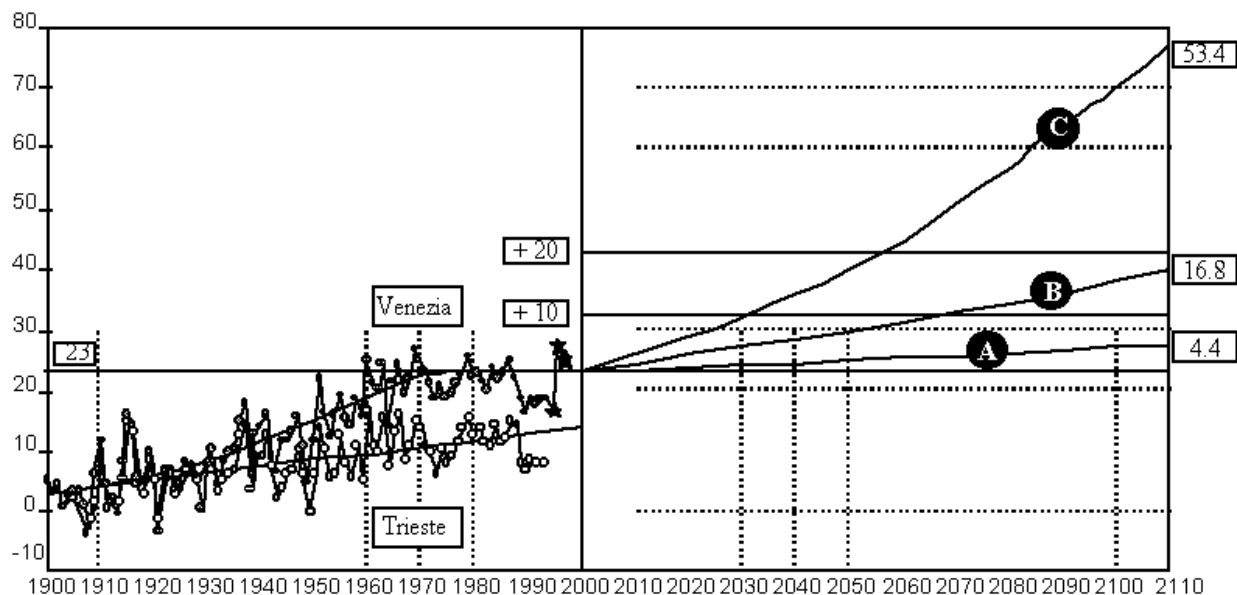


Figura 1. Scenari di aumento del livello del mare e confronto con i livelli misurati nel secolo scorso (riprodotto dal SIA, Sezione C, Vol.1, Figura C3.1.2.1, p. 187 della versione in Inglese). Le stellette nella serie storica di Venezia sono le misure più recenti (da Cecconi, Canestrelli, Corte e Di Donato, 1998).

La differenza tra le misure dell'aumento del livello del mare a Venezia e a Trieste deve essere collegata alla subsidenza di Venezia causata dall'estrazione di acqua dalla falda. Dalla figura si potrebbe concludere che l'aumento del livello del mare a Venezia è cessato dal 1970. Tuttavia, una nota di cautela è importante a questo proposito, perché la rappresentatività di 25 anni di misure rispetto ad una tendenza di lungo periodo è discutibile. Infatti, dal 1960 circa, l'aumento del livello del mare osservato nel nord Adriatico non è significativamente diverso dall'aumento medio del livello del mare Mediterraneo (stimato a 12 ± 1 cm. per 100 anni), che a sua volta non è significativamente diverso dall'aumento globale osservato del livello del mare (Marzocchi e Mulargia, 1996).

Il SIA ha sviluppato tre scenari per il futuro aumento del livello del mare. Lo scenario A (aumento di 4.4 cm. nei prossimi 110 anni) è basato sull'ipotesi che l'eustatismo di lungo periodo si è fermato e che la subsidenza geologica a lungo termine rimane l'unico processo che contribuisce all'aumento del livello del mare. Lo scenario B (16.8 cm. nei prossimi 110 anni) è basato sull'assunto che l'eustatismo e la subsidenza geologica di lungo periodo continueranno come nei secoli passati. Lo scenario C (53.4 cm. nei prossimi 110 anni) incorpora un aumento del livello del mare addizionale come risultato di un cambiamento climatico (indotto dalle attività dell'uomo). La migliore valutazione disponibile dell'aumento del livello del mare come risultato di un cambiamento climatico è presentato dalla Commissione Intergovernativa sui Cambiamenti Climatici (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) nella sua relazione "Climate Change 1995" (IPCC, 1996). La relazione dell'IPCC presenta un certo numero di proiezioni per il prossimo secolo. La gamma di proiezioni, che tiene conto sia degli scenari sulle emissioni atmosferiche, sia delle incertezze dei modelli, è tra i 13 e i 94 cm. per il periodo 1990-2100. Lo scenario C del SIA rappresenta le proiezioni sull'aumento medio del livello del mare dato dall'IPCC, che include la tendenza storica e l'effetto dei cambiamenti

climatici. Si potrebbe sostenere che anche uno scenario con un tasso maggiore di aumento del livello del mare, ad esempio 90 cm., avrebbe potuto essere utilizzato per ragioni di analisi di sensitività.

È importante notare che c'è ancora molta incertezza riguardo alle proiezioni dell'IPCC, specialmente con riferimento agli aspetti regionali. Nel riassunto tecnico dell'IPCC ciò viene così descritto: "I cambiamenti nel futuro livello del mare non avverranno uniformemente su tutto il globo. Gli esperimenti recenti con modelli che accoppiano atmosfera ed oceani suggeriscono che le risposte regionali possono essere significativamente differenti, a causa di differenze nei cambiamenti del riscaldamento e della circolazione. Inoltre, i processi geofisici e geologici causano movimenti terrestri verticali e quindi influenzano i livelli del mare su scala regionale e locale. Infine, gli eventi estremi associati all'aumento del livello del mare – maree, moto ondoso e inondazioni – possono essere influenzati dai cambiamenti climatici regionali, ma sono al momento difficili da prevedere". (IPCC, 1996; pp. 40-41; traduzione dal testo originale in Inglese).

Una nota importante a riguardo delle proiezioni sull'aumento del livello del mare è la loro traiettoria nel tempo. Il clima e il livello del mare non rispondono immediatamente ai cambiamenti nella composizione della atmosfera e ai relativi cambiamenti nell'equilibrio della radiazione solare. Infatti, ci sono inerzie temporali considerevoli, nell'ordine dei 30-50 anni. Quindi, il processo di innalzamento del livello del mare nei prossimi 100 anni si prevede abbia un andamento concavo: un lento inizio ed una accelerazione nel corso del tempo. Questo implica altresì che il clima e il livello del mare continueranno a cambiare per un periodo considerevole anche dopo che le concentrazioni nell'atmosfera si saranno stabilizzate. Per tutte le proiezioni estreme presentate dall'IPCC, l'aumento del livello del mare intorno al 2050 sarà dai 5 a 40 cm., con circa 20 cm. come valore medio delle proiezioni estreme. Questo consente un periodo considerevole di tempo per rispondere sia ai cambiamenti effettivi, sia ai cambiamenti nelle proiezioni come risultato di una migliore comprensione dei cambiamenti climatici.

Come prima menzionato, il *Collegio* ha analizzato gli scenari del SIA e ha condotto una valutazione basata sulla analisi di ulteriore letteratura. La conclusione è che gli scenari del SIA sono una ragionevole scelta per la analisi dell'impatto ambientale del progetto (cfr. Tabella 2 per una sintesi delle conseguenze dell'innalzamento del livello del mare sulla frequenza degli allagamenti).

L'incertezza circa i futuri cambiamenti climatici da un lato, ed i tempi lunghi del processo di innalzamento del livello del mare dall'altro (rispetto alla vita utile del progetto), permettono una pianificazione condizionata su un intervallo di tempo che va dai 40 ai 50 anni, a patto che il progetto abbia una flessibilità sufficiente. Questo aspetto particolare verrà discusso in seguito (cfr. Sezioni 4.2.5 e 4.3.3)

Tabella 2. Numero di volte in un anno con picchi di marea oltre un certo livello ‐ centro storico di Venezia (riprodotto dal SIA, Sezione C, Vol. 1, Tab. C3.1.3.6, p.201 della versione in Inglese).

Picchi di marea (cm.)	Frequenza media annuale attuale	Frequenza media annuale con eustatismo di 10 cm.	Frequenza media annuale con eustatismo di 20 cm.	Frequenza media annuale con eustatismo di 30 cm.
+ 80	39	94	204	356
+ 100	7	16	39	94
+ 120	1	3	7	16
+ 140	1 ogni 6 anni	1 ogni 2 anni	1	3
+ 195	1 ogni 180 anni	1 ogni 74 anni	1 ogni 39 anni	1 ogni 21 anni

Per concludere, è importante stabilire una relazione tra l'aumento relativo del livello del mare e il verificarsi dell'alta marea nella laguna di Venezia. In una recente pubblicazione, Cecconi, Canestrelli, Corte e Di Donato (1998) hanno analizzato tutti i dati sull'acqua alta registrati a Venezia dal 1923 fino al 1996. I loro risultati sono illustrati nella Figura 2.

Alcune delle conclusioni presentate in questo lavoro forniscono dati importanti per la valutazione dell'efficacia delle misure diffuse (cfr. Sezione 7.2.1).

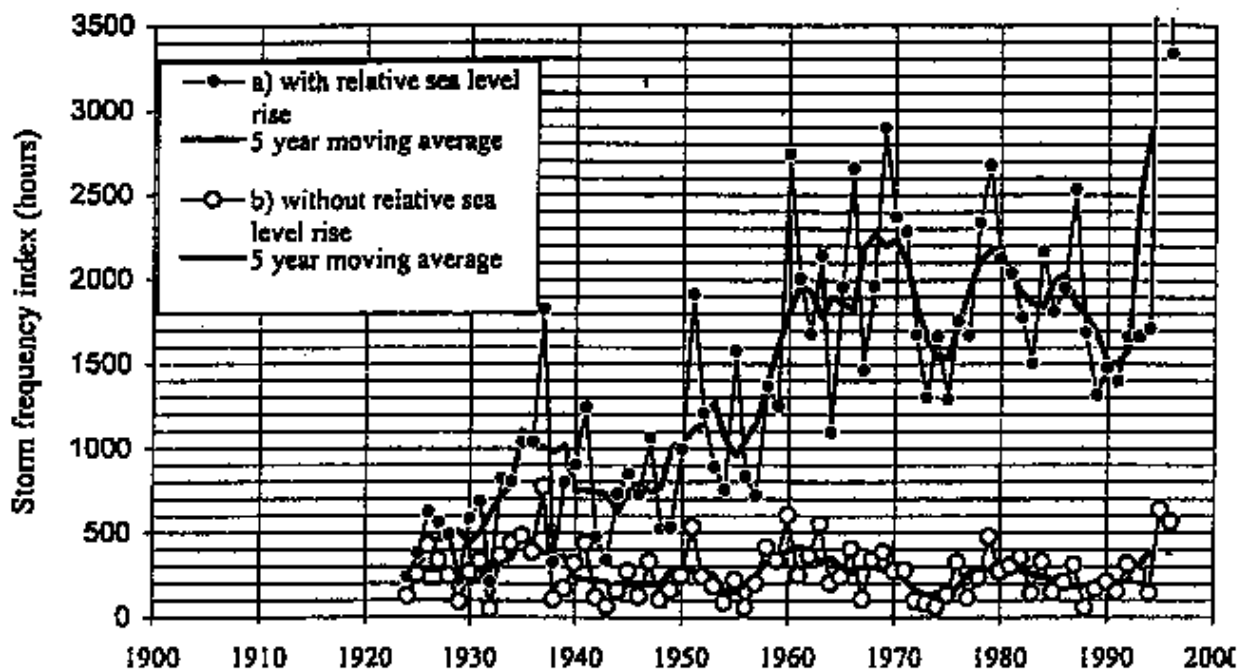


Figura 2. Indice di frequenza degli allagamenti: durata annuale (ore) di piena superiore ai 30 cm. (2 deviazioni standard) dopo la rimozione della marea astronomica: (a) con aumento relativo del livello del mare; (b) senza aumento relativo del livello del mare (riprodotto da Cecconi, Canestrelli, Corte e Di Donato, 1998, Figura 4).

L'analisi illustra chiaramente la relazione diretta tra il livello medio del mare in rapporto al numero di fenomeni di acqua alta (maree di 30 cm. superiori alla marea astronomica). Una volta corrette per i 23 cm. di innalzamento del livello relativo del mare osservato, la frequenza e la intensità dell'acqua alta a Venezia sono rimaste virtualmente inalterate durante l'ultimo secolo. I cambiamenti nella frequenza e intensità degli allagamenti sono principalmente dovuti ai cambiamenti del livello del mare. Le uniche altre cause di incremento della frequenza e/o intensità dell'acqua sono i cambiamenti nelle bocche di porto e nella laguna stessa. Lo studio rivela che il contributo di tutti questi cambiamenti nel periodo tra il 1924 e il 1996, che può essere riassunto in 12 cm. di erosione, ha avuto un effetto totale sulla frequenza e intensità dell'acqua alta equivalente a circa 2 cm. di innalzamento del livello del mare.

3.4. Conclusioni

Anche senza l'innalzamento del livello del mare indotto da cambiamenti climatici, la frequenza degli allagamenti e il livello delle acque alte eccezionali probabilmente aumenterà nei prossimi 50-100 anni. Questo significa che Venezia e la laguna continueranno a sprofondare relativamente al livello del mare e il danno agli edifici storici aumenterà nei prossimi decenni.

La necessità di proteggere Venezia e gli altri centri urbani dopo l'inondazione del 1966 era basata su condizioni che non sono migliorate negli ultimi trenta anni. Al contrario, la necessità si è rafforzata con il rischio dell'innalzamento del livello del mare indotto dai cambiamenti climatici.

