

PARTE III

III. Subsidenza ed eustatismo

III.1. Lo scenario ecologico di riferimento ai fini della valutazione di impatto

Il Proponente confronta il Progetto con tre differenti scenari eustatici, proiettati alla fine del prossimo secolo, per dimostrare come il Progetto possa essere funzionale anche per previsioni eustatiche diverse dalle attuali. Il Proponente assume:

- "un primo scenario A, che può essere definito ottimistico, con eustatismo quiescente e perdita altimetrica per sola subsidenza naturale pari a 4 cm;
- un secondo scenario B, che può essere definito realistico, con una crescita del livello marino atteso al 2100 pari a 16-20 cm,
- un terzo scenario pessimistico C, che prevede, entro il 2100 un innalzamento dell'ordine dei 50 cm più la subsidenza naturale"¹ e che, è basato su alcune delle proiezioni dell'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) nella sua relazione "Climate Change 1995".

Il SIA ipotizza, la frequenza del numero delle chiusure con eustatismi di 10, 20, 30 cm. con riferimento alla ipotesi di livello di salvaguardia +100 cm.

- Di fronte a questi scenari si pone il problema di quale debba essere l'ecosistema di riferimento per la valutazione degli effetti del Progetto in esame.
- In realtà, rispetto agli scenari da esso stesso introdotti, lo Studio di Impatto Ambientale propone alla valutazione lo sviluppo dell'analisi degli impatti ambientali riferendoli sostanzialmente al primo scenario, quello attuale, e facendo qualche estrapolazione rispetto a presunte condizioni ambientali future, legate ai diversi scenari eustatici.

Né potrebbe essere diversamente in quanto mancano al momento, le basi per definire una qualunque evoluzione dell'ambiente e delle interazioni sociali per quel tempo, cui riferire l'analisi degli impatti, a meno che il Proponente non abbia inteso proiettare nel futuro la attuale situazione ambientale ritenendola pressoché immutabile rispetto ai mutati scenari di aumento del livello marino.

L'ambiente lagunare, potrebbe infatti, risultare notevolmente diverso dall'attuale, per idrodinamica, scambi di volumi, morfologia lagunare, morfologia della linea di gronda e delle coste.

Si rende, a questo punto necessaria una precisazione circa lo stato dell'arte per la subsidenza e l'eustatismo attuali e la loro evoluzione a Venezia e una riflessione circa gli scenari eustatici introdotti dal Proponente.

¹ Rapporto 95T706-REL-TO15.4 28/04/97

III.1.1. Eustatismo, subsidenza, maree a Venezia: andamenti storici ed attuali trend

E' ben noto che l'accrescimento nel corso di questo secolo dell'intensità del fenomeno delle "acque alte" nella Laguna è attribuibile in modo determinante alla perdita di franco altimetrico, sia per eustatismo che per subsidenza.

L'intensificarsi della frequenza degli eventi con livelli idrici superiori a quota +100 cm ZMPS è più che significativo, come ben rappresentato in figura 1, mentre la figura 2 mostra una simile evoluzione della frequenza e dell'ampiezza delle massime altezze annuali di marea.

Appare, tuttavia, contribuire in modo non trascurabile, né secondario a tale accrescimento, il diverso realizzarsi delle maree in laguna, a parità di livelli mareali esterni alle bocche.

Tale evoluzione è evidenziata in figura 3, dove il realizzarsi delle massime altezze in laguna misurate rispetto all'evolversi del livello medio del mare, sembra mostrare una tenue dipendenza non lineare dal tempo.

III.1.1.1. La subsidenza naturale

La subsidenza naturale del suolo di Venezia e del fondale della sua laguna, dovuta prevalentemente al consolidamento dei sedimenti fini di recente deposito, presenta un andamento nel tempo decrescente.

Stimata attorno al valore medio di 1,3 mm/anno per tutta l'epoca storica, è stata misurata agli inizi di questo secolo su un più limitato valore di 0,37 mm/anno (rilevazione 1900-1930)², con un'evidente riduzione, interpretata come una naturale, lenta, attenuazione del fenomeno.

