II.4 Affidabilità del Progetto

II.4.1 Strategia di gestione: previsioni delle maree, dei sopralzi e dei tempi di chiusura

II.4.1.1 Regole e procedure di chiusura

La strategia di gestione delle opere di regolazione delle bocche lagunari prefigurata nel Progetto e nel SIA[1] prevede che il futuro gestore attivi, assai preventivamente rispetto all'evento di marea paventato, una procedura di decisioni graduali seguendo la quale stabilisce il livello ed il momento di chiusura.

L'esito decisionale è funzione del 'tipo' di evento mareale previsto. Sono prefigurati cinque possibili tipi di evento mareale:
- quattro tipi di eventi 'ricorrenti' (classe 1) definiti come eventi con Tempo di Ritorno ≤10 anni. Tali eventi sono a loro volta suddivisi in base alla previsione di assenza o presenza di significativa piovosità (rispettivamente 1 A e 1 B) associata alla previsione di eventuale ventosità ("V"). Ai quattro tipi di eventi corrispondono quattro diversi livelli di chiusura: 90 cm, 80 cm, 75 cm, 65 cm, quota riferita qui e nel seguito allo Zero Mareografico di Punta della Salute (Z.M.P.S).
- un tipo unico di eventi 'estremi' (classe 2), definiti come eventi con tempo di ritorno >10 anni, ai quali corrisponde un livello di chiusura di 55 cm.

La classificazione degli eventi mareali avviene progressivamente in modo preordinato in base:
- alla previsione dell'altezza del livello massimo 'naturale' dell'evento;
- alla previsione dell'andamento temporale dell'evento mareale, ovvero in base
- all'istante di superamento del livello di +100 cm e alla durata del superamento di tale livello;
- all'ipotesi di piovosità lagunare durante l'evento mareale;
- all'ipotesi di vento lagunare durante l'evento mareale;
- alla misura dell'afflusso complessivo dal bacino scolante;
- all'andamento effettivo della marea in laguna e nel tratto di mare antistante.

Il processo decisionale di chiusura inizia nel momento in cui si prevede che entro 24 ore la marea naturale superi il livello di +100 cm. Allora viene effettuata una prima comunicazione alle Istituzioni interessate[2] e una prima ipotesi di classificazione parziale 'di primo livello' (classe 1 o classe 2). Tale ipotesi è basata solo sulle previsioni mareografiche relative all'evento di marea: livello massimo,

[1] La strategia di chiusura delle barriere è descritta nel SIA, Allegato 6, Tema 5, Cap. 7.2. Il Volume è dedicato, oltre che a questo tema, all'analisi degli apporti al sopralzo ed ai sistemi previsionali di marea.

[2] SIA, Sezione C, Quadro di Riferimento Progettuale, Volume 2, Cap. C3.5.4., pag. 431.

istante di superamento del livello +100 cm (istante t_1) e di ridiscesa al di sotto del medesimo livello.
Analoghe ipotesi di classificazione 'di primo livello' vengono reiterate alla 18.ma e 12.ma ora prima del previsto momento previsto t_1 (rispettivamente t_1-18 e t_1-12).
Successivamente, seguitando a prevedere l'evoluzione della marea 'naturale', viene ridefinito il previsto momento di superamento del livello +100 cm (istante t_2).
Con un anticipo di 9 ore rispetto a tale momento (t_2-9) viene effettuata una nuova classificazione parziale 'di secondo livello' (classe 1 o 2), che tiene conto anche delle rilevazioni e delle previsioni di piovosità e di afflusso dal bacino scolante.

In seguito, aggiornata ed integrata la previsione della marea 'naturale' con le informazioni sull'andamento mareale in laguna e nel mare, viene nuovamente fissato il previsto momento di superamento del livello di +100 cm (istante t_3).
Con un anticipo di 6 ore rispetto a tale momento (t_3-6) viene effettuata una nuova classificazione parziale 'di terzo livello' che stabilisce, questa volta in forma definitiva, l'appartenenza dell'evento alla classe 2 (evento di durata superiore a 11 ore o con colmo di marea superiore a 150 cm) oppure alla classe 1 (tutti gli altri eventi).

Se l'evento è di classe 2, il livello di chiusura risulta fissato a +55 cm. e viene quindi individuato anche il probabile momento di effettiva chiusura (t_3-a), dove "a" rappresenta il probabile anticipo di chiusura rispetto all'istante t_3.
L'anticipo in questione corrisponde al previsto tempo di risalita del livello della marea naturale dalla quota +55 alla quota +100 cm. Esso è ritenuto mediamente pari a 3 ore.
La decisione e il probabile momento di chiusura vengono quindi comunicati alle Autorità competenti.

Se l'evento è di classe 1, viene reiterata per altre due ore la previsione di marea e quindi viene nuovamente fissato il previsto momento di superamento del livello +100 cm (istante t_4).
A 4 ore prima di tale momento (t_4-4) viene effettuata un'ulteriore classificazione di dettaglio tra eventi di classe 1A ed eventi di classe 1B.
La classe 1A comprende gli eventi con prevista pioggia pari o inferiore ad 1 mm/h ed afflusso dal bacino scolante pari o inferiore a 150 mc/s.
La classe 1B comprende gli altri casi.
I conseguenti livelli di chiusura risultano fissati, rispettivamente, a +90 cm e +80 cm.
Viene quindi individuato anche il probabile momento di effettiva chiusura (t_4-a), dove 'a' rappresenta il probabile anticipo di chiusura rispetto all'istante t_4.
Tale anticipo corrisponde al previsto tempo di risalita del livello della marea naturale dalla quota +90 cm (oppure +80 cm) alla quota +100 cm; tempo ritenuto pari rispettivamente a 1 oppure 1,5 ore.

La classificazione definitiva viene decisa anche sulla base delle misurazioni e delle previsioni di vento in laguna, effettuate 3 ore prima dell'istante "t_4-a" (t_4-a-3).
Se risulta vento di bora o scirocco superiore a 15 m/s, le classificazioni "1A" e "1B" vengono mutate rispettivamente in: classe "1AV" , a cui corrisponde un evento come 1A ma con bora o scirocco a velocità superiore a 15 m/s; e classe "1BV" a cui corrisponde un evento come 1B ma con bora o scirocco a velocità superiore a 15 m/sec.

In presenza di vento i livelli di riferimento per la chiusura vengono abbassati di 20 e 15 cm, diventando quindi rispettivamente +70 e +65 cm.
Viene quindi individuato anche il probabile momento di effettiva chiusura (t_4-a_2), ovvero il nuovo probabile anticipo di chiusura 'a_2' rispetto all'istante t_4: anticipo corrispondente al previsto tempo di risalita del livello della marea naturale dalla quota +65 cm alla quota +100 cm.
La decisione e il probabile momento di chiusura vengono quindi comunicati alle Autorità competenti.

Inizia quindi la fase di chiusura.
Entro le 3 ore precedenti al previsto momento di chiusura vengono svolte tutte le operazioni preparatorie e preliminari necessarie.
Con un preavviso di 3 ore prima della chiusura[3], viene interrotto il traffico navale di attraversamento delle bocche.
Nel momento in cui la marea naturale in laguna raggiunge il livello stabilito inizia la chiusura vera e propria tramite sollevamento delle paratoie.
L'operazione avviene gradualmente, alternando quanto più possibile ogni paratoia sollevata a paratoie abbassate, iniziando ai lati e terminando al centro della barriera.
Per ultimo viene chiuso il varco centrale.
Il tempo necessario è di circa trenta minuti.

La chiusura delle paratoie decisa con il procedimento sopra descritto dovrebbe garantire, secondo il Proponente, che la risultante marea "chiusa" risulti sempre inferiore al prescelto livello di salvaguardia +100 cm.
Per marea "chiusa" si intende l'andamento del livello dell'acqua interna alla laguna.
Tale andamento è determinato dai possibili contributi apportati dal vento e dalla pioggia interni e da deflussi dal bacino scolante.
Alla determinazione dei livelli interni concorrono anche i flussi attraverso le paratoie in fase di chiusura e attraverso gli spazi residui ('traferri') tra le paratoie sollevate.

---

[3] Il preavviso di chiusura è di 3 ore (Progetto di massima, Cap. 2.8.4, pag. 42, delle Relazioni Tecniche dei Progetti delle varie bocche); l'interruzione vera e propria avviene invece 2 ore prima del sollevamento (SIA, Sezione C, Quadro di Riferimento Progettuale, Volume 2, Cap. C3.5.4, pag. 433).

La riapertura viene avviata nel momento in cui la marea "chiusa", in lenta crescita per il sopralzo interno, e la marea 'naturale' esterna, in fase definitivamente calante, raggiungono l'equilivello.
Con ordine inverso a quello di apertura, vengono quindi abbassate le varie paratoie.
La durata complessiva della fase di abbassamento è stimata in circa 15 minuti.
Qualora, prima di sollevare le paratoie, il livello di chiusura non venga raggiunto, la procedura può essere sospesa, in modo da riaggiornare le previsioni mareali ed eventualmente decidere di posticipare o anche revocare la chiusura

II.4.1.1.1 *Adeguatezza della procedura decisionale di chiusura*

La procedura decisionale proposta si fonda su tre principali componenti:
- una successione di reiterate previsioni dell'andamento nel tempo della marea 'naturale' nel periodo da 24 a 3 ore precedenti la prevista chiusura;
- una serie di rilevazioni, effettuate fino a 3 ore prima della prevista chiusura, dei fattori meteorologici ed idrologici che possono contribuire direttamente al sopralzo della marea interna;
- una classificazione in eventi mareali tipo, secondo prestabiliti criteri/soglia dimensionali dei fenomeni meteorologici, cui corrispondono prestabiliti livelli di chiusura.

Tutto ciò dovrebbe consentire, secondo il Proponente, strategie di gestione delle chiusure efficaci e con limitati margini di incertezza: ovvero chiusure non eccessivamente anticipate rispetto all'andamento effettivo di marea e riferite a livelli, per quanto prudenziali, non molto più bassi di quanto richiedano gli effettivi fenomeni di marea naturale e di sopralzi interni.
Il sistema di previsione dovrebbe garantire la limitazione del numero e della durata degli interventi di chiusura allo stretto necessario, con un elevato grado di efficacia e impatti moderati.

Per valutare l'effettiva capacità del sistema proposto di rispondere a tali requisiti occorre esaminare:
- il grado di affidabilità e le prestazioni del sistema
- le stime dei contributi al sopralzo dei livelli di marea 'interna'
- il calcolo degli anticipi, i livelli e i tempi di chiusura

II.4.1.2 Sistema di previsione di marea e margini di incertezza

II.4.1.2.1 *I modelli previsionali e le relative prestazioni*

Il modello di previsione dell'andamento della marea 'naturale' si presenta come il principale motore informativo della strategia di chiusura; ai suoi risultati, in particolare alle previsioni del colmo di marea e del suo andamento temporale, si riferiscono e si integrano anche tutte le successive previsioni di sopralzo.
Il Proponente non dispone ancora della versione definitiva del modello di previsione della marea che dovrà essere utilizzato per l'esercizio del sistema di chiusura della bocche. Attualmente sono in corso sperimentazioni, che riguardano due tipi di modelli:
- un modello di tipo '*deterministico*', che si basa sulla modellazione numerica dei livelli e delle correnti nella laguna di Venezia e nell'intero Adriatico, tenendo conto dei campi barici e di vento previsti, della marea astronomica e delle anomalie di livello previste nello Ionio.
- un modello di tipo '*statistico*' che utilizza correlazioni multip' degli eventi meteorologici e mareografici misurati sia locali che di area vasta.
Tale modello è del tutto simile a quello utilizzato ormai da alcuni anni per l'attività del Centro comunale di Previsione delle Maree del Comune di Venezia.

Il Proponente avanza una sintetica valutazione dei modelli di tipo 'deterministico': "*I risultati sin d'ora ottenuti in una fase preliminare di studio evidenziano che, quando le previsioni meteorologiche sono accurate, lo scarto tra i livelli osservati in laguna e quelli previsti dal modello deterministico è generalmente intorno ai 20 cm*" [4].

In riferimento al proprio modello 'statistico', in esercizio dal 1994 presso il Centro Maree del Comune di Venezia, il Proponente riporta nel SIA[5] notizie relative alle prestazioni: per maree superiori al livello +100 cm. Le previsioni a 6 ore di anticipo presentano una sottostima massima di 40 cm e una sovrastima di 20 cm. Le previsioni a 3 tre ore di anticipo mostrano un errore massimo di sovra e sottostima pari a ± 20cm. Non vengono tuttavia allegate tabelle o altre informazioni statistiche circostanziate[6].

---

[4] SIA, Allegato 6, Tema 5, pag. 101

[5] SIA, Allegato 6, Tema 5, pag. 100

[6] Tali misure appaiono non congruenti con i dati successivamente pubblicati dello stesso Proponente (vedi nota [16]).

In riferimento al modello 'statistico' sviluppato dal Comune di Venezia, il Proponente allega al SIA[7] un'analisi dei risultati previsionali relativi al decennio 1981-1991. Da essa risulta che il 95 % delle previsioni delle maree di colmo misurato = +80 cm ha presentato errori compresi:

- tra ± 15 cm, per previsioni con anticipo di 3 ore,
- tra poco meno di ± 20 cm, per previsioni con anticipo di 6 ore. Valori analoghi si registrano anche per previsioni con anticipo fino a 36 ore;

Gli errori massimi dell'intero universo delle previsioni sono compresi tra i seguenti valori di sottostima e di sovrastima:

- -23 e +18 cm, per previsioni con anticipo di 3 ore
- -43 e +35 cm, per previsioni con anticipo di 6 ore. Valori analoghi si registrano anche per previsioni con anticipo fino a 36 ore.