Il *Collegio* ha esaminato gli scenari presentati nel SIA e conclude che sono una solida base per una pianificazione nei prossimi 50-100 anni

4. IL PROGETTO DELLE BARRIERE MOBILI

4.1. Descrizione del progetto

Per proteggere Venezia dall'acqua alta il Consorzio Venezia Nuova ha proposto un sistema di difesa che consiste di due parti complementari. La protezione contro l'acqua alta superiore a 100 cm. a Punta della Salute è effettuata da barriere mobili progettate per chiudere le bocche di porto temporaneamente durante una mareggiata. La protezione dall'acqua alta inferiore a 100 cm. è assicurata da uno schema di difese locali chiamato insulae. Le barriere devono soddisfare un certo numero di criteri (SIA, Sezione C, Vol.2):

1. La costruzione deve prevedere una modifica minima della geometria delle bocche di porto in modo che l'idrodinamica della laguna resti inalterata e la navigazione sia possibile senza ostacoli.
0. La struttura deve essere nascosta quando non in uso in modo da non danneggiare il panorama naturale della laguna e delle bocche di porto.

Il progetto finale consiste di quattro barriere che si estendono nelle tre bocche di porto. Una barriera è composta di una batteria di 19-20 elementi (paratoie), ognuno dei quali è costituito da una paratoia metallica vuota all'interno e incardinata sul fondo lungo un asse comune, ma non collegata alle altre. Con mare calmo, tutti gli elementi delle barriere sono riempiti d'acqua e giacciono sul fondale, così da permettere la normale navigazione. Prima dell'arrivo di una mareggiata di una certa entità, gli elementi delle barriere vengono sollevati alla inclinazione di progetto di 45°-50° iniettando aria compressa nelle paratoie. L'inclinazione è scelta in modo tale che tutti gli elementi della barriera possano abbassarsi, volutamente o per caso, verso il lato della laguna. La limitazione della lunghezza di una paratoia a 20 metri facilita la manutenzione periodica o la sua sostituzione, se necessaria.

Una caratteristica particolare delle barriere proposte è la loro mobilità. Durante una mareggiata, le paratoie possono oscillare avanti e indietro rispetto al loro angolo di equilibrio, mantenendo nel frattempo una differenza di livello del mare sino a 2 m.. Molte delle barriere esistenti, come la barriera sul Tamigi nel Regno Unito o sulla Schelda Orientale in Olanda, sono fissate a forti strutture che devono essere supportate da una base solida e massiccia in modo da sopportare l'immensa forza delle onde. Ad esempio, la pressione su un muro verticale dovuta ad onde di 2 metri che incidono normalmente è all'incirca di 20 tonnellate per metro quadrato. Per ogni paratoia nelle bocche di porto di Malamocco (20 m. di lunghezza e 15 di profondità) il totale massimo della forza delle onde può raggiungere le 6.000 tonnellate. L'attuale progetto si basa su un concetto innovativo che permette alle barriere di oscillare avanti e indietro insieme alle onde così che gran parte della forza delle onde viene trasferita dall'acqua su un lato all'acqua sull'altro. Questo riduce significativamente il bisogno di una struttura e di una base di supporto massicce, limitando così costi e tempi di costruzione. In particolare, la dimensione dei cassoni non deve essere molto grande ed il lavoro necessario per la costruzione, includendo gli scavi, è limitato.

4.2. Considerazioni e preoccupazioni a proposito degli aspetti ingegneristici del progetto

Il *Collegio* ha anche analizzato un certo numero di preoccupazioni sulla efficacia dell'attuale progetto.

4.2.1. Risonanza fuori fase

L'attuale progetto è stato ultimato essenzialmente su prove con modelli di laboratorio. Gli esperimenti condotti al laboratorio della Delft Hydraulics fino al 1988 hanno rivelato un fenomeno di risonanza secondo cui le paratoie contigue oscillano in fasi diverse, e pertanto la loro efficacia complessiva come diga può essere compromessa. Successivamente, altri esperimenti sono stati condotti a Delft (fino al 1992) per analizzare come ridurre tale risonanza introducendo dei piccoli cambiamenti alla geometria della barriera (spessore dai 4 ai 5 m., inclinazione dai 45 -50°, ecc.). Tuttavia, le conclusioni sono state tratte solamente sulla base di un numero limitato di prove con onde casuali selezionate tra quelle a larga banda spettrale. Va notato che:

1. La risonanza è più seria per onde incidenti con banda spettrale stretta, e che un progetto affidabile non dovrebbe basarsi sulle condizioni meno pericolose delle onde incidenti a larga banda spettrale, che altro non sono che modelli medi statistici del mare reale. Escludere l'esistenza di onde incidenti con banda spettrale stretta equivale ad ignorare le situazioni più critiche del mare.
2. Negli esperimenti di Delft, molti dei picchi di frequenza delle onde incidenti a larga banda spettrale non si avvicinavano abbastanza ai valori critici che avrebbero creato risonanza nelle barriere.
3. La ampiezza dell'oscillazione in risonanza è limitata dallo smorzamento causato dai vortici negli angoli della struttura e dall'attrito sulle cerniere. L'entità di questi meccanismi di smorzamento nel prototipo non sono facilmente duplicabili da modelli di laboratorio a dimensioni ridotte. Pertanto, la ampiezza delle oscillazioni che può essere osservata nel prototipo potrebbe non essere facilmente estrapolabile da misure in condizioni di laboratorio.

Il progetto attuale può e deve essere migliorato con l'aiuto di teorie recenti, non disponibili ai tempi del progetto. In realtà, si sa che la risonanza sarà sempre presente nell'attuale progetto per alcune lunghezze d'onda, fintantoché elementi contigui delle barriere sono liberi di ruotare l'uno rispetto all'altro. Tuttavia, il fenomeno può essere eliminato completamente per le frequenze delle onde di progetto se due o più paratoie adiacenti sono bloccate o incatenate, in modo da evitare che la risonanza abbia inizio. Il movimento relativo tra gli elementi adiacenti non sarà allora abbastanza ampio da procurare perdite tra le paratoie. Il sistema di bloccaggio non deve essere massiccio, ed il suo design non dovrebbe essere più complicato del sistema di valvole automatico per la compressione di aria negli elementi della barriera. Quindi, anche se

nessun cambiamento radicale al progetto base è necessario, ulteriori studi sperimentali e teorici sull'attuale progetto dovrebbero essere fatti. Essi dovrebbero assicurare che la possibile risonanza non ponga nessun tipo di rischio, oppure dovrebbero considerare delle contromisure, quali un sistema di bloccaggio, per eliminare la risonanza, così che l'efficacia delle barriere mobili non sia compromessa in condizioni critiche estreme.

4.2.2. Inondazione dovuta a crollo improvviso della barriera

Il progetto delle barriere mobili include misure di sicurezza, quali la duplicazione dei sistemi, per garantire che il mancato funzionamento di una paratoia non impedisca il funzionamento delle altre paratoie o della barriera intera (SIA, Sezione C, Quadro di Riferimento Progettuale, Vol. 1). Il SIA stima che la probabilità di crollo di un elemento della barriera è all'incirca di una volta ogni 1000 anni, in assenza di innalzamento del livello del mare, e di una ogni 400 anni se l'innalzamento del livello del mare è pari a 20 cm., a causa della maggiore frequenza delle chiusure.

È stata comunque espressa la preoccupazione che il crollo di una barriera possa provocare un'enorme onda (tsunami) simile a quelle causate da un terremoto, da una frana, dalla rottura di una diga, e che possa condurre a un'inondazione catastrofica di Venezia (SIA, Allegato 6, Addendum). Queste preoccupazioni non sono giustificate a causa delle principali differenze tra una diga e le barriere:

1. Una diga è solida e pesante mentre le barriere sono vuote e leggere.
2. La differenza del livello dell'acqua nei due lati di una diga è tipicamente grande (ca. 100 m.) mentre quella da un lato all'altro della barriera è piccola (2 m.).

Dato che le paratoie sono riempite di aria, un barriera danneggiata affonderà come una nave. Il volume di acqua spiazzato da un'intera barriera ad una bocca di porto è tra le 20.000 e le 30.000 tonnellate. L'affondamento di una nave di simili dimensioni durerebbe alcuni minuti e potrebbe generare un gruppo di onde limitato, non superiori a circa 1 m. di ampiezza nelle vicinanze della barriera. Il gruppo di onde così generato si disperderebbe e distribuirebbe la sua energia in tutte le direzioni, così che l'impatto sarebbe ulteriormente ridotto all'arrivo sulle rive di Venezia. Inoltre, il dislivello di acqua, relativamente piccolo, inferiore ai 2 m. da un lato all'altro della barriera, potrebbe in linea di principio generare una cresta d'onda di ampiezza simile nelle vicinanze della barriera solo se questa venisse spazzata via improvvisamente. Il crollo graduale, della durata di alcuni minuti, creerebbe una cresta molto inferiore che si disperderebbe in tante onde minori. Quindi, non c'è una stretta analogia con il crollo di una diga dove un elevato muro d'acqua deve farsi strada in un fiume con una sezione limitata.

4.2.3. Chiusura dell'ultimo elemento della barriera

Perplessità sono state espresse circa il sollevamento dell'ultimo elemento della barriera: a causa dell'intensificazione del flusso d'acqua, l'ultimo elemento potrebbe non alzarsi (SIA,

Allegato 6, Addendum). Questa preoccupazione è appropriata solo nella chiusura di una diga in un fiume di sezione limitata. La chiusura graduale di una diga aumenta la differenza del livello dell'acqua su entrambi i lati della diga stessa, e quindi intensifica il flusso attraverso l'apertura. Per le barriere di Venezia, la differenza del livello dell'acqua non supera il valore massimo progettuale di 2 m., così che innalzare l'ultimo elemento della barriera non è molto diverso dall'innalzare il primo.

4.2.4. Perdite tra le paratoie

Quando completamente sollevate, le paratoie adiacenti della barriera sono separate da un traferro di larghezza di 10-15 cm.. Nel SIA si è stimato che la dispersione attraverso i traferri durante una chiusura aumenterebbe il livello dell'acqua nella laguna di 1 (o 3) cm. se la chiusura dura 3 ore (11 ore) (SIA, Allegato 6, Tema 5). Questa stima si applica se tutte le paratoie oscillano in fase ed il fenomeno della risonanza citato nella Sezione 4.2.1 non si verifica. Quando gli elementi delle barriere oscillano in fasi diverse, l'ulteriore apertura aumenta rapidamente con l'ampiezza della rotazione relativa. La Tabella 3 fornisce una stima dell'ordine di grandezza della superficie dell'apertura addizionale per ciascun traferro, e dell'innalzamento del livello dell'acqua nella laguna. Le stime approssimative si basano sulle seguenti ipotesi, raffinandosi e semplificabili: gli elementi della barriera sono tutti di uno spessore di 4 m. ed inclinati ad un angolo di 45 °. La profondità è fissata a 11 m., che è la media di quella della quattro barriere proposte. La metà dell'apertura massima è presa come indicativa dell'apertura addizionale media durante le oscillazioni.

Tabella 3. Stima dell'area di apertura addizionale e dell'innalzamento del livello della laguna nel peggiore caso di 2 m. di differenza tra il mare e la laguna.

Metà dell'angolo di rotazione, gradi	Apertura per traferri senza risonanza, m ²	Apertura dovuta a risonanza, m ²	Apertura totale, m ²	Innalz.to del livello della laguna per 11 ore di chiusura, cm.
0	1.1	0	1.1	3
10 (possibile)	1.1	0.75	1.85	5
15 (impossibile)	1.1	7.31	8.41	23

Data l'incertezza delle stime nella Tabella 3, si raccomanda di prendere in considerazione l'aggiunta di un sistema di bloccaggio degli elementi delle barriere, così da eliminare la risonanza e quindi le perdite non necessarie.

4.2.5. Funzionamento delle barriere con elevati livelli del mare

Il progetto delle barriere mobili è flessibile per la protezione dall'acqua alta, anche nel caso in cui il livello futuro del mare superi il livello sul quale l'attuale progetto è basato.

Attualmente, le barriere sono inclinate di un angolo di 45 °-50° per assicurare che esse siano sempre rivolte verso la laguna. In tale caso l'altezza delle barriere è del 40% maggiore dell'altezza massima del mare da trattenere. Quindi, un forte innalzamento del livello del mare può essere facilmente compensato aumentando di poco l'inclinazione, mediante espulsione dell'acqua all'interno delle barriere con aria compressa, oppure collegando un sistema galleggiante ad ogni elemento della barriera. Il *Collegio* raccomanda che il progetto finale sia messo in grado di funzionare in condizioni di innalzamento del livello del mare di 100 cm. (cfr. Sezione 3.3).

4.3. Adeguatezza del progetto delle barriere mobili per la protezione dall'acqua alta e preoccupazioni circa la gestione delle barriere mobili

4.3.1. Sovralzi in laguna durante la chiusura

Il SIA ha presentato una descrizione dettagliata di come stimare i cambiamenti del livello dell'acqua nella laguna in caso di chiusura delle barriere (SIA, Allegato 6, Tema 5). Le cause di questi cambiamenti sono: pioggia che cade direttamente sulla laguna, dilavamento dalla superficie del bacino scolante, vento, afflusso entrante in laguna durante le operazioni di chiusura delle barriere e perdite tra le paratoie (cfr. Sezione 4.2.4.). L'effetto combinato è stato valutato statisticamente considerando la probabilità di occorrenza di ogni fattore. Ciò tiene conto della durata della marea (che determina la durata della chiusura delle barriere), degli scenari di innalzamento del livello del mare, del livello dell'acqua nella laguna precedentemente al fenomeno dell'acqua alta e del tasso di crescita della marea (gradiente di marea). Una sintesi dei contributi nella laguna è fornita in Tabella 4.