Per il prossimo secolo il probabile valore di subsidenza media è stato stimato cautelativamente attorno a 3 cm (0,3 mm/anno)³, se non meno.

Va peraltro segnalato che attorno a tale valore medio si potranno riscontrare sensibili differenze, in particolare tra i valori delle zone tuttora esposte a dinamiche più intense, quali le bocche di porto, per una relativa arretratezza nel processo di consolidamento, e zone ove le dinamiche saranno più modeste se non addirittura in via di definitivo esaurimento, come le zone più storiche del Centro Storico di Venezia, dal substrato più compattato per il sovraccarico insediativo storico, come già si riscontra con evidenza.

² Gatto-Carbognin 1981, pag. 387.

³ Questa probabile riduzione è riconosciuta implicitamente dal Collegio degli Esperti di Livello Internazionali, che riconoscono ragionevole uno spettro di valori di subsidenza probabile limitato tra 2 e 4 cm per secolo (Rapporto sul progetto di massima, ..., Giugno 1998, Cap. 3.3).

III.1.1.2. La subsidenza antropo-indotta ⁴

Il vasto cono di depressione del livello piezometrico medio, generato dagli emungimenti d'acqua sotterranea per uso industriale a Porto Marghera soprattutto negli anni '50 e '60 (fino a 500 l/s dai primi sei acquiferi fino a -320 m), ha determinato negli stessi anni anche a Venezia un'ulteriore subsidenza, di induzione antropica, quantificata in circa 12 cm (1973).

Interrotti gli emungimenti agli inizi degli anni '70, la rapida ripressurizzazione delle falde ha determinato un 'recupero elastico' ('rebound') limitato, ma significativo, di circa 2 cm medi (già rilevato agli inizi degli anni '80).

La misura complessiva finale della subsidenza di induzione antropica per emungimenti industriali, innescata nei primi decenni di questo secolo e ormai esaurita, è quantificata nel complesso in 10,4 cm .

III.1.1.3. Le misurazioni più recenti della subsidenza complessiva

La variazione altimetrica del suolo veneziano, rilevata con livellazioni di precisione, per il periodo 1973-1993, è risultata nel Centro Storico di Venezia mediamente nulla se non moderatamente positiva (media periodo: +0,3 cm) ⁵, indicando così la totale stabilità del suolo in questa zona.

Tale stabilità media compone una variazione positiva dei luoghi di più antico insediamento, in via di definitiva stabilizzazione, e suoli più recenti o di più recente insediamento umano, dove il carico strutturale è recente ed il processo di compattazione del substrato è più arretrato ⁶.

⁴ Gatto-Carbognin (CNR Venice), The Lagoon of Venice: natural environmental trend and man-induced modification, 1981, in Hydrological Sciences - Bulletin - des Sciences Hydrologiques, 26, 4, 12/1981, pg. 388.

Carbognin-Taroni-Tosi (CNR Venezia), Gambolati-Teatini (Univ. Padova), Marabini (CNR, Bologna), Analisi del processo di subsidenza nell'area veneziana e sua simulazione con un modello tridimensionale non lineare, Pre-print Sistema Lagunare Veneziano - CNR, 1996, Cap. I.

⁵ Carbognin-Taroni-Tosi-Gambolati-Teatini-Marabini, 1996, cit., Tab. 1 in cap. 2.1.

⁶ Si veda in particolare la Tab. 1 e le cartografie di variazione altimetrica, Fig. 1-2-3, in Carbognin-Taroni-Tosi-Gambolati-Teatini-Marabini, 1996, cit. (riproduzioni alla fine del capitolo, Fig. 4 e Fig. 5). Tali cartografie segnalano in particolare, nel Centro Storico, valori negativi (subsidenza) solamente nelle zone marginali di più recente urbanizzazione (Marittima, Cannaregio sud-ovest, S. Elena, Sacca Fisola).

Variazioni positive (innalzamento del suolo), nulle o minimamente negative sono segnalate per tutta la parte centrale della laguna e della prospiciente gronda di terraferma.