Gli intervalli di sovrastima e sottostima riferiti dal SIA riguardano i livelli del colmo di marea. Nel SIA non sono invece riferite verifiche di affidabilità e di errore per l'intero ciclo di marea, in particolar modo per quanto riguarda la previsione del momento di superamento del livello +100 e del momento di rientro entro lo stesso livello a fine marea [8].

II.4.1.2.2 *Le previsioni di marea nei documenti successivi al SIA*

Il Centro di Previsione delle Maree del Comune di Venezia[9] ha recentemente documentato una analisi statistica dei risultati delle previsioni mareali per Punta della Salute relative a 24 anni quasi continui, ottenuta applicando la versione più aggiornata del modello 'statistico'[10] alle serie storiche di valori meteomarini conservate presso il Centro stesso.

---

[7] Servizio Informativo del magistrato alle Acque di Venezia (a cura di), Comune di Venezia e Comune di Chioggia, *Descrizione dello "Stato di Fatto" delle componenti fisiche della laguna,* Volume 3 di 4 (Capitoli 10 e 11), *Il sistema dei Centri Abitati e delle previsioni delle Acque Alte,* Maggio 1996,.

[8] Tali informazioni risultano necessarie per la classificazione dell'evento e la fissazione del livello di chiusura.

[9] Canestrelli e Pastore, Modelli stocastici per la previsione del livello di marea a Venezia", Venezia, Comune di Venezia 1998 (Bozza di Stampa).

[10] 'Modello ESTESO alla previsione meteo, FOREC06', taratura per i soli mesi di ottobre, novembre, dicembre.

Da tale analisi risulta che, sull'intero universo delle maree, l'intervallo 2σ[11] è compreso tra:

- ± 10,0 cm, per previsioni con un anticipo di 3 ore,
- ± 11,5 cm, per previsioni con un anticipo di 4 ore,
- ± 13,0 cm, per previsioni con un anticipo di 6 ore,
- ± 14,5 cm, per previsioni con un anticipo di 24 ore.

Relativamente agli stessi intervalli orari, gli errori massimi di sottostima e sovrastima si attestano rispettivamente a:

- -35/+49 cm, per previsioni con un anticipo di 3 ore,
- -37/+64 cm, per previsioni con un anticipo di 4 ore,
- -47/+71 cm, per previsioni con un anticipo di 6 ore,
- -50/+76 cm, per previsioni con un anticipo di 24 ore.

In una recente pubblicazione il Proponente[12], ha espresso sinteticamente l'impianto logico, la risoluzione e i tempi di applicazione del modello deterministico sperimentale di cui è dotato[13].
Vi si afferma che il modello 'deterministico' presenta il pregio teorico di poter adeguatamente considerare fenomeni ed eventi meteorologici anche diversi da quelli storici statisticamente documentati.
Inoltre esso offre una notevole estensione geografica delle previsioni che comprendono, oltre alla laguna, l'intero mare Adriatico, sia pure con minore risoluzione.
Di tale modello deterministico tuttavia non vengono riferite statistiche di affidabilità; si afferma solo che*: "E' risultato un errore dello stesso ordine di quello del modello statistico*".

Nella stessa pubblicazione viene descritto per sommi capi un modello di previsione 'statistico'[14] analogo, per impianto teorico e per variabili-base impiegate, al modello sviluppato dal Comune di Venezia.
Si presenta la statistica delle risultanze previsionali del modello relative ad un periodo significativo, anche se breve[15]. Ne risulta che, per tutte le maree,

---

[11] σ = scarto quadratico medio degli errori di previsione; ± 2 σ è pari al doppio dello scarto quadratico medio ed entro questa misura ricade approssimativamente il 95 % dei casi osservati.

[12] G. Cecconi, P. Canestrelli, M. Di Donato, M. Cecchinato, 'I nuovi sistemi per la previsione dell'Acqua Alta a Venezia, Consorzio Venezia Nuova, Quaderni Trimestrali, nn. 3 e 4, luglio-dicembre 1997.

[13] La parte principale del modello deterministico è costituita dal Modello Idrodinamico Bidimensionale MIKE 21, messo a punto dal Danish Hydraulic Institute, esteso non solo alla Laguna di Venezia ma a tutto l'Adriatico; esso si alimenta delle previsioni meteorologiche redatte dai modelli d'area globale ed eventualmente locale, redatti dal ECMRWF di Reading (UK) e dall'ENEL-CRAM di Milano.

[14] Ultima versione implementata:' EXCO2' (1996).

l'approssimazione corrispondente a 2σ è compresa tra:
- ± 12 cm, per previsioni con un anticipo di 3 ore,
- ± 18 cm, per previsioni con un anticipo di 6 ore,
- ± 20 cm, per previsioni con un anticipo di 24 ore.

Se si limita l'analisi alle sole maree misurate = +80 cm, la stessa approssimazione 2σ è compresa tra:
- ± 15,5 cm, per previsioni con un anticipo di 3 ore,
- ± 24,0 cm, per previsioni con un anticipo di 6 ore, e in un analogo intervallo per previsioni con anticipo di 24 ore[16].

Il Proponente conclude che l'insieme delle strumentazioni disponibili "permette di conoscere, con buona affidabilità, la possibilità che si verifichino acque alte.... ". L'accuratezza del sistema consente di attivare i servizi di allerta con anticipo di 24 ore.

II.4.1.2.3. *Considerazioni*

Sulla scorta dei riscontri statistici considerati appare assai difficile raggiungere, anche nella prospettiva di un affinamento previsionale a medio termine, un margine di incertezza della previsione della marea "naturale"[17] inferiore a ±15-20 cm.

Tale difficoltà è verosimile anche per il modello sviluppato dal Comune di Venezia, che attualmente risulta più preciso di quello del Proponente e permane anche nel caso sia possibile ottenere una riduzione significativa proporzionale di tutti gli

---

[15] periodo 15 novembre - 31 dicembre 1996, 'periodo di ripetute perturbazioni di *storm surge*' ed acque alte

[16] Queste misure di incertezza previsionale 2σ sono superiori di circa il 20 % (sull'universo delle maree rispettivamente di 2 e 3 cm) a quelle del modello comunale ESTESO FOREC06, sopra descritte (rispettivamente 10 e 13 cm su tutte le maree). Considerato che tali misure sono riferibili al 95 % dei casi, e che nel suddetto modello comunale ad una misura di 2σ inferiore corrisponde un intervallo di errori massimi assai più ampio, addirittura doppio se non triplo, e considerata la similitudine d'impianto dei due modelli, risulta poco plausibile il contenimento degli errori estremi del modello del Proponente entro i ±20 cm, altrove (vedi precedenti note 5 e 6).

[17] Con marea naturale si intenda la marea prodotta dal libero fluire dell'onda di marea attraverso le attuali bocche, senza ulteriori regolazioni. In senso proprio nemmeno l'attuale marea è 'naturale', essendo essa frutto delle varie sistemazioni e regolazioni antropiche accumulate nella storia. Qui, con 'naturale' si intende solo sottolineare la differenza tra la marea attuale e quella eventualmente 'regolata' con sistemi mobili.

attuali errori, così da far rientrare anche quelli più gravi (il 5 % dei casi) entro quegli intervalli di incertezza[18].
Rispetto ai fenomeni mareali in questione, l'incertezza previsionale, quand'anche venisse così ridotta, rimane assai rilevante.

Dei 218 episodi di acqua alta rilevati nel trentennio 1966-1995 con livelli di colmo pari a +100 cm, approssimano per eccesso la soglia di +100 cm:

- oltre 6/10, entro 10 cm;
- quasi 3/4, entro 15 cm;
- oltre 4/5, entro 20 cm[19].

Nel periodo 1966-1994, 309 episodi di marea, pari a 1,5 volte gli episodi di acqua alta di livello pari a +100 cm, approssimano per difetto entro 10 cm la soglia di +100 cm; 1102 episodi di marea, pari a oltre 5 volte gli episodi di acqua alta di livello pari a +100 cm approssimano la medesima soglia per difetto entro 20 cm.

Un incertezza previsionale di ± 20 cm attorno al livello +100 cm appare quindi in grado di ridurre o aumentare, a seconda del segno, di cinque-sei volte la numerosità dei fenomeni da considerare, con una variazione tra le frequenze dei

---

[18] Una simile misura di riduzione dell'incertezza previsionale significherebbe ridurre a metà, se non addirittura ad un terzo, la dimensione dei più gravi attuali errori di previsione; un tale miglioramento previsionale, sulle dimensioni fisiche dei fenomeni meteorologici e mareali in questione appare certamente impegnativo e non scontato, se non altro nel breve-medio periodo.

Va segnalato in proposito come nè dal SIA nè da altre pubblicazioni risulti avviato uno studio analitico dei suindicati errori previsionali, che almeno cerchi di individuarne le componenti principali, oppure dei più importanti casi storici. Elementi di ulteriore incertezza previsionale potrebbero derivare dalla crescente frequenza di eventi complessi e di eventi meteorologici estremi, sia locali che d'area vasta, conseguenza della drammatizzazione delle dinamiche meteorologiche, riconosciuta quale prima rilevabile conseguenza dei cambiamenti del clima globale. Anche l'eventuale eustatismo, oltre all'innalzamento del tenore dei fenomeni meteomarini medi, potrebbe comportare accentuazione dei fenomeni estremi, una loro maggiore mutevolezza, intensità, velocità.
Per tutto questo, i succitati margini di incertezza di ±15-20 cm, già di per sè obiettivo ambizioso, non sembrano nel breve-medio periodo ulteriormente riducibili.

[19] cfr. Comune di Venezia, Definizione dei rischi derivanti dalle acque alte per l'abitato di Venezia, Stato Attuale di organizzazione della Città, Novembre 1996, allegato al SIA
Statistiche curate dal Centro comunale di Previsioni e Segnalazioni Maree:
Acque Alte di colmo = 100 cm nel periodo 1966-1995: 218 episodi, di cui:
- 133 episodi = 110 cm, 85 episodi > 110 cm
- 160 episodi = 115 cm, 58 episodi > 115 cm
- 179 episodi = 120 cm, 39 episodi > 120 cm

Ed ancora , Documentazione a cura del Centro Maree presentata in audizione ufficiale di istruttoria, 9/98 Periodo 1966-1997, medie annuali: 8,0 episodi di colmo = 100 cm:, di cui:
- 5 episodi = 110 cm.,
- 7 episodi = 120 cm.

casi eccedenti le due soglie estreme, in rapporto di 1 a 33. La corrispondente frequenza di eventi da intercettare attraverso la chiusura delle paratoie varierebbe quindi da poco più di uno all'anno a quasi 35-40 all'anno.

Un intervallo di ± 20 cm è ben superiore all'altezza media di allagamento e comparabile con l'altezza massima di allagamento della gran parte degli eventi di alta marea storicamente rilevati[20].

Risulta quindi evidente che l'incertezza delle previsioni relative agli episodi di marea medio-alta, per quanto possa essere ulteriormente ridotta rispetto a quella attuale, sia dello stesso ordine di grandezza, se non di maggiore ampiezza, della gran parte dei fenomeni di allagamento da acqua alta che secondo il Proponente dovrebbero essere controllati tramite la chiusura delle bocche.

A fronte di tale oggettiva difficoltà risulta scarsamente significativo richiamare i positivi esiti delle esperienze previsionali e gestionali di altri progetti o di altri sistemi di regolazione delle maree, quali il relativo successo del sistema comunale di allerta per la posa delle passerelle o i sistemi di previsione per la regolazione delle maree nel Mar del Nord[21].
Questi ultimi sono infatti pensati e dimensionati per evitare allagamenti catastrofici di estensione e di ampiezza di marea ben maggiori.
Sono sistemi di mitigazione flessibili, con limitato fabbisogno di preavviso, con danni da eventuali fallanze sempre moderati, locali, brevi e comunque transitori.
L'incertezza previsionale raggiunge in questi casi una proporzione assai più contenuta, rispetto alle dimensioni dell'escursione mareale, di quanto non raggiunga a Venezia, dove invece le dimensioni del problema 'allagamento' sono quasi sempre contenute entro qualche decimetro, e nemmeno in tutta la città.

L'approssimazione dei modelli di previsione appare quindi a tutt'oggi e per un orizzonte di medio periodo non sufficiente rispetto alla precisione indispensabile per rendere effettivamente possibile la strategia di chiusura che il Proponente prefigura, ovvero un anticipo previsionale minimo di 6 ore.

---

[20] Con livello di allagamento si intende l'altezza del livello dell'acqua sulla pavimentazione di livello inferiore; tale livello è la differenza tra la quota assoluta di marea e la quota minima di pavimentazione. Quest'ultima, secondo il Proponente, va progettualmente fissata a +100 cm.
Nell'anno medio del periodo ultratrentennale 1966-1997, rispetto alla pavimentazione giacente (o rialzata) al livello di 100 cm, i fenomeni di allagamento sono durati complessivamente 19 ore, ad un'altezza media pesata (elaborando i valori intermedi degli intervalli decimetrici) di 12,5 cm, un'altezza media di 13, ed un'altezza di colmo pesata (sulle intere durate degli allagamenti) stimabile tra i 20 e i 30 cm. (Elaborazioni dai dati del Centro Comunale Previsione e Segnalazione Maree, 1998, cit.).

[21] Un generico richiamo di rassicurazione ad analoghe esperienze, positivamente risolte, nel Mar del Nord era stato proposto dal Collegio degli Esperti Internazionali, cap. 4.3.2, pag. 19

L'ampiezza della maggior parte dei fenomeni mareali che si vogliono fronteggiare con il Progetto considerato sembra essere inferiore al 'minimo strumentale' di affidabilità e sicurezza di intervento, ne deriva una chiara sproporzione tra la finalità dichiarata e lo strumento concretamente disponibile per raggiungerla.