Tabella 4. Contributo delle precipitazioni, del bacino scolante, dell'afflusso durante l'innalzamento delle barriere e del vento all'aumento del livello dell'acqua nella laguna durante la chiusura delle barriere mobili (in cm.; riprodotto ed adattato dal SIA, Allegato 6, Riassunto, pp. 24,25 della versione in Inglese). La perdita tra le paratoie durante la chiusura delle barriere è mostrata nella Tabella 3.

	Eventi frequenti (276 fen.mi durante 1955-1993)		Eventi estremi (periodo di ritorno di 100 anni)		Eventi estremi (periodo di ritorno di 200 anni)	
	Media	Max	Scirocco	Bora	Scirocco	Bora
Precipitazioni direttamente in laguna	0.7	3	12	10	13	12
Flusso dal bacino scolante	1.2	3	11	5	13	6
Afflusso durante il sollevamento delle barriere	4	6	5	5	4	5
Vento	-	2	2 ^{Venezia}	21 ^{Chioggia}	2 ^{Venezia}	22 ^{Chioggia}
TOTALE	5.9	14 *	30 ^{Venezia}	41 ^{Chioggia}	32 ^{Venezia}	45 ^{Chioggia}

* Valore non superato nel 99% dei casi.

Precipitazioni dirette sulla laguna. I dati per le precipitazioni dirette sulla laguna sono basati su registrazioni orarie limitate, e su registrazioni più complete di precipitazioni giornaliere prese da varie centraline. Il contributo all'innalzamento del livello dell'acqua nella laguna dipende sia dalla frequenza dei fenomeni estremi (periodo di ritorno), sia dalla durata dell'acqua alta. Si stima un innalzamento non superiore ai 13 cm., che è considerato accettabile.

Flusso dal bacino scolante. Il dilavamento dalla superficie del bacino scolante, che si estende per circa 1800 km², verso la laguna è stato analizzato da modelli matematici dettagliati, e sembra essere suddiviso equamente tra il flusso naturale dovuto alla gravità ed i flussi diretti meccanicamente dai canali di scarico o dalle stazioni di pompaggio. Per eventi estremi, che possono verificarsi una volta ogni 200 anni e che possono protrarsi fino a 24 ore, il livello della laguna può aumentare di altri 13 cm., una stima ragionevole (escludendo il contributo dello straripamento dei fiumi limitrofi, che può essere prevenuto rafforzandone gli argini).

Afflusso durante il sollevamento delle barriere mobili. Dato che il sollevamento delle barriere mobili richiede 30 minuti, l'acqua affluisce nella laguna mentre la marea sta crescendo. Il proponente del progetto, per calcolare l'afflusso in laguna durante la progressiva riduzione della sezione delle bocche di porto, ha tenuto in considerazione la sequenza delle operazioni di chiusura, il flusso all'inizio della chiusura ed il tasso di crescita della marea, e le conseguenze sul livello della laguna alla fine delle operazioni di chiusura. Il contributo è inferiore alla metà di quello prodotto dalle precipitazioni durante eventi estremi, il che è una stima accettabile.

Vento. Il vento sulla laguna induce una variazione del livello dell'acqua e della circolazione, stimati mediante l'uso di dati meteorologici sulla velocità del vento, direzione, durata e modelli numerici affidabili. La Bora causa un'elevazione al sud e una depressione al nord, quindi colpisce soprattutto Chioggia. D'altro canto, lo Scirocco causa un'elevazione vicino a Venezia. A Punta della Salute, in particolare, l'effetto della Bora sembra essere minore. Le stime nella Tabella 4 sono ragionevoli, ma gli effetti del vento in altre zone della laguna chiusa dovrebbero essere ulteriormente investigati.

Per gli eventi più frequenti, il contributo delle precipitazioni, del flusso dal bacino scolante, del vento, del deflusso durante l'elevazione delle barriere e delle perdite tra le paratoie (vedere Tabella 3) è basso, ed entro i margini di sicurezza per il funzionamento delle barriere. In caso di fenomeni estremi, il loro contributo può essere sostanziale. Per prevenire l'aumento del livello dell'acqua all'interno della laguna al di sopra di 100cm., e quindi l'allagamento di aree urbane anche quando le barriere mobili sono chiuse, è importante che tutti questi fattori vengano incorporati nel sistema di informazioni su cui si basa la gestione delle barriere mobili (vedere Sezione 4.3.2).

Inoltre, i contributi aggiuntivi dal bacino scolante che possono occasionalmente verificarsi quando i fiumi Sile, Piave e Brenta straripano, dovrebbero essere prevenuti rafforzandone gli argini. Questi interventi dovrebbero essere considerati come parte strutturale del progetto delle barriere mobili.

4.3.2. Preoccupazioni sulla gestione delle barriere mobili

Con le barriere in funzione, la protezione di Venezia contro l'acqua alta dipende fortemente dall'affidabilità dei sistemi di informazione, quali la previsione della marea ed i relativi schemi d'intervento. Negli ultimi anni, l'affidabilità delle previsioni delle acque alte del Centro Previsione Maree di Venezia è stata di ottima qualità. L'errore di previsione per pre-allarme di 3 ore è di +/- 9,8 cm.; per 6 ore è di +/- 13,2 cm.; e per 12 ore di +/-13,6 cm. (intervallo di confidenza del 95% su 29 anni di osservazioni). Come riportato dal Centro Previsione Maree, negli ultimi 30 anni l'allarme per indicare un livello d'acqua superiore a 100 cm. è stato dato mediamente 8 volte l'anno. Di queste 8 volte, una, in media, è stata un falso allarme, per un livello di acqua che non superava i 100 cm..

La qualità della previsione dell'acqua alta può ancora essere migliorata man mano che migliorano i modelli e i sistemi di raccolta dati. Sebbene i venti nel nord dell'Adriatico seguano schemi complessi, la situazione di Venezia non è unica. La gestione delle barriere contro le piene nel Mare del Nord dipendono da sistemi di informazione analoghi. Investimenti in appropriate installazioni di monitoraggio su piattaforme marine potrebbero rendersi necessari.

Si può concludere che con una maggiore conoscenza dell'interazione atmosfera-oceani sia possibile sviluppare sistemi di previsione dell'acqua alta adeguati. Il fattore critico di fallimento, in situazioni simili, rimane il fattore umano. Un vantaggio delle barriere di Venezia è che il sistema ed i suoi operatori sono messi alla prova con una frequenza relativamente elevata, che dovrebbe essere di circa 12 volte l'anno (con l'attuale livello del mare). Ciò permetterà di assicurare un controllo di qualità della gestione nel lungo periodo. Cionondimeno, è importante che il progetto rivolga sufficiente attenzione all'accuratezza delle previsioni e all'affidabilità dell'interfaccia uomo-informazioni-macchina.

Se il progetto dovesse essere attuato, si raccomanda fortemente che il progetto finale, la sua costruzione e la gestione del sistema delle barriere mobili siano responsabilità di un unico contraente. Questo diminuirebbe la probabilità di malfunzionamenti del sistema, l'inefficienza economica del progetto, della manutenzione e della gestione. Inoltre, si dovrebbe prestare attenzione allo sviluppo di una struttura istituzionale che stabilisca i criteri di funzionamento delle barriere mobili e che assicuri una gestione flessibile di lungo termine del sistema nel suo complesso, man mano che l'esperienza aumenta e nuova informazione si rende disponibile.

4.3.3. Flessibilità della gestione rispetto all'innalzamento del livello del mare

In uno scenario con un rapido aumento del livello del mare, le barriere dovranno essere chiuse più spesso per garantire lo stesso livello di protezione di Venezia. Questa situazione può diventare manifesta nel corso dei prossimi 20-50 anni. In tal caso ci sono delle scelte da fare.

Le autorità possono scegliere di chiudere le barriere più spesso. Nella situazione di massima rapidità dell'aumento del livello del mare, lo scenario C, con una crescita del livello medio del mare di circa 20 cm., previsto per l'anno 2050, il numero di chiusure salirebbe da 12 nell'attuale situazione a 70 in dette condizioni (SIA, Riassunto, Tabella 4.2.1, p.96 della

versione in Inglese). Questo può creare problemi alle operazioni portuali (cfr. Sezione 6.1.5). Per il sistema lagunare, una situazione di 70 chiusure l'anno avrà probabilmente degli effetti sul sistema ecologico (cfr. Sezione 5.4).

Una soluzione alternativa potrebbe essere l'innalzamento del livello di protezione delle aree più vulnerabili sino ad un livello di 120 cm., qualora realizzabile. In tal caso il numero di chiusure potrebbe essere mantenuto a un livello di 12 l'anno.

- La scelta che deve essere fatta dipende dalla situazione in quel periodo. Parametri importanti saranno:
- La conoscenza circa il funzionamento dell'ambiente lagunare dopo 30-50 anni di esperienza con le barriere mobili;
- La navigazione e gli aspetti economici del porto, e infine;
- L'informazione di lungo termine e le aspettative riguardo i cambiamenti climatici e quelli del livello del mare, ed il valore di Venezia e del sistema lagunare nel contesto di uno sviluppo economico e sociale complessivo della regione e della nazione.

In uno scenario con un rapido e continuo innalzamento del livello del mare, fino a 50 cm. o superiore, il sistema delle barriere mobili potrà ancora svolgere un ruolo di rilievo. Come già indicato (cfr. Sezione 4.2.5) le barriere mobili possono ancora funzionare correttamente in una situazione di acqua molto alta. In tali condizioni di aumento del mare, ci si attende che la società e le autorità coinvolte tendano ancora a proteggere Venezia e le aree urbane adiacenti. È probabile che esse tenteranno di proteggere anche la laguna, anche se ciò richiederà schemi di protezione costiera lungo la costa del Lido, Pellestrina e Malamocco. Per proteggere l'ecosistema della laguna si dovrebbero sviluppare dei sistemi che permettano uno scambio continuo della marea con il mare. In tali condizioni l'ecosistema della laguna cambierebbe. Comunque, le barriere mobili avranno un ruolo di rilievo nell'assicurare uno scambio di acqua tra la laguna e il mare, mentre proteggono Venezia e le aree lagunari dall'alta marea. Infatti, il sistema delle barriere mobili può aiutare a gestire le trasformazioni che si verificheranno nei prossimi decenni come conseguenza dell'aumento del livello del mare.

4.4. Conclusioni

Il *Collegio* conclude che il sistema delle barriere mobili è flessibile e robusto e sarà efficace per proteggere Venezia dall'acqua alta per un ampio spettro di scenari di aumento del livello del mare. Comunque, il progetto richiede alcuni miglioramenti, specialmente per evitare la risonanza e le inutili perdite tra gli elementi della barriera.

Per minimizzare il numero di falsi allarmi, e al tempo stesso assicurare una protezione contro l'acqua alta, sarà necessario un sistema di informazione affidabile che produca previsioni accurate sul livello e durata delle maree. L'esperienza con sistemi simili in Europa dimostra che questo è fattibile. Nel caso di Venezia, questo potrebbe richiedere investimenti specifici addizionali

5. EFFETTI E COMPATIBILITÀ AMBIENTALE DEL PROGETTO DELLE BARRIERE MOBILI IN DIVERSI SCENARI

5.1. Quadro di riferimento per l'analisi ambientale

Come affermato nel Quadro di Riferimento Progettuale del SIA (Sezione A), l'area soggetta alla valutazione di impatto ambientale consiste nel bacino scolante della laguna, nella laguna stessa, nel sistema delle bocche di porto, nelle isole costiere ed interne e nell'aria marina costiera di fronte alle bocche di porto. Essa copre i siti dove la prefabbricazione di alcuni elementi delle porte mobili avrà luogo, ma non i siti dai quali verranno estratti i materiali di costruzione. Rispetto a quest'ultimo punto, il proponente ha chiarito che non erano ancora stati selezionati, ma che saranno con tutta probabilità delle cave attive in Italia e all'estero.

Esistono numerose pubblicazioni sulla laguna e la sua ecologia, ma non è mai stato portato a termine nessun progetto di ricerca esauriente e sistematico che riguardi tutta l'area per un periodo di tempo sufficientemente lungo. Nella letteratura scientifica disponibile, alcuni temi sono trattati a fondo, come le comunità di macroalghe, mentre altri sono stati affrontati a malapena, come l'ecologia microbica o l'inquinamento organico, ecc.. Questo stato di cose si riflette in qualche modo nel SIA, Sezione D, che si basa su pubblicazioni scientifiche, su relazioni di varia origine, e su studi effettuati dal Consorzio Venezia Nuova e dai suoi subcontraenti. Ne consegue che alcuni temi, di importanza relativamente minore, sono stati trattati in maniera più esauriente di altri, di maggiore rilievo, per quel che riguarda gli impatti possibili del progetto.

Nonostante ciò, il *Collegio* considera che le informazioni contenute nel SIA, con l'aggiunta di pubblicazioni più recenti, permettano una valutazione valida dei probabili impatti ambientali del progetto e delle sue alternative.

Come già trattato nell'introduzione, la laguna di Venezia è un ecosistema complesso, dinamico ed aperto, fatto di fondali bassi, velme, barene, canali bassi e profondi, ecc.. Situata tra terra e mare, la laguna riceve materiali, acqua, sedimenti, sostanze chimiche disciolte, inquinanti e nutrienti dal bacino scolante. Questi sono scambiati, così come il biota, con il Mare Adriatico. La laguna riceve sostanze anche dall'atmosfera, che può essere la sorgente più importante di diversi elementi e composti, come il Piombo. Le sue basse profondità accelerano i cicli biogeochimici tra acqua, sedimenti, biota e atmosfera. La sua produttività biologica, di gran lunga superiore a quella del mare adiacente, è aumentata da nutrienti provenienti dal bacino scolante e dalle isole (provocando eutrofizzazione) ed è inoltre influenzata da microinquinanti organici ed inorganici, specialmente nelle vicinanze degli scarichi industriali. Per molti anni, popolazioni di macroalghe (*Ulva*) hanno proliferato ed hanno costituito un serio problema, specialmente nella parte centrale della laguna. La loro biomassa in decomposizione ha causato anossia, produzione di solfuro e morte del benthos. Negli ultimi anni, comunque, queste sono regredite notevolmente. Sembra che questo sia dovuto a condizioni meteorologiche sfavorevoli, e che si protragga a causa della combinazione di altri fattori (Sfriso e Marcomini, 1996). Comunque, ancora nel 1996 produzione di solfuro si

verificava in alcune parti della laguna, e la produzione primaria era attribuibile principalmente al nano e pico-plancton (Sorokin, 1998). Una specie bivalve introdotta recentemente, *Tapes philippinarum*, ha massicciamente invaso la laguna meridionale e centrale. La sua pesca con draghe idrauliche ha un impatto sul fondo della laguna.