Comportamento diverso hanno le parti marginali sud e nord-est della laguna l'estuario e i litorali, con subsidenza rilevante soprattutto a Cavallino e Chioggia (zona Valli e zona

III.1.1.4. L'eustatismo regionale: la dinamica del livello medio del mare di lungo periodo

Nell'attuale secolo, la componente eustatica media rilevata a Trieste ⁷ è quantificata in 1,13 mm/anno (periodo 1896-1993) ⁸, ovvero circa di 11 cm nel secolo.

In tale periodo l'andamento non è stato regolare.

La crescita del livello del mare risulta pressochè interamente concentrata nei primi 60-70 anni (con una media stimabile attorno 1,6 mm/anno). Gli anni successivi vedono una stasi pressochè totale del fenomeno, ovvero una fase di 'quiescenza' con valori di stabilità, rilevata a Trieste nel periodo 1971-1993 ⁹; tale stabilità è riconosciuta nelle rilevazioni e ricerche già dei primi anni '80, anche per Rovigno e Buccari ¹⁰.

Tali medie secolari di eustatismo regionale sono ritenute di entità analoga all'andamento dell'eustatismo di questo secolo rilevato in diverse altre località del Mar Mediterraneo.

Quanto agli andamenti recenti del fenomeno a scala più globale sono solo da poco tempo disponibili alcune misurazioni attendibili, ottenute con le tecnologie satellitari e le modalità di elaborazione più recenti. Rispetto alle precedenti rilevazioni su base mareografica (oscillanti tra 0,5 e 3 mm/anno) e su base

Conche), da attribuire, tra le altre cause, all'ancora grave emungimento d'acqua per usi agricoli o alla recente bonifica.

⁷ La stazione di Trieste è ritenuta altimetricamente stabile, perchè esente da dinamiche di subsidenza. In quel sito la misura dell'andamento di lungo periodo del marino medio è considerata indicatore dell'eustatismo regionale.

⁸ Carbognin-Taroni (CNR Venezia), Eustatismo a Venezia e Trieste nell'ultimo secolo, Atti dell'Istituto Veneto di Lettere, Scienze ed Arti, Tomo CLIV (1995-1996), Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali, Venezia, Novembre 1996, pag. 283

⁹ Si veda in proposito:

– Carbognin-Taroni, 1996, cit.

– Rusconi-Ferla-Filippi (Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale) Tidal observations in the Venice lagoon: the variations in the sea level observed in the last 120 years, 1993 (parzialmente riprese anche nel S.I.A. Cap. pg. 52, fig. A3.10b; riproduzione alla fine di questo capitolo, Fig. 6 e 7).

¹⁰ Gatto-Carbognin, 1981, pg. 387-388. Gli autori avevano colà rappresentato graficamente un andamento eustatico dal 1970 progressivamente calante fino all'azzeramento al 1981.

geodetica spaziale (da 2 a 3 mm/anno), le più recenti valutazioni satellitari stimano l'eustatismo globale in $0,91 \pm 0,39$ mm)¹¹.

Le relazioni tra andamento di eustatismo regionale e l'eustatismo globale sono ancora da esplorare.

III.1.1.5. L'andamento complessivo del medio marino¹² di Venezia, ovvero, la perdita complessiva del franco altimetrico di Venezia¹³.

Secondo le più recenti misurazioni, nel periodo dal 1893 ad oggi il franco altimetrico di Venezia ha accumulato una misura complessiva compresa tra +21 e +22 cm.; mediando nel periodo 1980-1997 esso è misurato in +21,35 cm¹⁴

¹¹ Pirazzoli 1998, cit., pg. 22 0-232, in particolare si veda il diagramma delle misurazioni (pg. 229).

(Riproduzione alla fine di questo capitolo, Fig. 8)

¹² Con medio marino si intende il livello relativo del mare, ovvero la sua quota rispetto alla terra. Il suo andamento nel tempo è risultante della composizione delle dinamiche altimetriche sia del suolo che del mare sopra descritte.