II.4.1.3 Contributi al sovralzo dei livelli di marea interna 'chiusa'

II.4.1.3.1 *I possibili contributi al sopralzo per vari tempi di ritorno*

A) Stima del contributo della pioggia in laguna

Il SIA ricostruisce le probabilità di contributo a diversi tempi di ritorno[22] sulla base delle stimate possibilità pluviometriche in coincidenza con gli eventi di marea.
A tal fine costruisce:
- le curve gumbelliane di possibilità pluviometrica sulla base delle serie storiche di 40-50 anni di rilevazioni delle precipitazioni massime di durata 1-3-6-12 ore in 5 stazioni lagunari o perilagunari in intervalli temporali diversi, comunque compresi nel periodo centrale di questo secolo;
- la statistica delle precipitazioni giornaliere in coincidenza con eventi di marea di colmo superiore a +110 cm rilevate nelle stesse stazioni nel periodo 1927-1995; la possibilità pluviometrica giornaliera ad un corrispondente TR di 67 anni, stimata sulla base della serie 1920-1990 delle stesse stazioni; il rapporto tra la precipitazione massima giornaliera rilevata in coincidenza con eventi di marea e la calcolata possibilità pluviometrica giornaliera generale (pari a 0.73);
- i rapporti, relativi alle diverse ore di durata, tra precipitazioni massime in coincidenza con maree di colmo > +100 cm e precipitazioni massime in generale (periodo 1979-1987, stazione del Lido), individuando quindi, tra questi rapporti, quello più elevato (0.5, per la durata di 6 ore).

Attraverso l'applicazione alle curve gumbelliane di un opportuno coefficiente di riduzione viene quindi stimata la possibilità di sopralzo lagunare determinato da pioggia in laguna ai diversi TR e per le diverse durate di precipitazione.

Risulta in tal modo quantificato un contributo di sopralzo pari a: 7 cm a TR10 anni; 12 cm a TR 100 anni; 13 cm a TR 200 anni.[23]

---

[22] nel seguito indicati come TR
[23] pag. 47 e Diagramma 3.2.5 pag. 48, Allegato 6 tema 5

B) Stima del contributo del vento

Il SIA ricostruisce le probabilità di contributo al sopralzo interno ai diversi TR, sulla base delle stimate possibilità di vento di bora (0-90° N) e di scirocco (110-180° N) in coincidenza con gli eventi di marea.
A tal fine costruisce:
- la curva di uguale probabilità congiunta (cioè di pari tempo di ritorno) di velocità e durata del vento di bora sulla base delle statistiche di vento della stazione di S. Nicolò/Tessera 1995-1993. Ad essa non corrispondono eventi estremi di marea, ma differenze di livello di marea positive di misura rilevante in laguna sud. Di tali eventi ai diversi TR quelli di durata di 6 ore sono ritenuti di massima possibile intensità di vento in grado di causare sopralzo a Chioggia. Infatti per durate inferiori non si sviluppa tutto il possibile effetto di sopralzo e per durate superiori si riduce la possibile velocità;
- la curva di probabilità del vento di scirocco, alla quale corrispondono, sia per intensità che per durata, eventi estremi di marea;
- un modello di simulazione della circolazione della corrente e quindi dei livelli di marea in laguna in funzione del vento, basato sul modello idrodinamico bidimensionale agli elementi finiti cui viene applicato lo sforzo tangenziale dovuto al vento[24].
Attraverso tale modello sono stati stimati i possibili sopralzi a Chioggia e a Venezia, rispettivamente con vento di bora e di scirocco, in occasione ed alle condizioni di contorno degli eventi di acqua alta del periodo 1955-1993, ipotizzando la chiusura delle bocche.
Da tali stime sono stati calcolati, ai diversi TR, i possibili livelli di sopralzo a Chioggia e a Venezia, rispettivamente con vento di bora (40-60° N) e di scirocco (130-150° N) contemporaneo agli eventi di marea e di velocità corrispondente alla massima possibile agli stessi TR.

Le stime del contributo al sopralzo nel momento di massima entità per il vento di bora (sopralzo a Chioggia) sono:
- per TR 10 anni , 15 cm con direzione 50° N; 13-16 cm con direzione 60°-40°N;
- per TR 100 anni, 30 cm con direzione 50°N , 25-33 cm con direzione 40°-60°N;
- per TR 200 anni, 35 cm con direzione 50°N, 29-38 cm con direzione 40°-60° N

Le stime del contributo al sopralzo nel momento di massima entità per il vento di scirocco (sopralzo a Venezia) sono:
- per TR 10 anni, 2 cm con direzione 140°N, 1-3 cm con direzione 130°-150°N;
- per TR 100 anni, 6 cm con direzione 140°N, 2-8 cm con direzione 130°-150°N;
- per TR 200 anni, 8 cm con direzione 140°N, 3-10 cm con direzione 130°-150°N.

[24] Lo sforzo tangenziale dovuto al vento è proporzionale al quadrato delle velocità del vento in rapporto al coefficiente di attrito aria-acqua massimo tra quelli stimati per l'intervallo delle velocità di vento possibili

Per gli eventi di scirocco, il contributo massimo si verifica al colmo, ovvero quando il sopralzo determinato dagli altri fattori di contributo è minore, mentre al momento della riapertura esso scende ai seguenti valori:
TR10 anni: 3 cm; TR100 anni: 2 cm, TR200 anni: 2 cm[25].

C) Stima del contributo dalle bocche durante il sollevamento delle paratoie

Il SIA calcola la portata che transita durante la fase di sollevamento delle paratoie assumendo le seguenti ipotesi:
- che si verifichi una riduzione lineare della sezione di deflusso delle bocche, di durata 30 minuti;
- che la portata dell'insieme delle bocche sia funzione, oltre che della sezione di deflusso e del coefficiente di deflusso alla sezione, del gradiente di marea (Δh/ora),

Alle suddette condizioni il SIA stima che la portata transitante in fase di sollevamento sia pari a quella transitante, a parità di gradiente, in 1300 secondi nella sezione libera. La stima del possibile contributo al sopralzo come sopra delineato, assunta come costante la superficie acquea lagunare, risulta quindi funzione del gradiente di marea.
Sulla base della curva della frequenza di superamento del gradiente massimo delle alte maree di colmo > 100 cm nella fase antecedente il superamento di tale livello (ricavata dalle rilevazioni 1955-1993).
Viene quindi costruita la curva della probabilità di superamento di vari livelli di sopralzo: con probabilità del 50 % si supera un sopralzo di 5,5 cm; con probabilità del 2 % si supera un sopralzo di 7,8 cm; con probabilità dell'1 % si supera un sopralzo di 8,1 cm[26].

D) Stima del contributo dal bacino scolante
[si veda il capitolo specifico "Bacino Scolante"]

E) Stima del contributo da traferri

Il SIA:
- definisce il volume d'acqua transitante in ogni momento durante la chiusura attraverso i "traferri" (ovvero gli spazi vuoti tra le paratoie) in funzione della loro sezione complessiva, del coefficiente di deflusso (composto in relazione alle

---

[25] Tali valori sono desumibili dai diagrammi di Fig. 3.6.12.a e .b..
Dal testo di commento risultano letti invece valori solo medi, leggermente diversi:
Scirocco (sopralzo a Venezia): TR 10: n.r.; TR 100: 29 cm, TR 200: 33 cm
Bora (sopralzo a Chioggia): TR 10: 4 cm; TR 100: 7 cm, TR 200: 8 cm

[26] Allegato 6, Tema 5, diagramma 3.4.2.b, pag. 62..

diverse perdite di carico: continua, d'imbocco e di sbocco) e del dislivello istantaneo tra i due lati della paratoia;
- quindi integra tale portata istantanea nelle modalità e nel tempo di evoluzione della marea; - - infine applica questa funzione nella simulazione del passaggio attraverso i traferri durante le ipotetiche chiusure corrispondenti agli eventi d'acqua alta 1955-1993 (al livello +85 cm e con coefficiente unico di deflusso per le varie barriere).

Con i risultati di tale simulazione il SIA costruisce quindi la correlazione tra durata dell'acqua alta e entità del corrispondente sopralzo interno finale della laguna determinato dalle perdite di tali traferri, a sua volta funzione dal volume d'acqua transitato.
Ne deriva una stima di sopralzo massimo, per gli eventi con durata inferiore alle 11 ore, ovvero con TR a 10 anni, pari a circa 3 cm e di un massimo sopralzo per gli eventi con TR superiore, pari a circa 7 cm.

F) Stima del totale complessivo dei massimi possibili contributi al sopralzo

Dalle stime dei diversi possibili contributi al fenomeno del sopralzo della marea interna 'chiusa' (ovvero a bocche chiuse, rispetto al livello di inizio chiusura), il Proponente ricava una tabella finale sinottica dei possibili massimi contributi.

I valori complessivi risultano i seguenti:
Con Bora (sopralzo a Chioggia): TR 10 anni: 31 cm; TR 100 anni : 44 cm, TR 200anni : 48 cm
Con Scirocco (sopralzo a Venezia, contributo del vento al momento della riapertura): TR 10 anni : 23 cm; TR 100 anni: 35 cm, TR 200 anni: 39 cm [27]

In ipotesi di eustatismo, per le maggiori durate delle fasi di marea di livello pari a +100 cm, tali sopralzi risulterebbero incrementati di 3-5 cm.

II.4.1.3.2 *Considerazioni sulle stime dei possibili contributi massimi al rialzo: eventi 'estremi'* [28]

A) Il contributo 'da sopra' e 'da dietro': pioggia in laguna e nel bacino scolante

Va innanzitutto richiamato il rilevante grado di incertezza che deriva alla determinazione della probabilità statistica degli eventi estremi dalla loro limitata

[27] Allegato 6. Tema 5, Tab. 3.7.1, pag. 96

[28] Il Proponente classifica come eventi "ricorrenti" quelli con durata inferiore a 11 ore e livello del colmo di marea inferiore a 150 cm; "eccezionali" tutti gli altri. SIA, Allegato 6, Tema 5, Cap. 5.1, pag. 114.

ricorrenza. Sui fortunatamente pochi eventi di questo tipo sussistono inoltre non marginali carenze di rilevazione e approssimazioni conoscitive. E' noto come in tali casi la scarsa rappresentatività del campione comporta una rilevante sensitività delle previsioni anche al verificarsi o meno di un unico evento; ed è altrettanto noto come, prudenzialmente, da ciò derivi la necessità di un margine di sicurezza previsionale rilevante.

Queste considerazioni valgono per la stima delle probabilità congiunte di eventi di pioggia estrema e di alta marea estrema quali quelli utilizzati dal Proponente per stimare le dimensioni degli eventi di acqua alta eccezionale entro il TR considerato. In tali casi, per la limitata occorrenza e per l'elevata gravità e pericolosità dell'evento, non appare fuori luogo utilizzare per la stima le probabilità semplici o comunque coefficienti di correzione tali da garantire fattori di sicurezza sufficientemente ampi [29].

La stima del contributo meteorico da pioggia in laguna e nel bacino scolante avanzata dal SIA, pari a 23 cm con TR di 100 anni, o 26 cm con TR di 200 anni, appare contrastante con altre stime, se paragonate all'evento del 4/11/66. Le diverse fonti, seppur con quantificazioni dei contributi unitari non esattamente corrispondenti e con diversi approcci metodologici, appaiono convergenti su un valore di contributo al rialzo dei livelli di marea dovuto alla pioggia in laguna e sul bacino scolante complessivamente non inferiore a 35-36 cm.[30]

In particolare appare rilevante e discutibile l'esclusione, nella ricostruzione avanzata dal Proponente e ritenuta 'ragionevole' dal Collegio degli Esperti internazionali, dell'apporto sostanziale della piena dei fiumi Sile e dell'idrografia principale delimitante il bacino scolante per un potenziale sopralzo quantificato tra 6 e 11 cm. Tale apporto appare necessario per la sicurezza idraulica del bacino scolante e non eliminabile (si veda in proposito il Capitolo sul Bacino Scolante).
Altra osservazione va effettuata rispetto alla stima della portata massima del bacino scolante in condizioni ordinarie (ovvero senza apporti esterni da Sile, o Piave, o Brenta). Le stime sono elaborate da rilevazioni ormai datate[31] e derivate da metodologie parametriche, che non hanno considerato la crescente

---

[29] ben superiori a quelli che, alla verifica finale, risulteranno raggiunti da questo Progetto:
- Fattore di Sicurezza 1,2 per l'evento eccezionale con TR 200,
- Fattore di Sicurezza 1,4 per l'evento con TR 100
(SIA, Allegato 6, Tema 5, pag. 141).

[30] Rusconi, La difesa idraulica della Laguna, in La laguna di Venezia, a cura di Forum, Filippi Editore, Venezia, 1996; Canestrelli, Pirazzoli, Rusconi, Documento per il Gruppo Tecnico del Comune di Venezia, 1994.

[31] Cfr. Cavazzoni, La Laguna: origine ed evoluzione, in Autori Vari (a cura di), La laguna di Venezia, Unesco CIERRE edizioni, 1995, pg., 70, che aggiorna, in sensibile aumento, la propria precedente stima del 1973 (in CNR, Cavazzoni, Acque dolci nella laguna di Venezia, Venezia, Aprile 1973).

approssimazione per difetto di siffatte stime territoriali in condizioni di riconosciuta crescente impermeabilizzazione del suolo e riduzione dei tempi di corrivazione.