La prima parte (Vol. 1) della Sezione D del SIA (Quadro di Riferimento Ambientale) include una descrizione delle varie componenti ambientali, come richiesto dalla legge (atmosfera, acqua, suolo, flora e vegetazione, ecosistemi, paesaggio e salute pubblica). Inoltre, questa parte contiene la probabile evoluzione di queste componenti in assenza del progetto, come anche con l'attuazione delle misure diffuse. Le descrizioni sono generalmente adeguate ma dettagliate in modo irregolare, come affermato prima.

Data l'importanza dell'eutrofizzazione e dell'inquinamento nella laguna, e il loro significato nella valutazione dell'impatto del progetto delle barriere mobili, molta attenzione viene data alle immissioni dal bacino scolante e dalle isole abitate. Le stime più recenti (1998, vedere Tabella 5) degli scarichi annuali nella laguna sono di 6650 tonnellate di azoto e 683 tonnellate di fosforo, per il 1998, il 70-75% dei quali vanno nel bacino del Lido. Il contributo dal centro storico di Venezia è di 500 tonnellate di azoto, mentre l'immissione attraverso l'atmosfera si stima a 740 tonnellate di azoto e 66 tonnellate di fosforo. Misure già prese, o da prendere, sotto l'autorità della Regione Veneto, nel bacino scolante (trattamento delle acque di scarico, pratiche industriali e agricole), dovrebbero ridurre i carichi a 4500 tonnellate di azoto e 420 tonnellate di fosforo per il 2003. È inutile dire che tutte queste stime sono affette da errori significativi (valutati al 15% per l' azoto e 50% per il fosforo). Il carico organico si stima a 11800 tonnellate di BOD, il 44% del quale è prodotto direttamente nel perimetro della laguna. Dati simili per altri contaminanti (metalli, pesticidi) non sembrano essere disponibili.

È essenziale che il piano per ridurre l'immissione di inquinanti e nutrienti dal bacino scolante alla laguna sia attuato come programmato.

Tabella 5. Carichi di nutrienti che raggiungono la laguna (Consiglio Regionale Veneto, 1998; e Regione Veneto, 1998), non includendo le immissioni atmosferiche di 740 tonnellate di azoto e 66 tonnellate di fosforo.

	Azoto 1994 (ton/anno)	Azoto 1998 (ton/anno)	Azoto 2003 (ton/anno)	Fosforo 1998 (ton/anno)	Fosforo 200 (ton/anno)
urbano	3000	2300	1350	359	246
urbano (diffuso)	700	450	300	110	87
industriale	850	850	850	79	80
allevamento	2300	2300	1600	469	319
agricoltura	2700	3400	3300	102	98
carico totale	9550	9300	7150	1119	830
auto depurazione	-2700	-2650	-2100	-	-
diversi/rimedi	-	-	-550	-	-
carico totale in laguna	6850	6650	4500	683	420

5.2. Metodologia

La metodologia usata nel SIA consiste nell'identificare le pressioni e gli impatti del progetto per ogni componente ambientale (atmosfera, acqua, biota, ecc.), mediante degli indicatori. L'entità degli effetti diretti ed indiretti su tali indicatori, positivi o negativi, è, quando possibile, quantificata.

Gli indicatori selezionati per l'atmosfera, l'ambiente acquatico, la qualità dell'acqua, i sedimenti, il suolo, la geomorfologia della laguna, la vegetazione, la flora, la fauna, gli ecosistemi, la salute pubblica ed il paesaggio sono considerati accettabili, ma sono stati generalmente selezionati in funzione della reperibilità dei dati. Alcuni possono essere riconsiderati data la recente evoluzione della laguna (ad esempio, la forte regressione delle popolazioni di *Ulva*), mentre dei nuovi indicatori potrebbero venire introdotti. Rispetto al biota, il plancton ed i pesci non sono stati presi in considerazione, presumibilmente a causa dell'alta variabilità delle loro popolazioni dovuta agli scambi col mare. L'esclusione di biomarkers sembra giustificata visto che i dati disponibili sono limitati a poche pubblicazioni che non forniscono un valore di riferimento complessivo. Gli indicatori dovrebbero permettere la valutazione dell'ecosistema come un insieme, piuttosto che i cambiamenti in ogni specie considerata.

L'importanza dell'impatto del progetto su ogni indicatore è stata misurata o, se questo si è rivelato impossibile, valutata da esperti, l'impatto essendo una funzione dell'importanza e/o sensibilità dell'indicatore e dell'entità della modificazione prevista. Ogni impatto è espresso con scale qualitative costruite (zero; basso, medio, positivo alto; basso, da basso a medio, medio, da medio a alto, negativo alto), anche quando potrebbe essere quantificato fin dall'inizio. Questa procedura permette l'aggregazione delle valutazioni d'impatto su diversi indicatori. Può essere criticata perché può tradursi nella somma di impatti di diversa natura, e potrebbe oscurare alcuni importanti effetti individuali. Inoltre, la procedura di aggregazione non è esplicita e, quando vengono usati dei fattori di ponderazione, essi non sono dichiarati. Si noti, comunque, che in molti casi il valore aggregato dato nella relazione è il più negativo, quindi determinando una stima della conseguenza peggiore. Il *Collegio* ha giudicato preferibile esaminare ogni impatto individualmente.

Il SIA tiene conto di misure di mitigazione ove applicabili, e valuta gli impatti residui risultanti. Ciò è considerato giustificato.

5.3. Effetti delle barriere mobili sulla idrodinamica e sulla morfologia della laguna

Le stime morfologiche comprendono il flusso d'acqua e il trasporto di sedimenti su un fondale complesso. Nel SIA sono state fatte in base a modelli matematici per le tre fasi del progetto delle barriere mobili: (i) la fase della costruzione; (ii) la fase di esercizio con l'attuale livello del mare; (iii) la fase di esercizio per i prossimi 100 anni con un possibile innalzamento

del livello medio del mare (SIA, Quadro di Riferimento Ambientale, Sezione D, Sintesi; Allegato no. 4, Volume 3: Modelli Morfologici).

5.3.1. Fase di costruzione

La riduzione della sezione delle bocche di porto del 12% avrà un leggero effetto sugli scambi di acqua attraverso le bocche stesse. Il SIA ritiene che ci sarà un leggero aumento della concentrazione di sedimenti sospesi (circa 1mg/l) dovuto al dragaggio. Questo aumento è minimo se paragonato alla concentrazione dovuta alla torbidità in condizioni naturali (10-35 mg/l) causate dall'alta velocità dell'acqua.

5.3.2. Fase di esercizio con il livello attuale e con livello crescente del mare

Quando la costruzione sarà completata, le sezioni delle bocche di porto saranno ridotte del 12% rispetto alle attuali dimensioni. Studi con modelli matematici svolti all'Istituto Idraulico Danese (Danish Hydraulic Institute) indicano che quando le barriere sono in posizione di riposo sul fondale, la riduzione dello scambio di acqua è tra l'1% e il 5% in base al tipo di marea. In caso di chiusura, sulla base di 156 ore/anno di chiusura (livello della marea + 80 cm. rispetto a Punta della Salute), oppure 42 ore/anno di chiusura (livello di marea + 100 cm.) la riduzione dello scambio di acqua è inferiore al 5%, il che è trascurabile. Le chiusure possono ridurre la perdita di sedimenti dalla laguna. Inoltre, dato che le onde sono le principali responsabili della sospensione di sedimenti dai fondali, la chiusura delle bocche di porto durante una mareggiata ha l'effetto benefico di ridurre l'intensità delle onde indotte dal vento, e quindi la risospensione dei sedimenti.

In caso di un innalzamento del livello del mare di 20 cm., il ricambio di acqua senza le barriere aumenterà di 10 milioni di m³ per marea (5% al di sopra dell'attuale livello). Le barriere a riposo limiteranno l'aumento al 3%, e quando in funzione per prevenire alte maree superiori ai 100 cm., la riduzione sarà tra il 5 e il 15%, molto probabilmente meno del 10%. Il SIA considera questo effetto come positivo per quanto riguarda la riduzione della perdita di sedimenti, e negativo per la possibilità di anossia.

Gli effetti locali esistenti, come i mulinelli e i vortici attorno ai moli foranei (Blondeaux, De Bernardinis e Seminara, 1982, 1986) possono essere influenzati dalle barriere mobili, e meritano ulteriori studi. Sia nella fase di costruzione che in quella di esercizio, quando le barriere sono a riposo, la riduzione delle sezioni della bocca di porto porta ad una velocità dell'acqua leggermente superiore, e forse ad aggiustamenti nella circolazione locale nelle vicinanze della bocca di porto dal lato della laguna, e vicino all'estremità dei moli foranei al di fuori della laguna, analogamente ai vortici indotti dalle onde vicino ai promontori. Stime quantitative di queste circolazioni e delle loro conseguenze sull'erosione e sul deposito di sedimenti non sono attualmente facili da fare a causa della natura altamente tridimensionale del fenomeno; si raccomandano ulteriori studi con lo scopo di migliorare le operazioni di manutenzione. Comunque, gli effetti sono molto probabilmente locali. Il *Collegio* ritiene che

questi effetti possono essere affrontati mediante un'adeguata progettazione dei moli foranei e mediante protezioni locali.

Dubbi sono stati sollevati a proposito del fatto che la chiusura della bocca di porto possa causare erosione lungo le coste esterne dell'isola del Lido. Ciò è improbabile dato che la bocca di porto del Lido è separata dalla costa esterna dai moli foranei che controllano il trasporto del sedimento sulla linea costiera esterna dell'isola del Lido. Le barriere mobili non avranno un effetto aggiuntivo significativo sulle attuali dinamiche costiere.

Anche se il progetto delle barriere mobili non avrà probabilmente un impatto negativo significativo sull'ambiente morfologico lagunare, un miglioramento della qualità dell'acqua rispetto all'attuale situazione è certamente importante per la sostenibilità dell'area. Ulteriori ricerche sono raccomandate, specialmente nei confronti di alcuni aspetti unici di Venezia, quali la bassa profondità della laguna e l'elevato traffico nautico. È anche importante monitorare la risospensione dei sedimenti da parte delle onde ed il trasporto da parte delle maree, che sono meccanismi cruciali per il diffondersi dei contaminanti nell'acqua.

Poiché la durata media di ogni chiusura è di circa 4,5 ore, che è solo una frazione del ciclo della marea, gli effetti di ogni chiusura possono essere solo temporanei. Nessun effetto significativo, o di lungo periodo, è atteso sulla circolazione mediata su un ciclo intero di marea, come dimostrato dagli estesi modelli numerici nel SIA. Un effetto positivo potrebbe essere prodotto dalla chiusura ed apertura differenziata delle barriere durante fasi appropriate della marea. Nel SIA viene suggerito che ciò può ridurre il rischio di danni ecologici. Ulteriori studi numerici di tali manipolazioni sono necessari per valutare effetti secondari, ad esempio sulla morfologia del fondale.

5.4. Effetti ecologici e paesaggistici del progetto delle barriere mobili

5.4.1. Fase di costruzione

La costruzione delle barriere mobili e le installazioni relative (strutture a terra, porti-rifugio, ecc.) richiedono l'occupazione di aree di terra di varie dimensioni vicino alle tre bocche di porto (0,5 ha. vicino alla bocca di porto del Lido, 0,7 ha. vicino a quella di Malamocco, e 3 ha vicino a quella di Chioggia). La vegetazione esistente sarà distrutta e le popolazioni animali scompariranno o si sposteranno.

In un caso (CàRoman), 3 ha. o il 10% dell'estensione di un'area protetta verrà colpita. La vegetazione qui consiste di comunità di psammofile dominate dalle erbe *Ammophila* che sono habitat, tra l'altro, di due specie di uccelli (Fratino e Fraticello). Un numero limitato di coppie da riproduzione vivono nell'area da evacuare. La laguna di Venezia è dimora del 7-10% della popolazione italiana del Fratino. Misure di mitigazione (riduzione del rumore) sono programmate durante la stagione della riproduzione. Anche se questo impatto è chiaramente negativo, la sua importanza è geograficamente limitata. Va notato che l'intera area di Cà

Roman è stata sottratta dal mare come conseguenza dell'estensione del molo foraneo settentrionale alla bocca di porto di Chioggia, ed è stata colonizzata da piante, molte delle quali non indigene. È una conseguenza indiretta dell'intervento umano. Questo non è il caso di Alberoni o del Lido, che non sono aree protette.

Un altro effetto della costruzione sarà la rimozione o il seppellimento delle comunità bentoniche nelle aree delle bocche di porto a causa del dragaggio e della sostituzione dei fondali sabbiosi con materiali ruvidi. Le aree colpite, tranne quelle occupate dai sistemi delle barriere, saranno probabilmente ricolonizzate rapidamente da organismi bentonici. Non esistono praterie di zostere nelle aree delle bocche di porto.

Per quanto riguarda gli effetti sul paesaggio, ci sarà un minimo di attività di fabbricazione in loco, molti dei componenti essendo prefabbricati a Marghera e Chioggia, ma ci sarà molto traffico di terra e di mare nelle aree delle bocche di porto per tutta la durata della costruzione.