Si veda la Fig. 9, alla fine di questo capitolo

¹³ Con 'franco altimetrico' si intende la differenza tra il livello minimo (assoluto) del suolo e il livello (assoluto) del mare. E' in altre parole una misura relativa della elevazione delle aree di minor quota rispetto al livello medio del mare prospiciente.

Se considerato al netto di modifiche artificiali alla quota del suolo, il suo andamento nel tempo corrisponde, con segno opposto, all'andamento del livello medio marino di quel luogo.

Quest'ultimo a sua volta consiste nella differenza tra la variazione altimetrica assoluta del mare e quella del suolo, ed è misurabile come variazione del livello medio del mare nel tempo relativo ad un certo punto mantenuto fisso sul suolo di quel luogo

Nel caso di Venezia, tali misurazioni fanno ormai tradizionalmente riferimento al cosiddetto 'Zero Mareografico di Punta della Salute' (Z.M.P.S.), quota altimetrica fissata al suolo dell'omonimo punto, prospiciente al Bacino di S.Marco, e corrispondente alla media di tutte le alte e basse maree misurate al mareografo di S.Stefano di Venezia nel periodo 1884-1909, ed allora attribuita all'anno centrale di questo periodo, ovvero al 1897, come 'livello medio marino del 1897'. In realtà, quel livello è più coincidente con il livello marino medio del 1893, mentre quello del 1897 era già più alto di 0,9 cm., mentre quello del 1900 è 1,6 cm (Si veda Pirazzoli, Maree estreme a Venezia (periodo 1872-1981), in Rivista Acqua-Aria, 10-1982).

Il livello medio del mare misurato rispetto a questo punto corrisponde al medio marino di Venezia sul riferimento Z.M.P.S., ed il suo andamento nel tempo, invertito di segno, misura l'andamento del franco altimetrico di Venezia.

Se per riferimento iniziale delle osservazioni viene utilizzato l'anno 1893, l'andamento del medio marino di Venezia è rilevabile dalle dirette quotazioni sul riferimento Z.M.P.S.

¹⁴ Alle misurazioni del Servizio Idrografico e Mareografico nazionale, avviate dal 1972 con il primo mareografo nazionale installato proprio a Venezia, negli ultimi decenni si sono affiancate le misurazioni del Centro di Previsione e Segnalazione Maree del Comune di Venezia, curate con propria distinta strumentazione e rilevazione oltre che elaborazione e pubblicazione dati.

Le misure dell'andamento complessivo del medio marino a Venezia sopra riferite risultano in modo univoco dalle due fonti. Oltre che dalle rispettive sistematiche pubblicazioni o diffusioni statistiche, esso sono state oggetto di specifica pubblicazione in:

– Rusconi-Ferla-Filippi (Serv. Idrogr. Mareogr. Naz.), Le osservazioni mareografiche in laguna

Più precisamente, nel periodo di massima altezza, ovvero negli anni '60, la media decennale della quota del livello medio mare ha misurato, a Punta Salute, +22,05 cm (sempre rispetto al 1893).

Nei periodi successivi, per la composizione dei contributi sopra descritti, le medie decennali sono risultate contenute su valori minori, tra +20,94 cm (1970-79) e +21,95 (1980-89); la media parziale 1990-1997 si attesta su +21,10 cm.

L'andamento degli ultimi 20-30 anni sostanzialmente conferma, quindi, la situazione di sostanziale stasi del livello medio marino di Venezia, risultante dalla quiescenza eustatica regionale, dall'esaurimento della subsidenza antropo-indotta e dalla moderazione di quella naturale.¹⁵

III.1.1.6 Le dinamiche delle maree lagunari: variazioni dei caratteri lagunari dei fenomeni mareali¹⁶

E' da ritenersi che l'aggravamento del fenomeno delle alte maree in laguna di Venezia, oltre che dalla crescita del medio marino, sia determinato anche da altri fattori che hanno determinato, soprattutto nel corso di questo secolo, una modifica delle caratteristiche quali-quantitative delle alte maree lagunari.