B) Il contributo 'dal mare' durante la fase di sollevamento e la fase di chiusura

Il passaggio attraverso le paratoie in fase di sollevamento e, attraverso i traferri, durante la chiusura è stato stimato deduttivamente e verificato, parzialmente, solo in un modello fisico ridotto.
La stima operata dal Proponente per il flusso durante la fase di sollevamento delle barriere appare almeno preliminarmente plausibile. Tuttavia va approfondita e verificata l'ipotesi di riduzione dell'intensità e del conseguente sopralzo in occasione di eventi estremi di acqua alta rispetto all'universo degli eventi, riduzione plausibile (in funzione del probabile minore gradiente) ma che non appare documentata.

Viceversa appare sottodimensionata la stima relativa ai passaggi attraverso i varchi tra le paratoie durante il periodo di chiusura, soprattutto per il rischio di oscillazione delle paratoie non in fase e del conseguente aumento di superficie dei varchi di libero deflusso. Circostanza sottolineata con evidenza anche dal Collegio degli Esperti Internazionale
Nelle condizioni proposte dal Progetto, il possibile contributo al sopralzo lagunare 'chiuso' nel peggiore caso di evento eccezionale potrebbe oscillare da 5 cm (possibile) a 23 cm (improbabile, ma non escluso).
Ulteriori stime potrebbero far risultare portate d'acqua passanti attraverso le bocche chiuse ancora maggiori, per di più per intensità di oscillazioni fuori fase delle singole paratoie addirittura inferiori a quelle pure considerate 'possibili' dallo stesso Collegio.

C) Gli 'spostamenti d'acqua interna': sopralzi differenziati da vento

Solo di recente si è iniziato a misurare con attenzione il fenomeno dei sopralzi differenziati dovuti al vento.
Va preliminarmente osservato come appaia poco cautelativo l'assunto del SIA di un prevalente apporto 'esterno' (dal mare) al fenomeno del sopralzo verso Chioggia rilevato in condizioni di bora. Ovvero l'ipotesi che il corrispondente sopralzo trasversale del mare, trasmesso in laguna attraverso la bocca di Chioggia, sia sempre più pronunciato del sopralzo apportato in laguna dal solo vento interno. Quanto meno appare da verificare la coincidenza di fase dei due fenomeni[32].

[32] Dal tentativo di ricostruzione dell'andamento mareografico del giorno 8 dicembre 1992 operato dal Proponente, in un apposito approfondimento del SIA (Allegato 6, Addendum, Parte Seconda), tale fenomeno di sopralzo marino dominante su quello lagunare risulterebbe verificato anche nel caso in cui altri autorevoli esperti ipotizzano documentatamente il contrario (cfr. note 34, 35, 36, 37). Tuttavia la ricostruzione, con la quale si vorrebbe escludere la possibilità di un significativo se non addirittura prevalente apporto interno lagunare al sopralzo

La stima quantitativa del fenomeno effettuata dal Proponente a questo proposito deriva quasi solo da una simulazione modellistica degli effetti sui livelli acquei di un vento unidirezionale parametrico. Tale modellizzazione, implementata e sperimentata per gli effetti dei campi di vento nell'intero Adriatico, appare da verificare ai fini dell'applicazione alla diversa scala e morfologia lagunare.
Per quanto riguarda gli aspetti quantitativi, nella tavola sinottica dei possibili fenomeni di sopralzo estremo[33], il contributo di sopralzo da vento di bora a Chioggia-Vigo relativo agli eventi con TR 100 anni e TR 200 anni risulta quantificato rispettivamente in 21 e 22 cm. Tali misure sono inspiegabilmente ridotte rispetto al diagramma di correlazione tra TR del vento e conseguente contributo di sopralzo [34]nel quale i valori corrispondenti (pari a vento di intensità 21 e 22 m/s) ammontano rispettivamente a 30 cm e 35 cm in media, variabili rispettivamente tra 25 e33 cm e tra 29 e 38 cm in funzione della variazione della direzione del vento di ± 10° rispetto alla direzione media.

Questi ultimi valori sono quasi doppi di quelli considerati nell' citata sintesi tabellare del SIA, ripresa dal Collegio degli Esperti Internazionali[35]. Tuttavia sono valori convergenti con alcune importanti misurazioni[36] che hanno recentemente quantificano gli estremi di colmo dei sopralzi differenziali da bora, rispetto a Punta Salute e durante lo stesso evento, fino a circa + 40 cm in laguna Sud e circa -40 cm in laguna Nord.

Valori dello stesso ordine di grandezza sono ricostruiti da un altro modello matematico di simulazione degli effetti del vento in laguna[37].
Tale modello ha utilizzato le effettive rilevazioni di direzione e stress di vento effettuate da diverse stazioni meteorologiche lagunari durante casi reali di acqua alta con bora. La simulazione degli eventi reali così effettuata quantifica valori di sopralzo differenziale di -55 cm in laguna Nord e + 45 cm. in laguna Sud.
In presenza di tali valori può risultare confermato il fenomeno, solo di recente scientificamente considerato, di livelli interni lagunari presso la bocca di Chioggia più elevati di quelli del mare, nonostante la fase di alta marea crescente. In presenza di bora si configura infatti una corrente lagunare proveniente dalle altre zone e dalle altre bocche di Lido e Malamocco, dove l'acqua continua da entrare

---

su Chioggia, è operata con interpolazioni e correzioni di basi dati insufficienti, e non appare adeguata a provare quella ipotesi.

[33] Allegato 6. Tema 5, Tab. 3.7.1.b, pag. 96
[34] Allegato 6. Tema 5, Fig. 3.6.12.a
[35] Rapporto del Collegio degli Esperti Internazionali, Tabella 4, Cap. 4.3.1, pag. 17

[36] Ferla-Rusconi (Serv. Idrogr. Mareogr. Naz.) L'evento di Acqua Alta 921208 in laguna di Venezia, indagine sui sovralzi differenziati, Venezia 1994.

[37] Zecchetto-Umgiesser (CNR), Brocchini (Univ. Bristol), Il livello dell'acqua nella laguna di Venezia: l'effetto del vento, Preprint CNR- Sistema Lagunare Veneziano, 1998 (atti omonimo convegno 27-31/5/96).

per il richiamo del vento trasversale che sta svuotando la laguna, verso la laguna Sud presso la bocca di Chioggia, dove l'acqua alta, insaccata, si attesta su livelli più elevati di quelli del mare alla bocca e quindi continua a defluirne, con movimento contrario a quello delle altre bocche, fino a che il vento la mantiene internamente sostenuta.

Anche di tale fenomeno di circolazione acquea lagunare si è recentemente iniziata la caratterizzazione quali-quantitativa.
E' noto ed ufficialmente commentato[38] è il caso dell'evento complesso di marea dei giorni 7-10/12/92, durante il quale, in presenza di bora dominante, il fenomeno si sarebbe ripetutamente verificato per un totale di circa 20 ore.
Anche di questo evento sono state studiate e completate alcune ricostruzioni modellistiche sulla base delle rilevazioni del vento e delle correnti reali[39].
Gli autori ne hanno ricavato esplicite indicazioni di grande prudenza progettuale, prima ancora che gestionale, rispetto a qualsiasi ipotesi di regolazione della marea alle bocche.

Quanto al fenomeno di direzione contraria, ovvero del vento di scirocco che sospinge l'acqua dalla laguna Sud verso il resto della laguna, opportunamente il SIA segnala che esso è altamente correlato con gli eventi di alta marea in tutta la laguna eccezionalmente pronunciati e prolungati nel tempo, ovvero quasi tutti gli eventi con TR>10 anni, per velocità del vento del tutto comparabili con quelli di bora.
Il Proponente tuttavia non ha ritenuto di approfondirne le implicazioni rispetto alla laguna Nord. Anche per tale tipo di eventi le rilevazioni disponibili sono certamente poche, non tanto però da giustificare l'evidente minimizzazione della questione[40].

Tale minimizzazione è invece riscontrabile nelle previsioni di sopralzo differenziato da scirocco effettuate nel SIA[41] e riprese nel Rapporto del Collegio degli Esperti Internazionali, che sono riferite esclusivamente al mareografo di Punta Salute. Ed è anche riscontrabile nelle verifiche sulla rappresentatività del livello medio mare e

---

[38] Ferla-Rusconi, 1994, cit.

[39] Zecchetto Umgiesser Brocchini, 1998, cit.

[40] "Per analizzare gli effetti del vento nella situazione attuale si sono utilizzate misure contemporanee di vento e di livelli in laguna ... [considerando] solo venti di bora, poichè è in queste condizioni che si ha la maggiore inclinazione dello specchio acqueo della laguna" (SIA, Allegato 6, Tema 5, pag. 81).

[41] Le previsioni di sopralzo da scirocco (3 cm, 2 cm, 2 cm, ai diversi TR e all'istante di riapertura delle barriere) sono riferite nell'Allegato 6, Tema 5, tab. 3.7.1.a ; esse sono riprese, quanto meno per gli eventi estremi, nel Rapporto del Collegio degli Esperti Internazionali, pg. 17.

sugli scostamenti rispetto a Punta Salute da parte dei diversi mareografi interni, che non esaminano eventi di intenso e prolungato vento di scirocco[42].

Eppure le segnalazioni storiche di eventi con pronunciati sopralzi differenziali positivi in laguna nord in condizioni di sostenuto vento di scirocco sono diverse ed attendibili. Tra di esse sono importanti:
- le rilevazioni dell'evento 1/2/86, ove il sopralzo differenziato della laguna settentrionale e centro occidentale fu superiore di circa 10 cm rispetto al quello registrato a Punta Salute[43];
- le concordanti segnalazioni tecniche relative ai sopralzi differenziati durante l'evento del 4/11/66, ovvero alla pronunciata depressione del livello di Chioggia (finanche di 30 cm più basso rispetto a Punta Salute) e i corrispondenti elevati livelli in laguna Nord, eccezionalmente più pronunciati anche rispetto a Venezia, Punta Salute.

Ciò ha fatto addirittura ipotizzare che l'ultimo colmo di marea del giorno 4/11/66 registrato a Punta Salute, ovvero l'ultimo balzo di 20 cm fino al massimo storico dei 194 cm, sia stato determinato dalla contemporanea caduta del vento di scirocco e quindi del riversarsi pressochè subitaneo sulla laguna centrale del sopralzo differenziato accumulato fino ad allora sostenuto in laguna nord proprio dal vento[44].

Il Proponente non pare considerare con sufficiente prudenza le conseguenze di simili eventi rispetto alla prospettata strategia di chiusura delle bocche.

D) La stima complessiva

La sommatoria proposta dal Proponente circa i massimi possibili contributi di sopralzo, nell'evento estremo considerato ai TR assunti, ammonta per Venezia Punta Salute, nel caso di evento con vento di scirocco, a circa 30-32 cm di possibile sopralzo totale[45].
Su tale valutazione il Collegio degli Esperti internazionali esprime un giudizio generale di 'accettabilità' e 'ragionevolezza'[46].

---

[42] SIA Allegato 6, Tema 5, Cap. 6. Valutazione dell'invaso disponibile dopo la chiusura, pag. 127-137.

[43] Rusconi, La difesa Idraulica della Laguna, 1996, cit., pag. 87

[44] Da osservazioni e segnalazioni riferite dall'ing. Rusconi nell'incontro avuto con il G.I. della Comm. Via durante l'istruttoria.

[45] In sintesi:
- 23-26 cm per pioggia in Laguna ed afflusso dal Bacino Scolante,
- 4-5 cm per portata transitante in bocca durante il sollevamento
- 2 cm vento di scirocco. (riferimento a Punta della Salute)

[46] Collegio degli Esperti Internazionali, Rapporto, Cap. 4.3.1

Viceversa, le considerazioni sopra richiamate fanno apparire sensibilmente sottodimensionata tale stimata sommatoria. Per quanto riguarda le isole della laguna settentrionale e centro-occidentale tale stima sembrerebbe doversi attestare prudenzialmente più attorno ai 50 cm che non ai 30 cm riferiti a Punta della Salute. Per quanto riguarda Chioggia nei casi di eventi con vento di bora, l'analoga stima quantifica una possibile sommatoria di contributi massimi di 41-45 cm [47].

Ne deriva la possibilità, ai dati TR, di un sopralzo complessivo totale riferibile indicativamente più all'intervallo 50-60 cm. che non ai 40-45 indicati dal SIA

L'una e l'altra stima prescindono dal possibile contributo dell'afflusso attraverso le paratoie in risonanza non in fase. Si intende così ammettere che il problema della risonanza fuori fase possa essere efficacemente ed integralmente risolto come auspicato dal Collegio degli Esperti internazionali. Anche prescindendo qui dalla concretezza di tale possibilità e dalle sue potenziali conseguenze in termini progettuali e gestionali.

Viceversa non sembra facilmente riducibile, per le esigenze di minima tolleranza costruttiva e cantieristica, il deflusso da traferri, quantificato dallo stesso SIA in 5-7 cm a Venezia in presenza di scirocco e in circa 3 cm a Chioggia in presenza di bora. Con l'apporto di tale contributo le stime di possibile sopralzo massimo complessivo ammonterebbero indicativamente a circa 50-55 cm circa per Venezia (isole della laguna centro settentrionale) e 55-60 cm per Chioggia-Vigo.
Ma anche senza considerare tale ultimo contributo, l'entità complessiva dei massimi sopralzi come sopra quantificati appare superiore di circa 15-20 cm, ovvero del 40-50 %, rispetto ai 32 e 45 cm ipotizzati dal SIA
L'entità della discordanza e la minimizzazione del problema non possono non destare dubbi sull'affidabilità del Progetto, ovvero sulla sua capacità di conseguire gli obiettivi assunti con le modalità dichiarate.