Gli effetti sull'inquinamento dell'aria e sulla salute pubblica saranno trascurabili.

5.4.2. Fase di esercizio con il livello attuale e con livello crescente del mare

L'impatto ecologico principale del progetto, quando in funzione, sarà probabilmente l'effetto di chiusure ripetute sulla qualità dell'acqua nella laguna, soprattutto per il contenuto di ossigeno disciolto, ma anche per i contaminanti, in particolare nel caso di forti precipitazioni nel bacino scolante. L'impatto sarà una funzione della frequenza, della durata e della distribuzione stagionale delle chiusure. Con il livello di mare attuale, le chiusure, per maree superiori ai 100 cm. di livello, saranno mediamente di 12 volte all'anno per un totale di 42 ore, mentre per l'anno più critico ci saranno circa 38 chiusure per un totale di 156 ore. Tutte queste chiusure avverranno tra novembre ed aprile quando le attività biologiche sono scarse.

È improbabile che, in tali condizioni, le chiusure abbassino i livelli di ossigeno al di sotto del valore critico di 2 mg/litro. Le simulazioni di modelli ecologici lo confermano per chiusure fino a 8 ore di seguito, anche in aree di circolazione lenta (barene e velme vicine al margine lagunare).

In caso di aumento del livello del mare (scenari B e C) le chiusure saranno più frequenti e alcune di esse avverranno durante la stagione di crescita (da primavera all'inizio dell'autunno). I calcoli ottenuti dai modelli indicano che i livelli di anossia potranno essere raggiunti nei fondali bassi della parte centrale della laguna, come pure vicino ai margini, nel caso in cui la biomassa sia intorno ai 5 Kg/m². Tali alte densità di biomassa corrispondono solo a popolazioni di macro alghe (*Ulva*). Queste popolazioni sono diminuite nettamente all'inizio degli anni novanta. Sfriso e Marcomini (1996) hanno asserito che questo declino era stato probabilmente scatenato da condizioni climatiche sfavorevoli (basse temperature da gennaio a marzo) e dalla raccolta di biomassa, e che il declino è mantenuto da una combinazione di fattori diversi, quali la pressione predatoria, la torbidità, l'esaurimento dello stock di azoto e l'uso di sistemi illegali per raccogliere le *Tapes philippina*. Gli autori di queste pubblicazioni sono dell'opinione che la proliferazione dell'*Ulva* abbia una probabilità molto bassa di ripresentarsi a causa di questi fattori e della attesa riduzione del carico di nutrienti (soprattutto fosforo, che è il fattore limitante) dal bacino scolante, qualora le misure pianificate dalla

Regione Veneto venissero attuate. Recenti calcoli da modelli, non disponibili quando il SIA fu preparato, prendono in considerazione il declino dell'*Ulva* e mostrano una leggera diminuzione di ossigeno nell'acqua. Comunque, queste sono simulazioni per una sola chiusura al giorno per due giorni consecutivi, in estate ed in inverno, mentre le chiusure possano essere più protratte e frequenti con l'aumento del livello del mare.

Sarebbe imprudente assumere che il problema della proliferazione di *Ulva* si sia definitivamente risolto. L'eutrofizzazione è un processo complicato legato a forze sia naturali che indotte dall'uomo. Non c'è nessun motivo di credere che il fenomeno non si riverificherà considerando la crescente consapevolezza dell'importanza dei fattori meteorologici come fattori scatenanti del processo. Ulteriori studi dovrebbero essere effettuati per migliorare il modello ecologico per prevedere con maggiore accuratezza gli effetti delle chiusure delle barriere in diverse condizioni di produzione biologica nella laguna.

Va anche notato che quando le condizioni anossiche prevalgono, portando alla morte degli organismi bentonici, come si è verificato in aree di circolazione marina lenta, è stata osservata una ricolonizzazione rapida, a seguito della re-areazione, mediante l'invasione da aree vicine e dal mare. Si noti inoltre che con un aumento del livello del mare e il conseguente aumento della frequenza delle chiusure, la salinità può progressivamente ridursi.

Un altro impatto potenziale è quello relativo al rilascio di cloro e zinco dalle barriere all'acqua di mare. La quantità di cloro rilasciato con l'acqua di raffreddamento è piccola ed è improbabile che ci sia qualsiasi effetto. Quantità elevate di zinco, in termini assoluti, si dissolveranno dagli anodi donatori situati per la protezione catodica all'interno ed all'esterno degli elementi della barriera. Si stima che ogni anno verrà liberata una quantità fino a 12 tonnellate nelle tre bocche di porto. Questo avverrà progressivamente per gli anodi all'esterno degli elementi della barriera, e per mezzo di emissioni singole e concentrate quando gli elementi della barriera sono svuotati dell'acqua per l'elevazione. La concentrazione di zinco all'interno degli elementi dipenderà dalla frequenza delle chiusure. Potrebbe raggiungere i 25 microgrammi/litro in un volume totale di acqua di 53000/71000 m³. La modellizzazione della dispersione porta ad una stima della concentrazione di zinco di 25 microgrammi/litro a 1.2 km dalle barriere, mentre la concentrazione di fondo è attualmente da 1 a 1,5 microgrammi/litro. Lo zinco, un elemento essenziale, ha una tossicità bassa: il valore limite fissato dall'Unione Europea per il pesce è stabilito a 200 microgrammi /litro. L'impatto deve allora considerarsi come piccolo, ma si raccomanda, se il progetto verrà attuato, di monitorare lo zinco negli allevamenti di vongole dato l'elevato potere di accumulazione di questo elemento nei molluschi. Le impurità (cadmio, ecc.) nello zinco usato per gli anodi appaiono estremamente limitate per essere motivo di preoccupazione.

Ci sarà un chiaro impatto sul paesaggio. Anche se la maggior parte delle opere sarà collocata sott'acqua o al di sotto della superficie terrestre, il progetto richiede la costruzione di un'isola artificiale vicino alla bocca di porto del Lido e il dragaggio di un nuovo canale per traghetti ad ovest dell'isola. Con un'altezza di 3,5 m. l'isola verrà usata come sostegno per le spalle delle due barriere e come sito per due edifici di controllo e servizio (alti 11,5 m. e 6,5 m., rispettivamente, oltre ad un pozzo di ventilazione). Verrà costruita anche una conca di navigazione dal lato Treporti con una modifica della costa. Anche i siti a Malamocco e

Chioggia verranno impattati dalla costruzione delle spalle di sostegno, dagli edifici di controllo e servizio e dai porti di rifugio. Inoltre, il battello per la rimozione degli elementi delle barriere, con le sue torri di 45 m. di altezza, verrà ormeggiato a Malamocco quando non in funzione altrove. Gli impatti valutati nel SIA sono stati criticati da molti che ritengono che siano stati sottovalutati. Sembrerebbe che il paesaggio venga colpito e che la percezione di questi effetti dipenda da vari fattori, quali l'angolo della visuale, la distanza, la presenza di artefatti (fari, torri pilota, edifici storici ecc.).

Il *Collegio* ritiene che, con una progettazione attenta ed una costruzione curata, l'effetto sul paesaggio può mantenersi a livelli paragonabili o inferiori alle modifiche sul paesaggio già effettuate per la protezione delle isole costiere.

5.5. Conclusioni

Il SIA è esauriente ma non uniformemente dettagliato. Alcune parti dello studio sono piuttosto deboli ed alcuni impatti non sono stati studiati in maniera sufficientemente dettagliata. Comunque, se integrata con fonti addizionali più recenti, una valutazione degli impatti ambientali del progetto può essere fatta.

In generale, gli impatti ambientali durante la costruzione sono di secondaria importanza.

Nella fase di esercizio, gli effetti saranno probabilmente bassi in caso degli scenari A e B. Gli effetti ambientali potrebbero essere più importanti per lo scenario C con un aumento del numero delle chiusure. Questo potrebbe accadere dopo il 2050, quando una nuova valutazione ambientale potrebbe rendersi necessaria. Un ulteriore motivo per questa rivalutazione va riferito al possibile severo conflitto che potrebbe emergere tra la protezione della laguna, la protezione di Venezia e le attività del porto all'interno della laguna.

6. ASPETTI ECONOMICI DEL PROGETTO DELLE BARRIERE MOBILI

6.1. Un'analisi costi-benefici parziale

Il SIA presenta stime economiche che possono essere usate per un'analisi costi-benefici del progetto delle barriere mobili. Sulla scorta degli scenari B e C, l'aumento del livello del mare di 10 e 20 cm. verrà raggiunto in circa 60 anni. Questo è l'orizzonte temporale scelto per l'analisi, che include 10 anni per la costruzione delle barriere mobili e 50 anni di esercizio.

I dati economici presentati nel SIA rendono possibile solo un'analisi costi-benefici parziale. Alcuni dati sono mancanti a causa della carenza di stime affidabili (es. costi del progetto sull'attività portuale) o perchè non possono venir quantificati (come la protezione del patrimonio storico ed artistico). Comunque, il *Collegio* ritiene che conclusioni utili ed operative possano essere tratte dall'analisi delle stime quantitative disponibili.

6.2. Costi del progetto delle barriere mobili

Il progetto delle barriere mobili include le misure locali volte a proteggere Venezia e gli altri centri lagunari dall'acqua alta superiore ai 100 cm. (il progetto "insulae").

Il costo della costruzione delle barriere mobili (come riportato nel SIA) è di 3700 miliardi di lire. La fase della costruzione (includendo la preparazione del progetto esecutivo) si valuta duri 10 anni. I costi gestionali e di manutenzione durante l'intera vita del progetto ammonteranno a 18 miliardi l'anno. Il costo del progetto delle insulae fino a 100 cm. ammonta a 475 miliardi di lire e durerà 10 anni (SIA, Allegato 6, Tema 7; i costi sono al netto dell'Iva).

Il SIA usa un tasso di sconto del 5% per calcolare i valori attuali. Il *Collegio* ritiene che un tasso alternativo del 3% debba pure essere considerato per valutare la sensibilità dei costi e dei benefici al tasso di sconto.

6.2.1. Benefici misurati e valori attuali netti del progetto delle barriere mobili

I benefici misurati del progetto delle barriere mobili corrispondono ai costi evitati, di breve e lungo periodo, dell'acqua alta. Tali costi si verificherebbero in caso di allagamenti, ma vengono evitati grazie alla prevenzione delle acque alte. Le seguenti stime si basano su dati contenuti nel SIA, adattati dopo la risposta (Magistrato alle Acque e Consorzio Venezia Nuova, 1997) alle osservazioni del Gruppo di Lavoro del Comune di Venezia (Comune di Venezia, 1997).

Nel SIA, i costi di breve periodo legati a ritardi di mobilità sono basati su ipotesi di ritardo medio sofferto da singoli individui durante gli eventi di acqua alta. Il *Collegio* ritiene

ragionevoli tali ipotesi di ritardo. Come normalmente fatto per calcoli di questo tipo, il salario medio orario viene usato per calcolare il valore economico della perdita di un'ora. A seguito delle osservazioni del Gruppo di Lavoro del Comune di Venezia, le stime dei costi annuali sono state revisionate per escludere gli effetti delle acque alte notturne, che avvengono quando la mobilità è molto limitata. La valutazione dei costi per l'interruzione delle attività produttive include anche i costi di rimessa in opera delle aree allagate. Il valore aggiunto perso è approssimato dal costo del lavoro. Anche in questo caso, le stime dei costi considerano solo l'acqua alta durante il giorno. I danni ai beni nei magazzini e nei negozi sono valutati in funzione del livello dell'acqua, del grado di inondazione dell'edificio e dal suo grado di protezione dall'acqua alta.

I costi di breve periodo dell'acqua alta per i centri urbani lagunari si valutano a 35 miliardi di lire l'anno per lo scenario A, a 90 miliardi di lire l'anno per lo scenario B e a 200 miliardi di lire l'anno per lo scenario C. Queste stime sono molto caute. I calcoli presentati nel SIA sono stati rivisti considerando che: a) i costi di breve periodo non verranno evitati per i primi dieci anni durante la fase di costruzione; b) per gli scenari B e C, i costi di breve periodo dell'acqua alta aumentano in modo lineare con l'aumento del livello del mare.

La procedura usata nel SIA per calcolare danni di lungo periodo è considerata accettabile. Le stime dei costi dipendono dalle ipotesi fatte. I dati disponibili sono così limitati che le stime dei costi sono necessariamente approssimative e possono dare solo misure indicative dei valori monetari dei danni considerati.

I costi dell'acqua alta evitati alle conterminazioni delle sponde lagunari sono quelli legati all'aumentata frequenza di manutenzione che si renderebbe necessaria senza protezione. Le stime originali del SIA sono state contestate come eccessive dal Gruppo di Lavoro del Comune di Venezia. Considerando tali obiezioni, le stime dei costi evitati sono state considerevolmente ridotte.

Le stime proposte dal SIA a proposito dei costi per la riparazione dei danni dovuti all'acqua bassa successiva ad un allagamento, per la riparazione dei danni dell'aggressione salina, e per la riparazione dei danni ai cunicoli di scarico, sono considerate accettabili.

6.2.2. Valutazione economica del progetto

Il riassunto dei costi e dei benefici è presentato nella Tabella 6, insieme ad alcuni parametri aggiuntivi che sono di aiuto per la valutazione economica del progetto. Solo per lo scenario A il valore attuale netto del progetto è negativo. In questo scenario, i benefici rappresentano l'88% dei costi. Comunque ciò deve essere valutato alla luce dei seguenti punti:

Le stime dei danni di breve periodo sono molto caute.

Il risultato è sensibile al tasso di sconto. Se viene applicato un tasso di sconto del 3% (che sembra alquanto accettabile) il valore attuale netto del progetto è positivo e i benefici superano i costi del progetto.