II.4.1.3.3 *Considerazioni sulle stime dei possibili contributi massimi al sopralzo: eventi 'ricorrenti'*

Le considerazioni sopra esposte sulle stime dei contributi al sopralzo relative agli eventi "estremi" comprendono utili indicazioni anche rispetto agli eventi "ricorrenti".
In particolare apparirebbe opportuno verificare:
- le previsioni di pioggia, per le quali approssimazioni e adattamenti alle statistiche disponibili non rendono sufficientemente prudenziale il risultato, specie in termini di probabilità congiunta;

---

[47] In sintesi: – 15-18 cm per pioggia in Laguna ed afflusso dal Bacino Scolante,
– 5 cm per portata transitante in bocca durante il sollevamento
– 21-22 cm vento di bora. (riferimento a Chioggia-Vigo)
Anche a tale stima il Collegio degli Esperti Internazionali accorda un giudizio analogo al primo.

- l'intensità del fenomeno massimo di afflusso tra le paratoie in fase di sollevamento, che lo stesso SIA[48] valuta in misura superiore, anche se di poco, a quanto riportato dalla stessa sintesi del SIA (e dal Collegio degli Esperti internazionali).

Tuttavia, trattandosi di eventi di più moderata caratterizzazione, ben più che sulle dimensioni assolute del possibile sopralzo, la criticità si colloca sulle capacità e precisioni previsionali della marea 'naturale'. I margini di incertezza delle previsioni eguagliano e superano nella maggior parte dei casi, come si è detto, le misure reali dei possibili allagamenti urbani.

II.4.1.4 Calcolo degli anticipi, livelli e tempi di chiusura

Il SIA utilizza le risultanze dello studio sulle entità dei sopralzi per la ricostruzione dei sopralzi interni estesa all'intera serie dei 276 eventi di acque alte storiche di colmo superiore ai +100 cm. del periodo 1955-1993 ([49]), q··'ificati come "ricorrenti". L'obiettivo è di stabilire i necessari abbassamenti del livello di chiusura delle paratoie, adeguati per mantenere il livello del mare interno laguna a bocche chiuse entro la quota di +100 cm durante tutta la durata delle ipotetiche chiusure.

Il SIA applica quindi le funzioni causali individuate tra fenomeni meteorologici e meteomarini e contributi di sopralzo alle serie storiche di rilevazioni mareografiche e meteorologiche locali o d'area vasta contemporanee agli eventi di Acqua Alta.
Dalle stime dei sopralzi complessivi ricostruiti "ex post", ovvero al netto delle incertezze previsionali e di un coefficiente di sicurezza, il Proponente indica la distribuzione cumulativa, individuando un livello di chiusura a +93 cm ritenuto adeguato al 50 % dei casi[50].

Introducendo poi alcune correzioni cautelative al calcolo dei sopralzi per tener conto delle incertezze previsionali di pioggia e di vento sulla laguna[51], nonchè delle

---

[48] Allegato 6, Tema 5, Fig. 3.4.2.b

[49] SIA, Allegato 6, Tema 5, Cap. 5

[50] SIA, Allegato 6, Tema 5, pag. 118 e Figg. 5.1.1 (pag. 119). Dal diagramma si rileva anche che il livello di chiusura a +88 cm sarebbe stato considerato adeguato al 95 % dei casi.

[51] Per la pioggia in laguna, incrementi di intensità corrispondenti ai differenziali tra precipitazioni precedenti e precipitazioni contemporanee all'evento, rilevati nel periodo 1979-1987 alla stazione del Lido.
(SIA, Allegato 6, Tema 5, pag. 120 e Figg. 4.4.1)
Per il vento, incrementi del 20 % della velocità, sulla base di considerazioni effettuate sulle accelerazioni del vento rispetto alla velocità iniziale rilevate nel periodo 1955-1993 alle stazioni di S. Nicolò e Tessera
(SIA, Allegato 6, Tema 5, pag. 120 e Figg. 4.4.3).

incertezze delle previsioni della marea[52], sarebbero stati considerati adeguati i livelli di chiusura a:
- +90 cm, per il 50 % dei casi,
- +75 cm, per il 100 % dei casi, con un anticipo massimo di circa 2 ore[53].

Da tale verifica il Proponente deriva l'indicazione dei necessari livelli di chiusura per classi di eventi tipo, differenziati per intensità di pioggia in laguna o nel bacino scolante e per velocità del vento. Deriva inoltre l'indicazione dei necessari anticipi medi della chiusura rispetto al momento di superamento del livello di salvaguardia fissato a + 100 cm. Tali valori per i casi più critici, 4-5 % dei casi, risultano di circa 10 cm. più bassi (ovvero con chiusure a livelli di + 70 o +65 cm) rispetto ai livelli ipotizzati sulla base delle stime quantitative parametriche al fine di tener conto delle probabilità composte di somma di contributi massimi.[54].
Con procedimento analogo il Proponente ha individuato "ex post" i livelli di chiusura necessari in caso di eventi estremi (classificati di 'classe 2'). Si ritiene adeguata la chiusura a + 65 cm (con scirocco) o a +74 cm (con bora), per gli eventi con TR 100 anni e la chiusura a +61 cm (con scirocco) o +69 cm (con bora) per gli eventi con TR 200 anni.

Questi livelli corrispondono a sopralzi complessivi rispettivamente di:
- 35 cm (con scirocco) o 26 cm (con bora), per eventi con TR 100
- 39 cm (con scirocco) o 31 cm (con bora), per eventi con TR 200

Gli anticipi di chiusura corrispondenti variano tra 2 e 3 ore.
In modo analogo, sulla base dell'esame di alcuni casi tipo, il Proponente indica il livello di chiusura a + 55 cm come adeguato per tutti gli eventi di 'classe 2', con conseguente anticipo medio di circa 3 ore. Ottiene in tal modo 'coefficienti di sicurezza'[55] medi dichiarati tra 1,4, per eventi con TR 100 anni e 1,2 , per eventi con TR 200 anni.

---

[52] innalzamento di 20 cm verso l'alto del mareogramma, ridefinendone la durata su livello superiore a + 100 cm e quindi, su quest'ultima, i diversi contributi a sopralzi.

[53] Dai diagrammi di Fig. 5.1.2 risulta precisamente che l'anticipo sarebbe stato considerato adeguato per il 50 % dei casi se di 50' e per il 100 % dei casi se di 2 h e 20', e risulta anche che sarebbe stata considerata adeguata per il 95 % dei casi una chiusura a livello di +81 cm., pari ad un anticipo di circa 1 h e 40' medio

[54] I livelli e gli anticipi fissati per ciascun tipo di evento sono indicati nell'esposizione della strategia di chiusura (vedi sopra).

[55] Rapporto di Sicurezza viene definito il rapporto tra altezza di invaso disponibile al livello di chiusura (livello di salvaguardia - livello medio alla chiusura) e misura del sopralzo previsto.
Nel verificare tale rapporto viene tenuto conto che i livelli sopra indicati sono sempre riferiti a Punta della Salute, e ciò introduce un ulteriore margine di 5 cm; ciò perchè, ad una verifica al modello idrodinamico sugli eventi ricorrenti, aventi gradiente medio rilevato di 15 cm/h, è risultato che quel livello di riferimento è, superiore al livello medio della laguna di una analoga misura.

II.4.1.4.1 *Considerazioni e conclusioni*

Il procedimento di definizione e verifica dei livelli di chiusura e dei necessari anticipi è condotto dal Proponente sulla base delle funzioni causali dei singoli contributi al sopralzo come precedentemente definite. Esso quindi riflette quelle approssimazioni e quei limiti.

L'introduzione di coefficienti di correzione che tengono conto delle incertezze previsionali di alcuni contributi al sopralzo (pioggia e vento, entrambi in laguna) e gli ulteriori abbassamenti prudenziali dei livelli di chiusura per alcune classi di eventi a maggior rischio riducono in certa misura le incertezze previsionali dei livelli di chiusura.
Tuttavia non sembra sufficiente ad evitare il rischio di sottostima dei contributi effettivi al sopralzo di marea precedentemente definiti.

Occorre osservare che le verifiche condotte, per quanto prudenzialmente corrette per tener conto dei possibili errori previsionali, sono tutte completate "ex post" e senza possibilità di raffronto con misurazioni dell'entità degli effettivi contributi di sopralzo.
I risultati di tali verifiche sono quindi attendibili ai fini della correttezza dei livelli di chiusura così individuati rispetto alle stime teoriche dei possibili sopralzi, ma non assicurano che tali stime siano effettivamente rispondenti ai comportamenti reali.

I livelli di chiusura così definiti, pur adeguati e sufficientemente larghi rispetto a quelle stime, non presentano tuttavia fattori di sicurezza tali [56] da ammettere errori

[56] Si ricordi che i fattori di sicurezza dichiarati (SIA, Allegato 6, Tema 5, pag. 141; vedi nota precedente) sono valori 'medi'.
Le stesse verifiche effettuate dal Proponente per alcuni casi di eventi 'estremi' o anche di eventi 'ricorrenti' al limite di classe o non meglio prevedibili (ibidem, Cap. 7.3), portano a misurare fattori di sicurezza minori (anche 1,3 o 1,2, se non meno).
Anche lo stesso Proponente ammette infatti la possibilità di mancare qualche volta, seppur di poco, l'obiettivo, e questo senza considerare i suddetti errori previsionali della marea o di stima dei possibili sopralzi. Con questi ultimi, quindi, questi episodi sarebbero di numero e gravità ben maggiori.
Si osservi poi (sempre nella stessa verifica) come sia Chioggia a soffrire di maggior esposizione al rischio (mancando peraltro verifiche per le isole della laguna settentrionale e centro-occidentale). Tale maggior esposizione al rischio verrebbe moderata a livelli più accettabili solo per la previsione per Chioggia di difese locali elevate a quota 120 cm. Ciò può giudicarsi opportuno, ma sottende, da parte del Proponente, la compressione delle possibilità di difesa locale di Venezia Centro Storico ad un livello inferiore a quello più conveniente, anche dal punto di vista economico (per compensare la differenza di sopralzo; e nulla si lascia peraltro intendere per le altre isole della laguna settentrionale e centro occidentale).
Ciò risulta effettivamente inevitabile, se l'obiettivo perseguito è la difesa integrale e totale a rischio nominale uguale a zero, per quanto sporadicamente se ne possa presentare l'occorrenza e la necessità.
Tuttavia questo obiettivo non si riuscirà comunque a conseguirlo, per quanto detto sopra. Ed

della dimensione di quelli sopra individuati o riconosciuti possibili.

Inoltre, tutto il procedimento ha tenuto conto delle incertezze di previsione della marea solo al fine di correggere le previsioni di sopralzo. Non è invece stato considerato che tali incertezze inficiano anche la previsione del momento 't' in base al quale, a seconda della classe di marea individuata, viene individuato a ritroso il momento di chiusura ('t' - 'a').

L'errore di previsione di marea, già ottimisticamente ridotto a ± 20 cm, può tradursi in una improvvisa anticipazione di 1-1,5 ore, se non addirittura 2 ore, dei livelli di marea effettiva rispetto a quelli della marea attesa, anticipazione in nessun modo preventivabile [57].
In modo analogo potrebbero verificarsi errori di sottovalutazione dei contributi massimi di sopralzo, importanti soprattutto nel caso di eventi estremi, anche qualora fossero individuati prima della chiusura. Non è escluso che i due tipi di errore possano parzialmente sovrapporsi e quindi sommarsi.

Nei casi di errore non risulta facile procedere ad un'improvvisa correzione della processo di chiusura. I tempi prefissati per la progressiva procedura decisionale ed in particolare il progressivo aggiustamento della previsione del momento 't', risulta in qualche caso possibile arrivare alla decisione solo all'ultimo momento utile per rispettare il livello fissato.
Il futuro gestore del sistema potrebbe trovarsi a dover fissare ufficialmente un momento di chiusura per appena tre ore o addirittura due ore più tardi: un tempo equivalente a quello minimo richiesto nel Progetto o nel SIA per la sospensione della navigazione nelle bocche. Sempre con la semplice procedura decisionale ordinaria e senza errori di previsione, è possibile anche trovarsi in condizione di una decisione tardiva, ovvero di non poter rispettare quel tempo minimo[58].

---

oltretutto tale forzatura si realizza al di fuori di qualsiasi possibile verifica di convenienza socio-economica della soluzione proposta rispetto ad altri assetti differenti.

[57] Tale entità di possibili errori non risulta a tutt'oggi funzione del livello di marea atteso nè di altre dinamiche o fenomeni.
Si ricorda in proposito che degli errori previsionali di marea esiste solo una quantificazione statistica, e non un'analisi con ipotesi di correlazione con possibili cause o fattori preventivamente monitorabili; e non è detto che questa analisi dia risultati significativi, ovvero indicazioni utili al casi operativi.

[58] Si rammenti che, a partire da 24 ore prima, il momento 't' (superamento del livello di salvaguardia, su cui applicare la previsione di anticipo) viene aggiornato più volte, le ultime delle quali 9 ore, 6 ore, e poi 5 e 4 ore prima. In questa sequenza, il tempo 't', in determinate condizioni di mutamenti meteorologici, può sostanzialmente anticiparsi, e quindi erodere progressivamente quegli intervalli nominali, fino al di sotto dei tempi minimi di preavviso.
Si ricordi, ad esempio, che l'anticipo medio necessario per la chiusura per eventi ricorrenti ma con forte vento potrebbe essere di 2,0-2,5 ore (nel SIA non è dichiarato) rispetto al tempo 't_4'; ma il tempo 't_4' viene definito ufficialmente appena con 4 ore di anticipo. Così, anche senza altri errori previsionali, in caso di vento relativamente improvviso ci si troverebbe a dover

Indipendentemente dal giudizio di sufficienza di tale tempo minimo da parte degli operatori portuali rispetto alle necessità della logistica portuale, si deve quindi ammettere il caso, potenzialmente non infrequente, di una chiusura non ancora possibile al momento in cui fosse già necessaria (ovvero che diventi necessaria in ulteriore anticipo, per un aggiuntivo errore previsionale di marea o di possibile sopralzo).
Tale impossibilità di chiusura può derivare dal non aver terminato tutte le operazioni marittime programmate nelle tre o nelle due ore previste tra preavviso e chiusura.
Ciò potrebbe tradursi in un parziale fallanza del sistema rispetto all'obiettivo di tutela integrale al livello di salvaguardia prefissato, non riuscendo infatti più a garantire il mantenimento della marea 'interna' al di sotto del livello fissato (+100 cm a Venezia e +120 cm a Chioggia).

Si potrebbero quindi verificare allagamenti che, se dovessero comprendere anche un errore di sottovalutazione previsionale o un sopralzo superiore alle stime effettuate, potrebbero essere finanche di 15-20 cm sopra il livello .. salvaguardia (altezza di allagamento funzione del possibile ritardo di chiusura e del gradiente di marea).

Diversamente, per mantenere i livelli di sicurezza, al primo segnale di un possibile errore di previsione, ovvero di accelerazione del gradiente di marea reale rispetto a quello ipotizzato (o di dinamiche meteorologiche premonitrici di maggiori sopralzi interni, tipo vento o pioggia), potrebbe rispondersi anticipando di conseguenza (sempre che sia tecnicamente possibile) la chiusura di un tempo corrispondente, per salvaguardare comunque i centri abitati alla soglia prefissata.
Questo tuttavia renderebbe assai critica l'interruzione della navigazione senza i necessari tempi tecnici, con gravi ripercussioni sia logistiche sulla programmazione marittima, che di sicurezza della navigazione (si pensi alla fermata improvvisa delle navi, in dirittura di canale di bocca o in canale lagunare).
Qualora si volesse, viceversa, assicurare simultaneamente sicurezza alla salvaguardia urbana e sufficienti preavvisi al traffico portuale, ciò comporterebbe l'adozione di livelli di chiusura sistematicamente più bassi (ipoteticamente di quei 15-20 cm di incertezza della previsione delle maree, o di possibile sottostima complessiva dei possibili contributi massimi al sopralzo; e non è detto che i due errori non possano almeno parzialmente combinarsi, con esiti ancora più gravi).
Ma simili nuovi livelli-obiettivi di chiusura muterebbero completamente le previsioni di chiusura, sia in termini di numerosità (quanto meno di falsi allarmi, con o senza chiusura che siano) che di durata delle chiusura, singole e complessive, tra l'altro con possibili episodi di complicazione se non di impossibilità

---

decidere una chiusura da effettuarsi appena 1,5-2,0 ore più tardi, ovvero senza poter diramarne notizia con il preavviso stabilito.

previsionale, quali gli eventi complessi, che in questo modo verrebbero a moltiplicarsi[59].
Questo sortirebbe un quadro di ben gravi incompatibilità sia ambientali che socio-economiche, e di diversi costi-benefici, ovvero di utilità del sistema di salvaguardia, molto distanti da quelle preventivate dal Proponente.
In pratica con il proposto sistema di gestione per il livello di salvaguardia prescelto, rischia di verificarsi concretamente e subito quel conflitto tra salvaguardia urbana e portualità, ed anche equilibrio ecologico, che la soluzione delle chiusure mobili voleva evitare. E, allo stato delle cose ed anche delle possibilità reali di evoluzione tecnologica ed organizzativa, tutto ciò non sembra evitabile.
In altre parole, si solleva un ulteriore dubbio di congruità, in questo caso tra obiettivi dichiarati della strumento 'chiusura della bocche' e dimensione sociale ed economica della gran parte dei costi e dei danni che con esso si vuole fronteggiare, secondo gli obiettivi e i criteri assunti nel Progetto.

[59] Tipico il possibile caso del 4 novembre 1966, laddove la corretta considerazione dei possibili sopralzi avrebbe portato ad arretrare il momento di chiusura di un intero ciclo di marea, ovvero dalle ore 21 alle ore 9 del giorno, fuoriuscendo dai limiti delle capacità previsionali. Per la circolarità di causa-effetto inoltre, dall'ulteriore consistente allungamento della chiusura, sarebbe derivato, per l'aggiornamento del calcolo dei sopralzi, un ulteriore abbassamento del livello di chiusura, e così via, rendendo la decisione sempre più impossibile.
Si dà infatti il caso che, ai livelli di salvaguardia prescelti, in presenza di elevate alte maree con colmi di marea preceduti da minimi di marea non così bassi da rimanere al di sotto dei livelli-tipo di chiusura, la procedura ricorsiva di approssimazione dei possibili sopralzi possa non essere convergente, ma divergente, e quindi irresolubile. In tali casi i possibili allagamenti sarebbe di entità consistente, certo non quella degli eventi 'naturali' verificabili in assenza di chiusura, ma avrebbero impatti socio-economici forse quanto se non più gravi, perchè ormai inattesi e quindi non mitigabili sia verso la sicurezza della popolazione che rispetto ai fenomeni economicamente rilevanti (dalla mobilità alla attività economiche ai piani terra). E gli impatti ambientali da mancato ricambio (anossia), in caso di notevole allungamento delle fasi di chiusura, sarebbe ben più rilevanti di quelli preventivati (si veda le considerazioni sul quadro ambientale).
Si veda anche l'esame del caso specifico nel capitolo sul Bacino Scolante.
Il fenomeno potrebbe tuttavia verificarsi anche per altri fattori di sopralzo.

II.4.2 Un aspetto strutturale: la risonanza

Come noto il sistema di chiusura delle bocche di porto consiste in una serie modulare di paratoie a spinta di galleggiamento, accostate l'una all'altra, incernierate sul fondo e fra loro indipendenti. Dal punto di vista progettuale è comunque necessaria una verifica di affidabilità del sistema, coerentemente con quanto già espresso nel parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del 27 maggio 1982, n. 209. Finora le prove sperimentali sono state effettuate sostanzialmente attraverso la realizzazione e l'esercizio di un modulo prototipo a grandezza naturale, denominato MO.S.E.. L'ultima versione del Progetto di massima degli sbarramenti mobili alle tre bocche di porto è del settembre 1992 (progetto approvato dal Comitato Tecnico di Magistratura, trasmesso dal Magistrato alle Acque di Venezia al Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici nel febbraio 1993 e valutato dall'Assemblea Generale del Consiglio Superiore nell'ottobre 1994).
Il Progetto presentato dal Consorzio Venezia Nuova, ovvero dal Magistrato alle Acque di Venezia, consiste in opere mobili alle bocche di porto per la regolazione dei livelli di marea che entrerebbero in funzione quando il livello raggiunge la quota di +1,00 m rispetto alla stazione di osservazione di Punta della Salute, mentre la difesa delle zone abitate a quote più basse verrebbe affidata ad interventi locali (progetto insulae).

La paratoia è costituita da una struttura metallica che, se piena d'acqua, rimane adagiata sul fondo. Secondo quanto riferito dal Proponente, il progetto è stato sottoposto a verifiche di funzionamento meccanico, sono state inoltre eseguite prove di usura delle parti mobili, accertamenti sull'aggressione dei materiali da parte dell'ambiente marino, sull'azione provocata dai livelli di marea, sulle correnti, sul moto ondoso e controllati gli eventuali dissesti provocati da urti accidentali. Per effetto del moto ondoso, le paratoie ruotano liberamente attorno alla cerniera sul fondo, compiendo oscillazioni angolari. Sono previsti interventi di manutenzione periodica, fuori sede, delle paratoie (pulizia, ripristino della verniciatura e della protezione catodica, controllo e sostituzione delle componenti).

Le manovre di chiusura delle bocche vengono eseguite sollevando 3 - 4 paratoie per volta; secondo i progettisti, nell'ultima fase di chiusura, si può instaurare una corrente con valori di velocità triplicata rispetto a quella normale e pari a circa 4 - 5 m/sec. Il Progetto prevede strati di pietrame sul fondo delle bocche lagunari per evitare fenomeni di erosione del fondale.
Non può essere esclusa la mancata chiusura di una paratoia, a causa di un qualunque fuori servizio, con conseguente elevata corrente di marea attraverso il varco. In tale evenienza lo stesso progettista prevede l'asportazione del materiale lapideo di protezione del fondale con conseguente necessario intervento di ripristino.
Per il sollevamento e la regolazione delle paratoie è previsto un impianto di compressione che immette aria nelle paratoie stesse in quantità e pressione che

dipendono dalla profondità dei fondali, dalle dimensioni delle paratoie e dal dislivello tra mare e laguna. I tempi di chiusura dei varchi e di crescita della marea condizionano i criteri di esercizio dell'impianto di compressione.

Si ritengono significativi alcuni passi del voto del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici dell'ottobre 1994.
"*l'argomento della dispersione dello spettro delle onde che giungono dal mare aperto a incidere sulle barriere mobili è stato analizzato in maniera approfondita; tuttavia le prove su modello in scala ridotta sono state finora eseguite con onde incidenti cilindriche, laddove le onde di mare sono intrinsecamente non-cilindriche. L'assunto dei progettisti che le onde cilindriche di laboratorio producano effetti in ogni caso più gravosi di quanto può essere dovuto ad onde tridimensionali di mare non appare adeguatamente giustificato, soprattutto nei riguardi del comportamento idrodinamico della barriera mobile. Infatti permane il dubbio che, a parità di spettro di frequenza al largo e a parità di durata, le onde tridimensionali di mare provochino maggiori sfasamenti tra le oscillazioni delle singole ventole che non le onde cilindriche. Per fugare tali dubbi sarebbe opportuna una prova direttamente in mare (ovvero in bacino lacustre o in vasca per onde tridimensionali) su modelli in scala adeguata delle barriere soggette ad onde di vento di altezza significativa*".

" ... *In fase di progetto esecutivo è da approfondire lo studio di possibili incidenti che possano creare uno stato di crisi nella gestione degli sbarramenti mobili. L'analisi approfondita delle conseguenze, sui livelli nello specchio lagunare, di parziali deficienze del sistema di separazione idraulica mare-laguna non deve essere considerata di secondaria importanza*".

"*Si ribadisce che un problema basilare nell'ambito dell'esercizio degli sbarramenti è quello delle manovre di sollevamento e chiusura dello sbarramento e la successiva regolazione durante l'innalzamento del livello del mare e il ritorno all'equilivello. In proposito si rileva che non è sufficientemente sviluppato il progetto di massima del sistema preposto alle operazioni di sollevamento e/o chiusura*".

" *In fase di progetto esecutivo ulteriori e più approfondite indagini geotecniche sulle aree direttamente interessate dalle opere di chiusura delle bocche e da una sperimentazione in scala reale che permetta una scelta più giustificata dell'eventuale intervento di consolidamento del terreno di fondazione, ed una valutazione adeguata dei problemi connessi alle modalità esecutive della costruzione delle opere e ai mezzi d'opera da impiegare*".

"*Tenuto conto della notevole complessità del comportamento delle paratoie sotto moto ondoso, e della mancanza di una affinata modellazione matematica in grado di evidenziare con chiarezza gli elementi più significativi del comportamento idrodinamico delle paratoie ed ancora delle non esaurienti conclusioni che sono*

state tratte dalle prove che evidenziano il verificarsi di ampie oscillazioni per le paratoie di Malamocco, si ritiene che per esprimere un giudizio completo sull'attendibilità di tali conclusioni, sia necessario disporre di un'analisi progettuale" più approfondita ed impostata su ulteriori modelli matematici.

"*Si è del parere che l'analisi di rischio e affidabilità svolta nel Progetto di massima... è stata limitata, in buona sostanza, solo a quella del sistema costituito dai vari componenti e non ha preso in esame le problematiche generali e gestionali*".

"*Nel Progetto si fa rilevare come la zona geografica sede delle bocche lagunari è ricca di metano (o gas naturale) e dal terreno, e dal fondo marino, vengono emesse piccolissime quantità di gas che potrebbero filtrare nelle costruzioni attraverso le porosità delle pareti di cemento armato degli edifici che sono parzialmente sotto il livello dell'acqua e che presentano una rilevante superficie di penetrazione al gas. Questo gas se non viene rimosso potrebbe superare concentrazioni pericolose*". E ancora. "*Si osserva come la soluzione ubicazione sommersa per le stazioni locali di energia alle bocche determina particolari situazioni di rischio sotto i profili della inondazione e della esplosione*".

La commissione, a distanza di quattro anni condivide le osservazioni e le valutazioni espresse dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici circa l'indeterminatezza del quadro progettuale del sistema di chiusura mobile delle bocche della laguna di Venezia, che nel frattempo non si è arricchito di nuove risposte ai dubbi sollevati dal Consiglio. In tal senso non è condivisibile il rinvio di queste risposte alla fase di progetto esecutivo, come ha ritenuto di fare il Consiglio, per i rilevanti potenziali effetti di errate valutazioni. Emblematico il problema degli sfasamenti tra le oscillazioni delle singole ventole. Nell'elaborato VE3712-PMRF01 del 30 settembre 1992 il Proponente formula le seguenti considerazioni sul comportamento delle paratoie.

"*Mentre infatti non sono stati evidenziati sostanziali inconvenienti relativi al comportamento statico e in manovra delle paratoie, le verifiche del comportamento dinamico hanno individuato aspetti complessi, la cui comprensione ha richiesto un notevole sforzo, e ha portato a graduali modifiche della forma e delle dimensioni delle paratoie. In particolare è emerso che nel comportamento a schiera delle paratoie sono insiti fenomeni di risonanza sub-armonica non completamente eliminabili, le cui conseguenze possono comunque essere ricondotte entro limiti del tutto accettabili in relazione ai criteri di progetto degli sbarramenti. L'approfondimento del problema ha mostrato che le conseguenze che si paventavano, come un eccessivo aumento della portata fluente attraverso le aperture fra paratoie contigue e un anomalo incremento delle reazioni alle cerniere, si sono dimostrate assai più modeste del previsto e del tutto affrontabili dal punto di vista progettuale*".