Il risultato è stato raggiunto senza tenere conto dei benefici non misurati come:

- riduzione dei danni agli edifici storici;

- riduzione degli inconvenienti dovuti a minori lavori di restauro degli edifici;
- riduzione dei rischi alla salute associati agli allagamenti;
- riduzione delle difficoltà nell'assicurare servizi di emergenza;
- aumentate opportunità di sviluppo economico e miglioramento della qualità della vita;
- valori delle abitazioni più alti;
- importazione di un moderno know-how tecnologico e di capacità professionali.

Il valore attuale netto del progetto delle barriere mobili è positivo, ed i benefici superiori ai costi, negli scenari B e C per un tasso di sconto del 5%. Il valore attuale netto del progetto delle barriere mobili è sempre positivo con un tasso di sconto del 3%. Si noti inoltre che il progetto è in grado di ridurre i costi di riparazione dei danni dovuti all'acqua alta dell'85/90%.

Tabella 6. Costi e benefici del progetto delle barriere mobili. I costi sono la somma del valore attuale dei costi di costruzione delle barriere mobili, dei costi di manutenzione e dei costi del progetto insulae.

	Tasso di sconto = 5%			Tasso di sconto = 3%		
	Scenario	Scenario	Scenario	Scenario	Scenario	Scenario
	A	B	C	A	B	C
Costi di progetto	3400	3400	3400	3900	3900	3900
Benefici (costi dell'acqua alta evitati)	2980	3550	4480	4050	5000	6650
Costi evitati di breve periodo	390	660	1200	670	1200	2200
Costi evitati di lungo periodo	2590	2890	3280	3380	3800	4450
<i>Sponde lagunari</i>	230	280	340	380	480	580
<i>Acqua bassa dopo un allagamento</i>	330	330	490	400	400	620
<i>Aggressione salina</i>	1780	1830	1890	2300	2400	2550
<i>Cunicoli di scarico</i>	200	370	460	230	420	550
<i>Altri</i>	50	80	100	70	100	150
Valore attuale netto	-420	150	1080	150	1100	2750
Rapporto benefici/costi	0.88	1.04	1.32	1.04	1.28	1.71
Costi dell'acqua alta senza il progetto	3530	4170	5200	4660	5680	7450
Percentuali di costi dell'acqua alta evitati dal progetto	85%	85%	86%	87%	88%	89%

6.2.3. Effetti del progetto delle barriere mobili sull'attività portuale

Nell'analisi costi-benefici non sono state usate stime quantitative dei costi del progetto sulla navigazione e sull'attività portuale.

Il porto rappresenta una delle attività economiche più importanti di Venezia e Chioggia. In particolare, il porto di Venezia svolge un ruolo rilevante di infrastruttura regionale collegando il mare Adriatico con il Nord e con l'Est dell'Europa. Il suo prodotto lordo diretto ed indiretto è di circa 2000 miliardi di lire l'anno (16% del prodotto comunale lordo).

Il *Collegio* riconosce che la fase di costruzione delle barriere mobili è stata esplicitamente progettata per minimizzare l'impatto negativo sulla navigazione. Durante l'installazione dei cassoni e delle paratoie la navigazione verrà interrotta. Tuttavia, questo implicherà delle difficoltà per le attività portuali per pochi mesi sul periodo intero di costruzione di 8 anni. Per prevenire che si scoraggi l'utilizzo del porto durante la fase di costruzione, sarà richiesta una attenta campagna di informazione rivolta alle compagnie di navigazione, assieme ad un perfetto coordinamento tra l'autorità portuale e il costruttore. Nel caso in cui il progetto arrivi allo stadio esecutivo, l'intera fase di costruzione dovrà essere controllata e concordata assieme al Provveditorato al Porto ed alla Capitaneria di Porto.

Il SIA stima i costi della fase operativa del progetto sull'attività portuale considerando solo le ore addizionali di attesa implicate dalla chiusura o dall'annuncio di chiusura delle barriere. Il SIA non considera la perdita potenziale di traffico che ci si può attendere con l'aumento del numero delle chiusure (o annunci di chiusura). Questo metodo corre il serio rischio di sottovalutazione dei costi reali.

Con l'attuale livello del mare, ci si attende un numero di annunci di interruzione della navigazione di 18 l'anno, il che implica, in media, un evento ogni 10 giorni (tra ottobre ed aprile, quando si verifica il più alto numero di fenomeni di acqua alta). Con un aumento del livello del mare di 10 cm., si attendono 43 annunci di interruzione della navigazione, una volta ogni 4-5 giorni in media (tra ottobre ed aprile). Con un aumento del livello del mare di 20 cm., 104 annunci di interruzione della navigazione sono prevedibili ogni anno: uno ogni due giorni tra ottobre ed aprile. Allo stato attuale della conoscenza, in caso di aumento del livello del mare il numero di chiusure e falsi allarmi potrebbe aumentare in maniera tale da scoraggiare l'uso del porto.

Questo effetto potrebbe essere particolarmente rilevante per il traffico di container, che sta attualmente crescendo e che ci si aspetta aumenti ancora in futuro. In tal caso il porto dovrà riorientare le sue attività principali, oppure si dovrà procedere alla costruzione di una conca di navigazione per assicurare la continuazione delle attività portuali.

6.3. Conclusioni

Specialmente con un tasso di sconto basso che sottolinea i benefici per le generazioni future, il progetto supera la prova dell'analisi costi-benefici, anche senza tener conto dei benefici non valutabili, il più importante dei quali è la preservazione di Venezia come eredità comune dell'umanità. Nello scenario C, il valore attuale netto finanziario del progetto è sufficientemente elevato per far fronte ai costi di costruzione di una conca di navigazione, qualora si verificasse un conflitto con le attività portuali. Per ogni scenario, il progetto dimostra la sua efficacia nel ridurre quasi completamente i costi indotti dall'acqua alta.

7. ALTERNATIVE AL PROGETTO DELLE BARRIERE MOBILI

7.1. Strategie alternative per la protezione dall'acqua alta

Oltre alle barriere mobili, si possono considerare altre misure per proteggere Venezia e gli altri centri urbani dall'acqua alta. Alcune di queste misure non sono propriamente delle alternative al progetto delle barriere mobili. Alcune misure diffuse, per esempio, sono incluse nelle leggi speciali per Venezia (SIA, Quadro di Riferimento Programmatico, Sezione B) e sono intese, in primo luogo, a ripristinare la morfologia della laguna e ad impedirne un ulteriore degrado. Comunque, visto che queste misure possono servire a ridurre i picchi di marea in laguna, insieme alla protezione delle insulae esse possono essere considerate un pacchetto alternativo che può assicurare una protezione sufficiente dall'acqua alta.

In termini generali, emergono due strategie rilevanti per proteggere Venezia:

1. Una strategia volta a evitare l'entrata dell'acqua alta nella laguna, basata su un progetto di barriere mobili e integrata dalla protezione delle insulae fino a 100 cm.;
2. Una strategia che accetta l'acqua alta ed è volta a proteggere gli edifici ed i centri urbani per mezzo di misure diffuse e di protezioni locali (insulae) fino a 100 cm. o anche oltre.

Questo capitolo affronta la seconda strategia. Due soluzioni alternative vengono analizzate in dettaglio. La prima si basa sulla protezione delle insulae fino a 100 cm. integrata con tutte le misure diffuse che sono state studiate (SIA, Allegato 6) e che possono ridurre i picchi di marea. La seconda considera solo la protezione delle insulae ma migliorata per proteggere la città fino a 120 cm.

Le misure diffuse sono studiate in dettaglio dal SIA. Il progetto delle insulae a 120 cm., al contrario, non è incluso nel SIA. Tale progetto è stato considerato dal *Collegio* in risposta alla affermazione che le misure di protezione locali potrebbero essere potenziate fino ad un livello di protezione sufficiente, così che gli effetti degli allagamenti siano accettabili e le barriere mobili inutili.

7.2. Descrizione ed efficacia delle misure alternative

7.2.1. Misure diffuse

Il SIA considera una serie di misure diffuse proposte dal Comune di Venezia (1995), con lo scopo di ridurre il picco dei fenomeni di acqua alta ed anche l'impatto negativo nei centri storici della città (SIA, Allegato 6, Tema 6). Questa serie di misure include:

1. Apertura delle valli da pesca;
2. Riduzione della sezione delle bocche di porto e cambiamento dell'orientamento della parte finale dei moli foranei;
3. Chiusura del canale di navigazione di Malamocco-Marghera (Canale dei Petroli);

4. Altre misure diffuse, come la ricostruzione di velme, barene ecc. e l'apertura delle casse di colmata.

Apertura delle valli da pesca

L'idea è di aumentare la capacità di accumulare acqua creando nuove aperture nelle 23 valli da pesca (superficie di 88 km²) lungo i loro argini. L'analisi del SIA indica che le misure non saranno efficaci: i picchi medi di marea a Punta della Salute si ridurranno di solo 1,3 cm.. Le ragioni dell'inefficacia sono che l'area totale degli allevamenti ittici è piccola paragonata alla superficie della laguna, ed essi sono situati troppo lontani a nord e a sud da Venezia.

Riduzione della sezione delle bocche di porto e modifica della parte finale dei moli foranei.

E' stata anche valutata la possibilità di ridurre il livello dell'acqua nella laguna riducendo le dimensioni delle bocche di porto. Riducendo la profondità alla bocca di Chioggia ad 8 m., a 12 m. alla bocca di Malamocco e a 10 m. alla bocca di Lido, le sezioni delle bocche di porto possono essere ridotte rispettivamente del 12%, 25%, e 15%. È stato comunque evidenziato che il livello dell'acqua a Punta della Salute si ridurrebbe di soli 4,1 cm..

Cambiando la sezione finale dei moli foranei si aumenta la resistenza al flusso e quindi si crea una diminuzione ulteriore dei livelli di picco in laguna. La soluzione più efficace in termini di livello di acqua alta richiede il cambiamento della parte finale dei moli foranei che verrebbero orientati in direzione parallela alla costa. L'effetto sarà di una riduzione del picco di marea di 1,9 cm. Questa soluzione rappresenta un ostacolo serio alla navigazione. Altre soluzioni che minimizzassero gli effetti sulla navigazione avrebbero un effetto trascurabile sul livello dell'acqua.

Chiusura del Canale dei Petroli che unisce Malamocco a Marghera

Per alleviare il problema delle variazioni morfologiche causate dal Canale dei Petroli tra Malamocco e Marghera, è stato suggerito che il canale venga chiuso ed il traffico dirottato verso il canale Fisolo che verrà dragato sino a 10 m.. L'effetto di tale cambiamento sul livello della marea a Punta della Salute è trascurabile (qualche mm).

Altre misure diffuse

Altre misure diffuse considerate dal SIA includono l'apertura delle casse di colmata, il dragaggio di canali che collegano la Val di Brenta, la ricostruzione delle barene, velme, ecc.. Analisi dettagliate hanno valutato che l'effetto totale di tutte queste misure è trascurabile (uno o pochi millimetri).

Efficacia delle misure diffuse

Dopo una accurata analisi degli studi sugli effetti delle misure diffuse, si può concludere che esse non hanno un effetto significativo sul livello della marea all'interno della laguna. L'effetto dipende dalla forma della marea e dalla durata dell'acqua alta. Solo per maree rapide, che con all'attuale livello del mare si verificano 4 volte l'anno in media, il livello di picco a Venezia potrebbe essere ridotto di 12 cm. ca. (SIA, Allegato 6, Sintesi dei temi, p.40 della versione in

Inglese). In particolare, maree lente di lunga durata, quelle che causano i danni maggiori, non sono influenzate da queste misure diffuse. L'unica misura diffusa che potrebbe avere un qualche effetto è la elevazione del fondale alle bocche di porto e la modifica dell'orientamento della parte finale dei moli foranei. Questo tipo di intervento aumenta la resistenza al flusso di marea entrante in laguna. Ne consegue un abbassamento del livello dell'acqua di qualche centimetro.

L'efficacia limitata delle misure diffuse è anche dimostrata da analisi empiriche sui dati registrati dei fenomeni di acqua alta dall'inizio del secolo fatte da Cecconi, Canestrelli, Corte e Di Donato (1998). Il loro studio mostra come l'effetto totale sui livelli di acqua alta prodotto da cambiamenti nella sezione dei canali, nella morfologia lagunare, nelle valli da pesca ecc. è stato di soli 2 cm.. Tuttavia, l'effetto di misure diffuse può essere maggiore nella periferia della laguna, ma questo non aiuta a ridurre il danno a Venezia.

7.2.2. Difese locali (*insulae*)

Le difese locali sono costituite da:

1. Elevazione delle superfici lastricate all'esterno degli edifici e se necessario all'interno (incluso le vasche di contenimento);
2. Aumento dell'altezza dei muri di protezione attorno alle isole e lungo gli argini dei canali;
3. Elevazione diretta della struttura.

Se si adotta solo una difesa locale, l'efficacia della protezione dall'acqua alta dipende dal livello della protezione delle *insulae*, mentre la fattibilità della sua attuazione dipende dall'area soggetta a costruzioni simultanee, che determina la durata ed i costi di costruzione.

Anche se la protezione delle *insulae* ha avuto successo a Malamocco, e sarà realizzabile probabilmente per parti della città, una protezione totale fino a 120 cm. od oltre sarà difficilmente raggiungibile, richiederà un tempo molto lungo (si stimano 60 o più anni), sarà estremamente costosa ed avrà conseguenze irreversibili per alcuni edifici storici.

L'efficacia della protezione delle *insulae* diminuirà ulteriormente in caso di innalzamento del livello del mare. Anche se fosse possibile proteggere tutti gli edifici ed i siti storici per maree fino a 120 cm., ci sarà sempre un serio allagamento in media ogni anno con l'attuale livello del mare, e il numero aumenterà con l'aumento del livello del mare. Inoltre, il rischio di maree eccezionali rimarrà invariato.

7.3. Effetti sulla morfologia e sull'ambiente delle soluzioni alternative

Secondo il SIA (Tema 6, Vol. 6a), l'apertura delle valli da pesca e degli allevamenti ittici aumenterà il flusso di marea verso i canali, con effetti più marcati verso i margini lagunari, specialmente vicino alle valli. Questo causerà una riduzione della sedimentazione nei canali ed aumenterà il deposito sulle barene e sulle velme. Ci sarà un effetto globale favorevole per quel

che riguarda l'eutrofizzazione (in un contesto di ricomparsa dell'*Ulva*). Questi effetti positivi sono in un certo senso controbilanciati da un aumentato rischio di contaminazione delle valli da pesca dall'acqua lagunare, causando un possibile danno economico.

L'apertura delle casse di colmata avrà un effetto simile, seppur più limitato, ma creerà senza dubbio maggiore biodiversità per la vita acquatica.

L'apertura della Val di Brenta avrà un effetto molto basso, visto che sono già stati realizzati dei canali e dei passaggi al di sotto della via Romea che danno accesso all'acqua lagunare. L'impatto sarà inoltre prettamente locale, ma comunque positivo.

L'elevazione del fondale delle bocche di porto, con una riduzione del flusso e del volume medio di acqua scambiata, aumenterà la sedimentazione nei canali ed aumenterà la profondità dei fondali bassi, un impatto leggermente negativo. I cambiamenti alla configurazione dei moli foranei alle bocche di porto ridurranno il volume della marea, il che avrà un effetto minimo se non inesistente sull'ecologia della laguna, ma aumenterà la sedimentazione nei canali ed approfondirà i fondali bassi. Ci potrebbe esser inoltre un minor trasferimento di sedimenti verso le spiagge del Lido.

La ricostruzione di barene e velme avrà l'effetto positivo di aumentare la profondità dei canali, localmente, con conseguente maggiore deposito nei fondali bassi ed una minor perdita di sedimenti al mare, stimata in 400,000 m³, qualora il materiale dragato venisse usato per costruire le barene. Comunque, ad una scala più ampia, lontano dagli elementi ricostruiti ci sarà un aumento dell'erosione dei bassifondi e di sedimentazione nei canali. Il materiale prodotto dal dragaggio addizionale potrà essere impiegato per costruire le strutture. Le barene, in particolare, aumenteranno la biodiversità, ed avranno una funzione di pulizia per contaminanti e nutrienti, assorbiti dalle loro macrofite. Inoltre, miglioreranno i valori paesaggistici.

L'elevazione dei bassifondi attorno al centro storico di Venezia si ritiene riduca lo sviluppo di macro alghe. Un vantaggio indiretto della ricostruzione di barene, velme e sponde sarà la copertura dei sedimenti contaminati con materiali più puliti.

In conclusione, se ci sarà un impatto negativo per le misure diffuse, questo sarà minimo. Alcune, specialmente la ricostruzione delle strutture lagunari, saranno molto benefiche e dovrebbero essere portate a termine in ogni caso con lo scopo di ripristinare l'ecosistema lagunare. Il progetto insulae non avrà nessun effetto, oppure un effetto estremamente localizzato, temporaneo o trascurabile, limitato alla fase di costruzione.

7.4. Valutazione economica delle soluzioni alternative

7.4.1. Misure diffuse e protezione con insulae fino a 100 cm.

Secondo il SIA, il costo di attuazione delle misure diffuse è pari a 3600 miliardi di lire. Poichè ci vorranno 10 anni per ultimarle, il valore attuale del costo delle misure diffuse e delle difese locali fino a 100 cm. (insulae) è pari a 3200 miliardi di lire (tasso di sconto del 5%).

Il SIA fornisce stime dei costi dell'acqua alta evitabili con le misure diffuse. Lo studio assume che le difese locali e le misure diffuse proteggeranno Venezia fino a 107 cm. (assumendo 7 cm. come stima complessiva degli effetti delle misure diffuse). Comunque, per prendere la posizione più favorevole possibile nei confronti delle misure diffuse, nella seguente analisi costi-benefici, le stime dei costi evitati dell'acqua alta fornite dal SIA sono state aumentate. Inoltre, gli impatti negativi di alcune misure diffuse sulla navigazione (modifica dell'orientamento dei moli foranei, utilizzo del canale Fisolo invece del canale dei Petroli, sollevamento del fondale alle bocche di porto) sono stati ignorati. Il risultato dell'analisi costi-benefici è mostrato nella Tabella 7.

Tabella 7. Costi e benefici delle misure diffuse in miliardi di lire (tasso di sconto del 5%).

	Tasso di sconto = 5%		
	Scenario A	Scenario B	Scenario C
Costi del progetto	3200	3200	3200
Benefici (costi evitati dell'acqua alta)	1090	1270	1510
Costi evitati di breve periodo	130	220	360
Costi evitati di lungo periodo	960	1050	1150
<i>Sponde lagunari</i>	-	-	-
<i>Acqua bassa dopo un allagamento</i>	170	170	170
<i>Aggressione salina</i>	620	650	660
<i>Cunicoli di scarico</i>	120	150	190
<i>Altri</i>	50	80	100
Valore attuale netto	-2110	-1930	-1690
Rapporto benefici/costi	0.35	0.40	0.47
Costi dell'acqua alta senza il progetto	3530	4170	5200
Percentuali di costi dell'acqua alta evitati dal progetto	31%	30%	29%

La Tabella 7 mostra che i benefici della combinazione tra misure diffuse ed insulae saranno sempre inferiori ai loro costi. Inoltre, il progetto permetterà di evitare al massimo il 31% dei costi necessari per riparare i danni dell'acqua alta. Il *Collegio* conclude che, anche da un punto di vista puramente economico, le misure diffuse non possono considerarsi come una possibile alternativa al progetto delle barriere mobili.

7.4.2. Difese locali (insulae) fino a 120 cm.

Proteggere Venezia dall'acqua alta fino 120 cm. implicherà operazioni che copriranno il 40% della città. Serii dubbi sono stati sollevati da molti degli esperti consultati circa la realizzazione di questo progetto. Secondo il proponente del progetto delle barriere mobili,

proteggere il centro storico di Venezia fino a 120 cm. è fattibile ma richiederà 90 anni e costerà circa 4200 miliardi di lire. Secondo altri esperti interpellati, i costi saranno notevolmente superiori. Nell'analisi costi-benefici presentata qui di seguito, il tempo necessario per completare le difese locali potenziate è ridotto a 60 anni per rendere possibile un paragone con il progetto delle barriere mobili.

Usando i dati forniti dal proponente, si stima che il progetto permetterà di evitare i costi di breve periodo del 45% per lo scenario A, del 40% per lo scenario B e del 35% per lo scenario C. Durante il periodo di costruzione, le percentuali dei costi evitati aumentano gradualmente sino a raggiungere la percentuale finale.

Le difese locali potenziate non eviteranno i costi di lungo periodo dell'acqua alta per i danni alle sponde lagunari, ai cunicoli di scarico e per altri danni minori di lungo periodo. Secondo i dati forniti dal proponente del progetto delle barriere mobili, il progetto delle insulae potenziate eviterà totalmente i costi legati all'acqua bassa successiva ad un allagamento per gli scenari A e B, mentre non prevede nessun tipo di protezione contro questi danni per lo scenario C. Il danno dell'aggressione salina verrà evitato al 56% per lo scenario A, 53% per lo scenario B, e 50% per lo scenario C. Il risultato dell'analisi costi-benefici è riassunta nella Tabella 8. Dato che il periodo per completare le insulae potenziate sarà un multiplo del tempo di costruzione delle barriere mobili, il valore attuale scontato del costo delle insulae potenziate è inferiore a quello del progetto delle barriere mobili.

Tabella 8. Sintesi dei costi e dei benefici delle difese locali potenziate (insulae fino a 120 cm.) in miliardi di lire.

	Tasso di sconto = 5%			Tasso di sconto = 3%		
	Scenario	Scenario	Scenario	Scenario	Scenario	Scenario
	A	B	C	A	B	C
Costi di progetto	1330	1330	1330	1940	1940	1940
Benefici (costi dell'acqua alta evitati)	1410	1490	1320	1850	2030	1970
Costi evitati di breve periodo	80	190	370	160	360	690
Costi evitati di lungo periodo	1330	1300	950	1690	1670	1280
<i>Sponde lagunari</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Acqua bassa dopo un allagamento</i>	330	330	-	400	400	-
<i>Aggressione salina</i>	1000	970	950	1290	1270	1280
<i>Cunicoli di scarico</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Altri</i>	-	-	-	-	-	-
Valore attuale netto	80	160	-10	-90	90	30
Rapporto benefici/costi	1.06	1.12	0.99	0.95	1.12	1.02
Costi dell'acqua alta senza il progetto	3530	4170	5200	4660	5680	7450
Percentuali di costi dell'acqua alta evitati dal progetto	40%	36%	25%	40%	36%	26%

Quindi, le insulae potenziata sembrano avere senso economico anche con un valore attuale dei benefici inferiore. Nonostante ciò, il progetto delle barriere mobili domina chiaramente nello scenario C con un tasso di sconto del 5% e sempre con un tasso di sconto del 3 %.

Il *Collegio* considera questi risultati favorevoli per il progetto delle barriere mobili per due ragioni. In primo luogo, l'analisi dei costi-benefici non tiene conto dei costi psicologici e sociali di una serie di interventi che durano decenni sulla delicata struttura fisica dei centri storici. In secondo luogo, i parametri dell'analisi costi-benefici sono solo uno degli indicatori del valore sociale ed economico del progetto, utili per confrontare l'investimento monetario con i rendimenti economici del progetto. I criteri di costo e beneficio non possono essere usati per valutare altri obiettivi sociali, come il grado di protezione dall'acqua alta. È evidente che, anche se in qualche caso il progetto delle insulae potenziata dà risultati migliori delle barriere mobili da un punto di vista dei costi e benefici, le insulae potenziata sono sempre peggiori dal punto di vista del grado di protezione dai danni dell'acqua alta. Le difese locali potenziata non sono in grado di evitare più del 40% dei costi dell'acqua alta.

7.4.3. Efficienza ed efficacia delle barriere mobili e delle misure alternative

La Tabella 9 mostra un indice combinato che considera sia l'obiettivo di massimizzare il rendimento economico dell'investimento, sia l'obiettivo di massimizzare il grado di protezione dall'acqua alta. Per ogni alternativa considerata, l'indice è il rapporto tra i benefici prodotti (danni evitati dall'acqua alta) e la somma dei costi del progetto e dei costi rimanenti (quelli non evitati) dell'acqua alta. Come si vede nella Tabella 9, combinando efficienza economica ed efficacia contro l'acqua alta, il progetto delle barriere mobili prevale sia sul progetto delle insulae potenziata che sul progetto delle misure diffuse.

Tabella 9. Un indice combinato di efficienza economica e di efficacia della protezione dall'acqua alta (tasso di sconto del 5%).

	Scenario A	Scenario B	Scenario C
Barriere mobili	0.75	0.88	1.04
Insulae 120 cm.	0.41	0.37	0.25
Misure diffuse	0.19	0.21	0.22

7.5. Conclusioni

Efficacia per la protezione all'acqua alta

La premessa base di poter controllare il livello degli allagamenti mediante l'aumento della capacità di accumulo dell'acqua all'interno della laguna è indifendibile. Senza una temporanea

chiusura delle bocche di porto non può essere raggiunta una riduzione significativa del livello dell'acqua su un'area di 550 km² alterando le dimensioni di parti della laguna. Ciò è anche dimostrato dall'analisi empirica della registrazione dei fenomeni di acqua alta dall'inizio del secolo che mostra che l'effetto totale sui livelli di acqua alta dei cambiamenti locali nella sezione dei canali, nella morfologia lagunare, nelle valli da pesca ecc., è stato equivalente ad un cambiamento del livello del mare di solamente 2 cm. per Venezia. Tuttavia, l'effetto delle misure diffuse può essere superiore nella zona periferica della laguna

L'altra premessa di ridurre il livello dell'acqua aumentando la resistenza alla propagazione dell'acqua nella laguna è allo stesso modo debole. La riduzione si verifica per maree rapide e può essere significativa per fenomeni di breve durata. Per una marea che cresce gradualmente, con un picco che dura diverse ore, l'effetto del rallentamento della propagazione dell'acqua sul livello massimo nella laguna sarà trascurabile.

La protezione delle insulae potenziata (120 cm.) ridurrà la frequenza degli allagamenti ad una all'anno con l'attuale livello di mare, ma non proteggerà Venezia contro fenomeni estremi. Inoltre, il progetto solleva dubbi circa la sua fattibilità e richiederà un periodo molto lungo prima di essere ultimato. In caso di innalzamento del livello del mare dovuto a cambiamenti climatici, l'efficacia delle insulae potenziata verrà quasi totalmente cancellata. I lunghi tempi di costruzione implicano anche che la città rimarrà senza protezione per molti decenni in futuro.

Effetti ambientali

Le misure diffuse avranno alcuni impatti ambientali positivi ed alcuni negativi. Alcune misure, comunque, sono molto benefiche per la laguna e dovrebbero essere realizzate in ogni caso per ripristinare l'ecosistema lagunare.

Considerazioni economiche

L'analisi costi-benefici mostra che la combinazione di insulae fino a 100 cm. e misure diffuse ha una performance economica molto scarsa per ogni scenario. Inoltre, tale soluzione previene solo il 30% dei costi dell'acqua alta. La stessa analisi condotta sul progetto delle insulae potenziata (protezione fino a 120 cm.) mostra che il valore attuale netto del progetto è positivo per alcuni scenari. In ogni caso, la percentuale dei costi evitati è al massimo del 40%. Combinando le indicazioni dell'analisi costi-benefici e la capacità di una soluzione di ridurre i costi dell'acqua alta, emerge che il progetto delle barriere mobili è sempre una soluzione superiore alle altre, per ogni tipo di scenario, così come per diversi tassi di sconto.