Più articolata, critica ed approfondita la posizione assunta dal Collegio degli esperti di livello internazionale, espressa nel rapporto conclusivo del giugno 1998, che giudica i fenomeni di risonanza potenzialmente compromissori dell'efficacia complessiva delle paratoie come diga alle acque alte.

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, l'ampiezza delle oscillazioni che può essere osservata nel prototipo potrebbe non essere facilmente estrapolabile da misure in condizioni di laboratorio.*

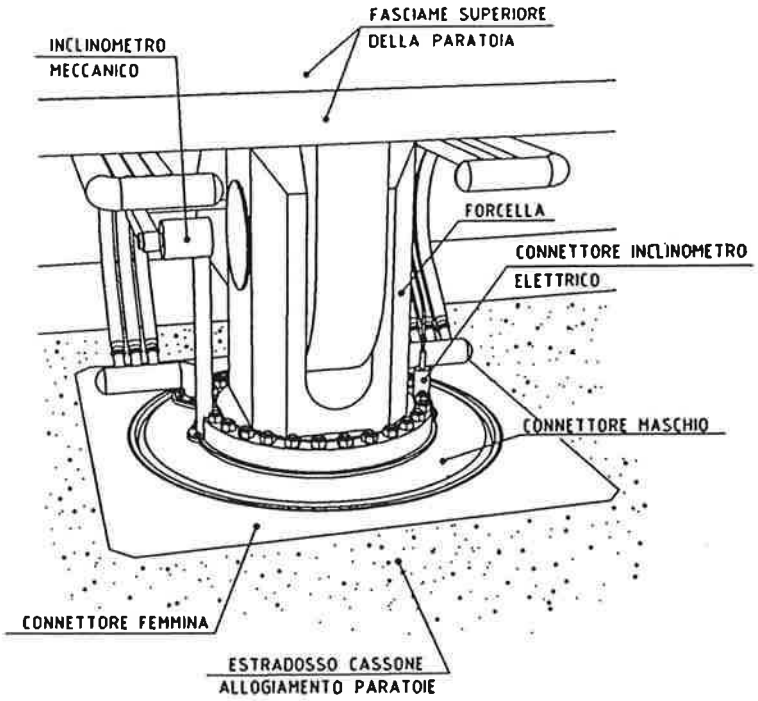
Il Progetto attuale può e deve essere migliorato con l'aiuto di teorie recenti, non disponibili ai tempi del progetto. In realtà, si sa che la risonanza sarà sempre nell'attuale Progetto per alcune lunghezze d'onda, fintantoché elementi contigui delle barriere sono liberi di ruotare l'uno rispetto all'altro. 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 comprensione 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.

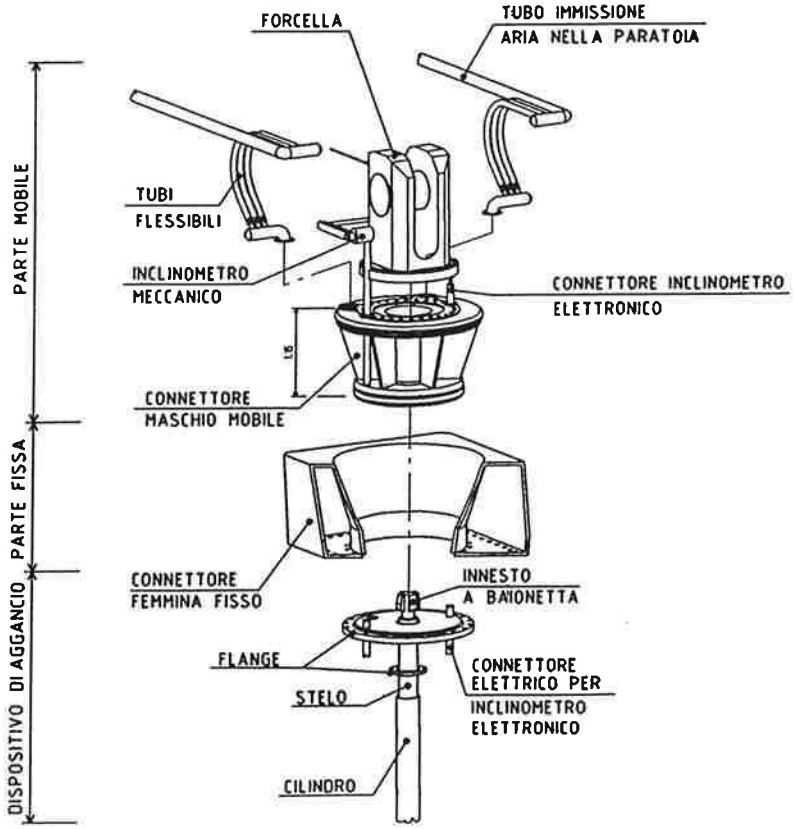
La Commissione condivide le preoccupazioni del Collegio degli Esperti Internazionali ritenendo in più che lo scenario prefigurato comprometta fortemente la rappresentazione progettuale fatta dal Proponente, nonché la rappresentazione della gestione dell'opera che come sopra esplicitato richiede di una manutenzione macchinosa e complicata.
In particolare l'ipotizzato sistema di bloccaggio delle paratoie dovrebbe essere inquadrato in tutta la sua complessità impiantistica con la prioritaria volontà di

assicurare la piena funzionalità del manufatto. Preoccupano in particolare i possibili effetti del sistema di bloccaggio sul delicato sistema di incernieramento delle paratoie. Sarebbe pertanto necessario un approfondito esame da parte del Proponente teso alla validazione progettuale dell'ipotesi prospettata nel parere reso dagli esperti internazionali.
Da questo punto di vista è utile riproporre la posizione di base del Proponente che, se da una parte minimizza il problema delle oscillazioni ("*fenomeno fisico non eliminabile che influenza la dinamica delle paratoie senza pregiudicare in alcun modo efficienza ed affidabilità*"), dall'altra esclude modifiche progettuali indirizzate ad attenuare questo fenomeno indesiderato. "*Sistemi attivi o passivi di smorzamento da applicare alla paratoia appaiono alla stato attuale non giustificati dalle circostanze, mentre per contro la loro introduzione verrebbe a rappresentare una complicazione costruttiva ed andrebbe in senso contrario a quella che si ritiene attualmente la migliore filosofia progettuale: la massima semplificazione delle paratoie per avere la massima affidabilità degli sbarramenti*".
Pienamente condivisibile dunque la conclusione del parere del Gruppo di lavoro del Comune di Venezia sul rapporto del Collegio degli Esperti quando, in termini generali, si afferma che "*l'insieme della documentazione presentata dal Concessionario delle opere in sede di attuazione della procedura di valutazione di impatto ambientale sia insufficiente e incompleta, data la necessità di ulteriori studi teorici e sperimentali raccomandati, per più temi e aspetti, anche dallo stesso Collegio di esperti*".
Tutto ciò è sintomatico di una contraddizione di fondo su cui non sembra sufficiente una anche aggiornata riproposizione progettuale.

II.4.3. Impatto dell'ambiente sull'opera: deterioramento e biodeterioramento delle parti sommerse

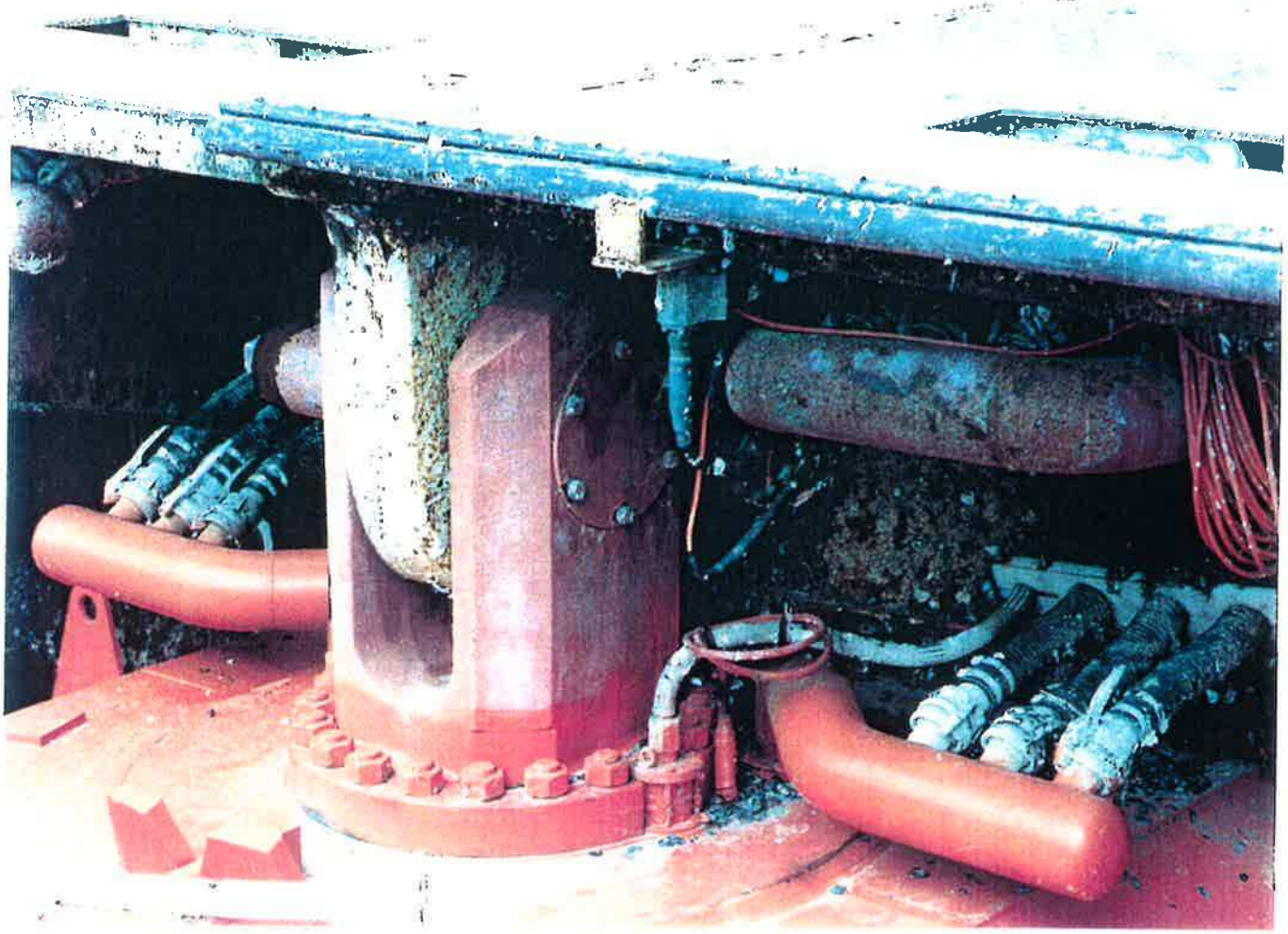
L'elemento maggiormente compromissorio della struttura è rappresentato, ad avviso della Commissione, dal deterioramento cui la struttura sommersa va inevitabilmente incontro e che rappresenta un reale ostacolo alla vita dell'opera.
L'opera, per la parte immersa, è esposta, infatti, agli agenti dell'ambiente marino, abiotici e biotici, che esercitano sulle strutture sommerse una continua azione di deterioramento. Sia gli agenti fisico-chimici che biologici, microrganismi, concorrono a innescare l'azione di attacco dei substrati metallici.
Batteri autotrofi – chemiolitrotofi sono in grado di produrre alterazioni autosostenentesi dei substrati (i batteri solfatoriduttori producono idrogeno solforato che corrode i metalli); le condizioni di anossiche si instaurano, anche se più lentamente, per le superfici con ricambio di acqua. Le temperature medie di 15-20°C sono favorenti lo sviluppo dei batteri solfatoriduttori rispetto ad altre forme microbiche, quando le condizioni di ossido-riduzione sono inferiori a –150mV.

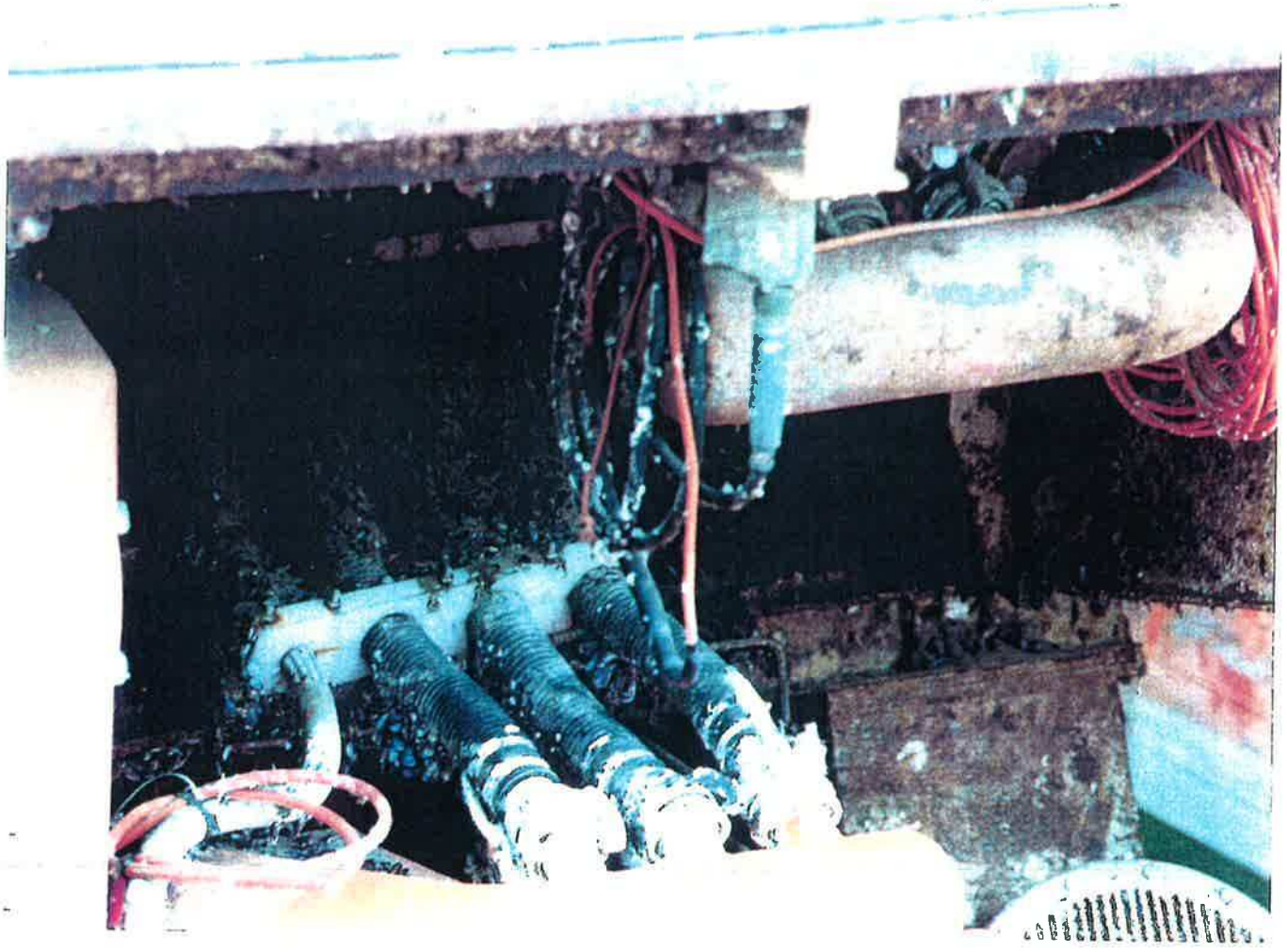


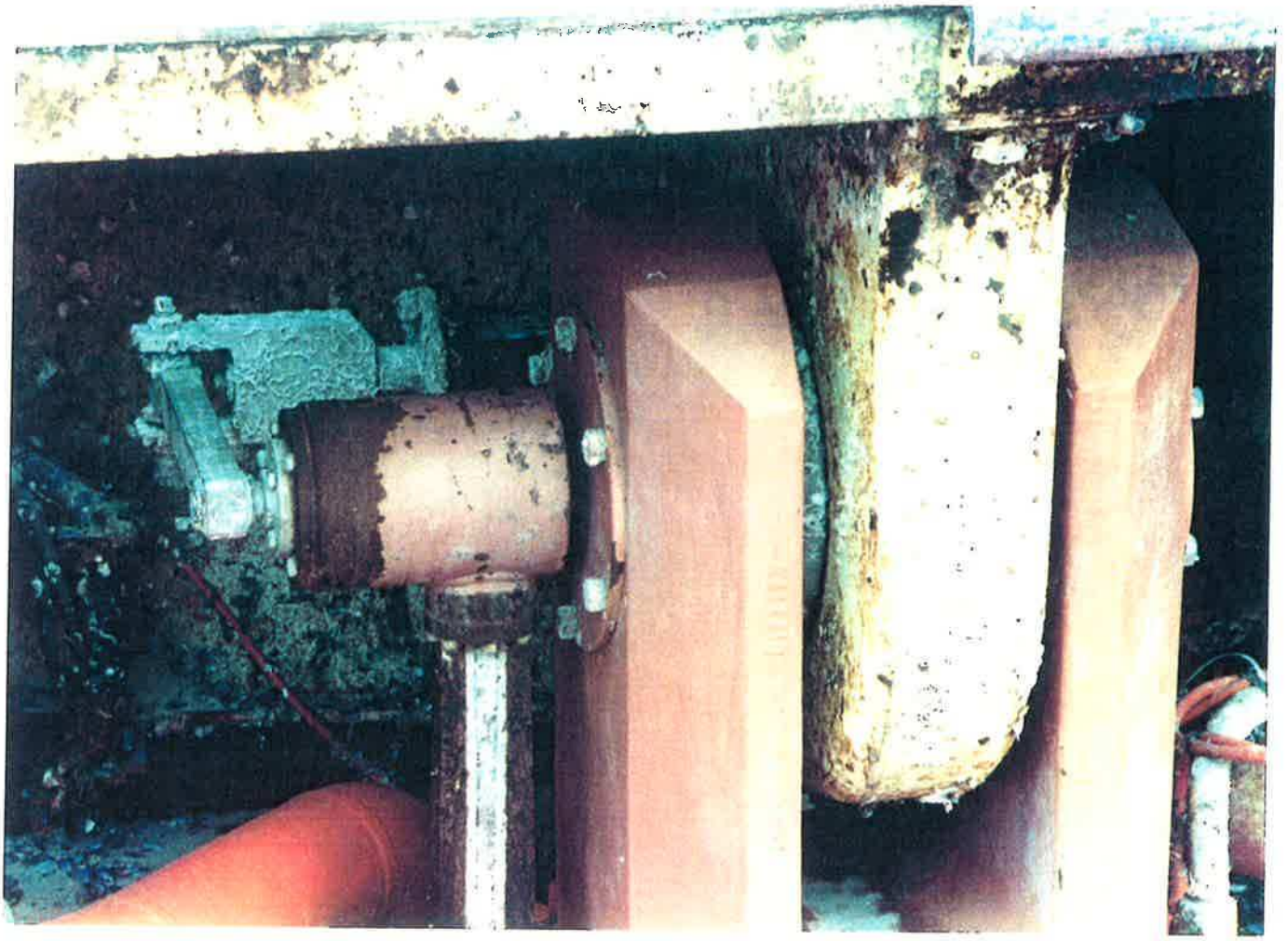


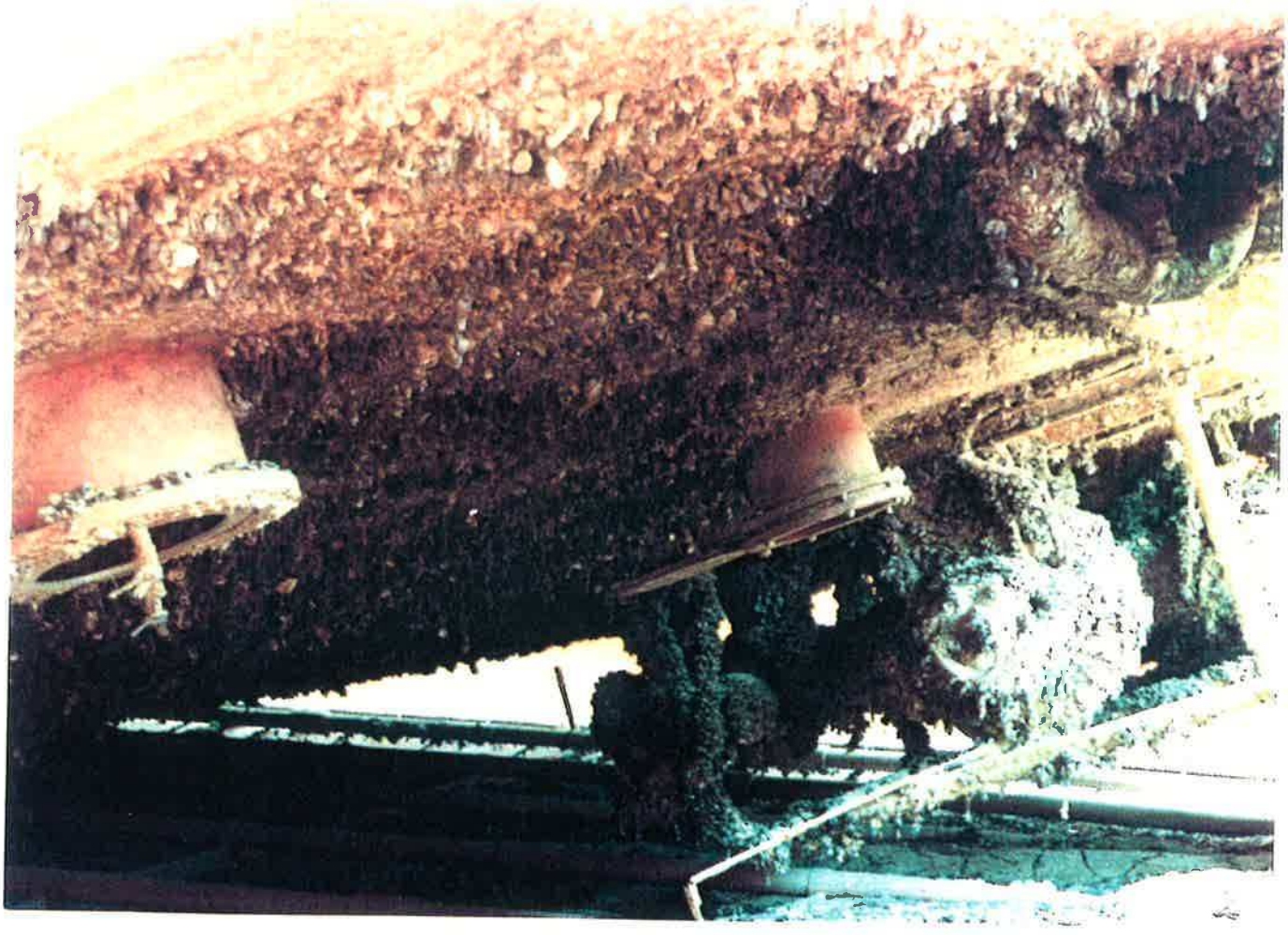
Gruppi cerniera-connettore

Hinge-connector groups









Scheda 2: GRUPPI CERNIERA-CONNETTORE

Caratteristiche principali:

		TREPORTI	S. NICOLO'	MALAMOCCO	CHIOGGIA
TIRO SUL PIANO DI ROTAZIONE	(kN)	2900	5000	6200	5600
SPINTA NORMALE AL P. DI R.	(kN)	550	1000	1250	1100
PRETENSIONE SISTEMA AGGANCIO	(kN)	1900	3300	4100	3700
PRESSIONE ARIA	(bar A)	3,1	3,1	3,6	3,1
ANGOLO ROTAZIONE	(°)	0/90	0/90	0/90	0/90

Componenti: Parte mobile (forcella, perno, corpo), parte fissa (femmina), dispositivo d'aggancio.

Materiale: Forcella e corpo acciaio al C fuso FeG 52 UNI 3158
Riporti sul corpo e sede conica fissa acciaio inox AISI 316 L
Perno, tirante e sede di presa a. inox duplex SAF 2205 SANDVIK

Protezione: Protezione catodica con anodi sacrifiziali di zinco

Funzioni: Cerniera propriamente detta (forcella, boccola sferica, perno) che materializzando due cardini coassiali consente la rotazione della paratoia.
Struttura di presa/rilascio che realizza il blocco tra parte fissa e parte mobile mediante una forza di pretensione e che consente, a comando, di fissare o sganciare la paratoia.
Connessione tra galleria e paratoia per il passaggio dell'aria, dei segnali elettrici e del segnale meccanico di posizione.
Lavaggio con acqua a pressione della parte cava fissa (femmina) durante le operazioni di sgancio/aggancio.

L'insediamento degli stadi larvali del macrofouling è in grado di coinvolgere le strutture sommerse nel processo di degrado sino a renderle dei relitti marini.
Gli esperimenti sviluppati dal Proponente hanno dimostrato come gli sviluppi della comunità del fouling possa raggiungere livelli imponenti tali da poter determinare inconvenienti di carattere ponderale e meccanico:
Vengono stimati una produzione media di 100-350 N/m^2 (10-35 $kg/m^{2/}$) per le superfici delle paratoie che possono essere ripulite annualmente. Per le superfici inferiori e laterali dove la rimozione non può avvenire, e la cui manutenzione è coincidente con la rimozione quinquennale, il fouling raggiunge una condizione di equilibrio tra insediamento, morte e distacco: la quantità di fouling "che rimarrà insediato, potrà essere circa il doppio di quello rilevato sperimentalmente, sia come peso che come spessore"[60].
La superficie di una paratoia è di circa 1000 m^2 quindi la produzione potrebbe aggirarsi attorno a 40 –50 tonnellate di fouling per paratoia.
Il Proponente , come detto sopra, ha scelto di applicare anodi sacrificali di zinco per la protezione delle paratoie, questo, come vedremo nel capitolo degli impatti, rappresenta un contributo significativamente negativo per la compatibilità dell'opera.
Vengono allegate le foto documentarie scattate dalla Commissione in occasione del 1° sopralluogo effettuato al modulo Sperimentale (MOSE) nell'agosto 1997, in cui, nonostante fossero passati mesi dal suo spostamento dall'area di sperimentazione, conservava visibili le incrostazioni anche di elementi vitali al funzionamento delle paratoie; sono molto evidenti i segni del biodeterioramento dovuto alle incrostazioni del fouling, che ricoprono sia le ampie superfici piane che gli anfratti e i recessi inaccessibili delle parti che erano sommerse della paratoia, le cerniere, i tubi rigidi e flessibili, dell'inclinometro meccanico ecc,.

[60] Relazione tecnica, Bocca di Lido, Condizioni Ambientali, pgg.110-116.