8. SOMMARIO E CONCLUSIONI SUL PROGETTO DELLE BARRIERE MOBILI E DELLE SUE ALTERNATIVE

8.1. Una visione d'insieme delle opzioni per proteggere Venezia

Questa sezione riassume le conclusioni raggiunte dal *Collegio* circa l'efficacia della protezione dall'acqua alta, gli impatti ambientali e gli effetti economici delle barriere mobili e delle sue alternative, come presentate nei capitoli precedenti.

8.1.1. *Opzione zero*

Anche senza un innalzamento del livello del mare indotto da cambiamenti climatici, la frequenza degli allagamenti e il livello di acqua eccezionalmente alta aumenterà probabilmente nei prossimi 50-100 anni. Ciò significa che Venezia e la laguna continueranno a sprofondare rispetto al livello del mare ed i danni aumenteranno nei decenni futuri. Anche escludendo i costi intangibili al patrimonio storico ed artistico, i costi economici dell'acqua alta saranno elevati.

8.1.2. *Il progetto delle barriere mobili*

Il sistema delle barriere mobili è flessibile ed efficace per proteggere Venezia dall'acqua alta per un ampio spettro di scenari dell'aumento del livello del mare.

Gli impatti ambientali delle barriere mobili durante la costruzione sono di secondaria importanza. Nella fase di esercizio, gli effetti saranno probabilmente bassi per gli scenari A e B. Gli effetti ambientali potrebbero essere più importanti per lo scenario C, con un aumento del numero delle chiusure. Ciò potrebbe avvenire nella seconda metà del prossimo secolo, quando una nuova valutazione ambientale potrebbe rendersi necessaria. Un ulteriore motivo per questa rivalutazione va riferito al possibile conflitto che potrebbe emergere tra la protezione della laguna, la protezione di Venezia e le attività del porto.

L'analisi costi-benefici mostra che il valore attuale netto è positivo negli scenari B e C. Nello scenario A il valore attuale netto è leggermente negativo, ma ciò non tiene conto dei benefici non misurabili del progetto, il più importante dei quali è la salvaguardia di Venezia come patrimonio comune dell'umanità. Scegliendo un tasso di sconto inferiore, che evidenzia i benefici per le generazioni future, il progetto supera il test dell'analisi costi-benefici per ogni scenario. Inoltre, per ogni scenario il progetto prova la sua efficacia nella riduzione quasi totale dei costi dell'acqua alta.

8.1.3. *Le misure diffuse e le insulae potenziate*

L'alternativa "misure diffuse" (che unisce la protezione delle insulae fino a 100 cm. con l'intero pacchetto delle misure diffuse) fornisce una qualche protezione dall'acqua alta per i fenomeni meno severi. La protezione si riduce con l'aumento del livello del mare ed in ogni caso è quasi nulla per i fenomeni estremi. Le misure diffuse aumentano la capienza della

laguna e rallentano la propagazione di acqua nella laguna. Il loro effetto combinato dipende dal tipo e dalla durata della marea. Può essere significativo per maree veloci e brevi, specialmente in alcune aree alla periferia della laguna. L'effetto sul livello massimo dell'acqua è trascurabile per maree lente che durino diverse ore.

L'alternativa "insulae potenziata" (protezione ad insulae fino a 120 cm.) ridurrà la frequenza degli allagamenti a circa uno all'anno, con l'attuale livello del mare, ma non proteggerà Venezia da fenomeni estremi. In aggiunta, questo progetto solleva dubbi circa la sua fattibilità ed avrà tempi di realizzazione lunghi. In caso di aumento del livello del mare indotto da cambiamenti climatici, l'efficacia delle insulae potenziata sarà quasi totalmente cancellata. I lunghi tempi di realizzazione implicano che la città rimarrà senza protezione per molti decenni in futuro.

Le misure diffuse avranno degli impatti sia negativi che positivi. Alcune misure, comunque, sono benefiche per la laguna e dovrebbero essere attuate comunque per ripristinare l'ecosistema lagunare.

L'analisi costi-benefici mostra che il pacchetto delle insulae fino a 100 cm. combinato alle misure diffuse ha una prestazione economica molto scarsa per ogni scenario. In aggiunta, questa soluzione previene solamente il 30% circa dei costi dell'acqua alta. La stessa analisi condotta sul progetto delle insulae potenziata (protezione fino a 120 cm.) mostra che il valore attuale netto del progetto è positivo per alcuni scenari. In ogni caso, la percentuale di costi evitati delle acque alte è al massimo del 40%. Combinando le indicazioni dell'analisi costi-benefici e la capacità di ridurre i costi prodotti dall'acqua alta, emerge che il progetto delle barriere mobili è sempre una soluzione superiore alle altre per ogni scenario, così come per i diversi tassi di sconto.

8.2. Osservazioni finali

Per lo scenario A, le barriere mobili forniscono la maggior protezione dall'acqua alta ed hanno una prestazione economica complessivamente positiva. Potranno avere degli impatti ambientali, che saranno probabilmente minimi. La scelta di qualsiasi alternativa, tra quelle qui esaminate, piuttosto che le barriere mobili implicherebbe che la prevenzione di tali impatti ambientali è considerata più importante della protezione dall'acqua alta, dei risultati economici e della riduzione dei danni dell'acqua alta.

Per lo scenario B, e specialmente per lo scenario C, l'aumento progressivo del livello del mare ridurrà l'efficacia della protezione dall'acqua alta e i risultati economici delle alternative. Tuttavia, ciò aumenterà anche la probabilità di impatto ambientale delle barriere mobili a causa della maggiore frequenza di chiusure. Se l'aumento del livello del mare arrivasse a 20 cm. nel prossimo secolo, potrebbe emergere un conflitto tra la protezione di Venezia, la protezione della laguna e la protezione delle attività portuali.

Nonostante le misure diffuse e le insulae siano, di per sè, solo soluzioni parziali, esse possono venir combinate con le barriere mobili. Sollevare le parti più basse della città a livelli superiori ai 100 cm. dovrebbe venir comunque perseguito, se tecnicamente ed

economicamente fattibile. Se il progetto delle barriere mobili fosse attuato, questo aumenterebbe la flessibilità della gestione delle barriere e limiterebbe il numero di chiusure, specialmente in caso di aumento del livello del mare. Questo potrebbe ridurre il conflitto tra la protezione di Venezia, la protezione della laguna e la protezione delle attività portuali che potrebbe emergere in futuro.

In caso di un aumento del livello del mare indotto da cambiamenti climatici, ci si attende che l'avvio del fenomeno sarà lento. La possibilità di un adattamento progressivo alle nuove circostanze rappresenterà un punto di forza importante per qualsiasi soluzione adottata. Le barriere mobili, che possono garantire la protezione di Venezia per diversi livelli del mare, offrono questa possibilità. Esse lasciano abbastanza libertà e flessibilità per adattare il regime gestionale in modo che la protezione di Venezia e della sua laguna possa essere riconsiderata in futuro alla luce delle esperienze scientifiche e delle preferenze sociali di allora.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Blondeaux, P., B. De Bernardinis, G. Seminara (1982) *Correnti di marea in prossimità di imboccature e loro-influenza sul ricambio lagunare*, Atti del XVIII convegno di idraulica e costruzioni idrauliche, Bologna, 21-23 Settembre 1982.

Blondeaux, P., B. De Bernardinis, G. Seminara (1986) *Sul meccanismo del ricambio lagunare*, B12/86, Università di Genova, Istituto di Idraulica.

Camuffo, D. (1993) *Analysis of the sea surges at Venice from A.D. 782 to 1990*, Theoretical and Applied Climatology, Vol. 47, no. 1-2, pp. 1-14.

Cecconi, G., P. Canestrelli, C. Corte, M. Di Donato (1998) *Climate record of storm surges in Venice*, RIBAMOD workshop - Impact of climate change on flooding and sustainable river management, Wallingford, 26-27th Febbraio 1998.

Comune di Venezia (1995) *Documento approvato dal Consiglio Comunale di Venezia nella seduta del 15.3.95*.

Comune di Venezia (1997) *Parere espresso dal Gruppo di lavoro del Comune di Venezia sullo studio di impatto ambientale delle opere mobili alle bocche di porto*, Settembre 1997.

Consiglio Regionale Veneto (1998) *Commissione Speciale per Venezia, Relazione sullo studio di impatto ambientale del progetto di massima degli interventi alle bocche lagunari per la regolazione dei flussi di marea*, 15 Maggio 1998.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (1996) *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, Edited by J.J. Houghton, L.G. Meiro Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell, Cambridge University Press, New York.

Magistrato alle Acque e Consorzio Venezia Nuova (1997) *Risposta al parere espresso dal gruppo di lavoro del Comune di Venezia*, Dicembre 1997.

Marzocchi, W., F. Mulargia (1996) *Scale analysis to sort the different causes of mean sea-level changes: an application to the northern Adriatic Sea*, Geophysical Research Letters, Vol. 23, no. 10, pp. 1119-1122.

Regione Veneto (1998) *Piano per la prevenzione dell'inquinamento delle acque del bacino idrografico immediatamente sversante nella laguna di Venezia*, Segreteria Regionale all' Ambiente, Venezia, Febbraio 1998.

Rusconi, A. (1983) *Il comune marino a Venezia*, Ministero dei Lavori Pubblici, Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque, Rapporto No. 157, Venezia.

Sfriso, A., A. Marcomini (1996) *Decline of Ulva growth in the lagoon of Venice*, Bioresource Technology, Vol. 58, pp. 299-307.

SIA (1997) *Studio di Impatto Ambientale del progetto di massima per gli interventi alle bocche lagunari per la regolazione dei flussi di marea*, Magistrato alle Acque e Consorzio Venezia Nuova, Venezia.

Sorokin, Y.U. (1998) *Report on the scientific results of the ecological studies carried out in the Venice lagoon*, August-October 1996, UNESCO, Ufficio di Venezia.

ALLEGATO

Elenco di persone e di rappresentanti di organizzazioni che hanno espresso le loro opinioni e preoccupazioni al Collegio (in ordine alfabetico)

Ing. Claudio Boniciolli, Presidente del Porto, Venezia
Prof. Massimo Cacciari, Sindaco di Venezia
Ing. Paolo Canestrelli, Centro Previsione Maree, Venezia
Prof. Giuseppe Creazza, Venezia
Dr. Gianfranco Dallaporta, CNR-ISDGM, Venezia
Prof. Bruno Dente, Milano
Prof. Cesare Dosi, Padova
Prof. Roberto Frassetto, Venezia
Prof. Emilio Gerelli, Pavia
Dr. Fortunato Guarnieri, Sindaco di Chioggia
Prof. Antonio Marcomini, Venezia
Prof. Bertrand Mareschal, Bruxelles
Dr. Sandro Rabitti, CNR, Istituto di Biologia Marina, Venezia
Prof. Gino Ravagnan, Venezia
Prof. Oscar Ravera, Pallanza
Prof. Andrea Rinaldo, Padova
Ing. Felice Setaro, Magistrato alle Acque, Venezia
Prof. Philippe Vincke, Bruxelles

Collegio dei Parroci di Venezia: Monsignor Mario Senigallia

Commissione Nazionale VIA: Prof.ssa Maria Rosa Vittadini (Direttore) e *Sotto-commissione della Commissione Nazionale VIA per il progetto di massima delle opere mobili alle bocche di porto:* Prof. Bernardo De Bernardinis (Relatore), Prof.ssa Andreina Zitelli, Dr. Carlo Giacomini, Dr. Romano Pagnotta, Dr. Giuseppe Castaldo, Dr. Sergio Malcevschi, Dr.ssa Maria Grazia Fusco

Comune di Venezia: Dr. Maurizio Calligaro, Dr. Armando Danella

Consiglio Regionale del Veneto, Commissione Speciale per Venezia: opinioni e preoccupazioni come espresse nella "Relazione sullo studio di impatto ambientale del progetto di massima degli interventi alle bocche lagunari per la regolazione dei flussi di marea", 15 Maggio 1998.

Consorzio Venezia Nuova: Ing. G. Mazzacurati, suoi collaboratori e subcontraenti (*Technital S.p.a.:* Ing. Alberto Scotti; *Thetis S.C.p.a.:* Ing. Antonio Paruzzolo)

Ecoistituto Veneto: Prof. Stefano Boato

Forum per la Laguna di Venezia: Prof. Angelo Marzollo, Prof. Giuseppe Bendoricchio

INSULA S.p.a.: Dr. Paolo Gardin (Presidente), Dr. Ivano Turlon (Direttore Generale)

Italia Nostra: Prof. Floriano Villa (Presidente), Arch. Giuseppe Rosasalva, Ing. Riccardo Rabagliati

Ordine e Collegio degli Ingegneri della Provincia di Venezia: Dott. Ing. Roberto Scibilia, Dott. Ing. Walter Gobetto, Dott. Ing. M. Lecis, Dott. Ing. G. Rossi, Dott. Ing. N. Marzetti
Provincia di Venezia: Sg.ra A.L. Furlan (Vice-Presidente), Ing. Arnaldo Deisvaldi
Regione Veneto: Ing. Roberto Casarin, Dr. Sandro Boato
Sovrintendenza ai Beni Architettonici, Culturali e Ambientali di Venezia: Dott. Arch. Roberto Cecchi, Arch. Mario Piana
UNESCO: Dr. Vladimir Kuuzminov, Dr. Ph Pypaert, Prof. Yuri Sorokin
Unione Commercio Turismo e Servizi della Provincia di Venezia: Sig. Loris Volpato, Sig. Massimo Albonetti
Unione Industriali della Provincia di Venezia: Sig. Dino Marzollo, Sig. Davino De Poli, Sig. Diego Lorenzon, Sig. Nicola Falconi, Sig. Italo Turdo, Sig. Damaso Zanardo
WWF: Dr. Paolo Perlasca