Tali modifiche sono rilevabili nella ampiezza, nella propagazione e nelle altezze delle maree lagunari di maggior intensità, ovvero delle massime maree annuali (quelle di incidenza socio-economica).

Le massime ampiezze annuali di marea in questo secolo in laguna sono aumentate, specie quelle crescenti (di circa 15 cm., media mobile 19 anni).

Altrettanto (circa 14 cm) sono cresciute le altezze di colmo delle massime alte maree annuali lagunari depurate delle variazioni del medio marino maturate rispetto all'inizio del secolo, e poco meno, sono aumentate anche le altezze, sempre

di Venezia: le variazioni di livello marino osservate negli ultimi 120 anni, Convegno Internaz. Noordwijerhout, Netherlands 18-24 aprile 1993;

– Comune di Venezia, Stato Attuale di Organizzazione della Città, Novembre 1996 (allegato al S.I.A.), Cap. 2.

Dati ed elaborazioni aggiornate a tutto il 1997 sono state rese pubblicamente disponibili nel novembre 1998, dallo stesso Servizio Prev. Segnal. Maree (a cura di Canestrelli-Pastore). Si veda Fig.10 alla fine del capitolo.

¹⁵ In questo senso deve intendersi definitivamente risolto l'equivoco generato da alcune rappresentazioni grafiche introdotte nel S.I.A., frutto di improprie rielaborazioni che hanno lasciato intendere, in vario modo, una continuità dei trend di eustatismo regionale (a Venezia come a Trieste) e di subsidenza locale anche in questi recenti decenni, fenomeni che invece, come si è visto, risultano da almeno 25-30 anni stabilizzati ed azzerati.

¹⁶ Pirazzoli (Lab. Geomorphologie, Ecole pratique di Montrouge-Francia), Maree estreme a Venezia (periodo 1872-1981), in Rivista Acqua-Aria, 10-1982.

depurate della crescita del medio marino, anche delle altre maggiori maree annuali, fino alla terza ed alla decima marea annuale ¹⁷.

Entrambi i fenomeni sono specificamente di natura e causa lagunare. A riprova di ciò, risulta nello stesso periodo la riduzione della differenza delle massime altezze di marea tra Bocca del Lido e Punta della Salute: differenza che agli inizi degli anni 30 era di circa 7-8 cm, già a metà anni '70 era ridotta a zero e ora in alcuni casi è negativa (la marea interna lagunare prima era di livello inferiore a quella del mare alla bocca, ora è talora addirittura maggiore di questa).

Ciò evidentemente non è spiegabile con la perdita del franco altimetrico (medio) per subsidenza ed eustatismo, essendo cause ed effetti di questo sostanzialmente ininfluenti, in modo sia diretto che indiretto, sulle dinamiche mareali lagunari.

I cambiamenti di queste vanno invece poste in relazione soprattutto a modifiche localizzate in grado di accentuare la propagazione lagunare delle alte maree, la loro velocità, la loro ampiezza, la loro intensità locale. Tali sono certamente state le modifiche antropiche o antropo-indotte di elementi del sistema fisico lagunare effettuate prevalentemente in questo secolo ed aventi rilevanza idrodinamica-idrogeomorfologica, ovvero di riduzione della capacità di dissipazione ed attenuazione, con interventi soprattutto alle bocche e poi nei canali lagunari (moli, sezione, profondità, tracciati, ...) ed alla estensione lagunare (interclusioni, bonifiche, colmate, ...).

III.1.1.7 Le proiezioni future per il medio marino

L'entità dei fenomeni geologici e mareografici sopra delineata permette di avanzare, per la laguna e la Città di Venezia nell'intero prossimo secolo, un'ipotesi di andamenti futuri esclusivamente in relazione alla continuazione degli attuali trend di subsidenza naturale (3 cm o meno) e di eustatismo (9-11 cm).

Quanto ad ipotesi di diverse e più consistenti variazioni del livello del mare indotte da cambiamenti climatici globali, nulla è dato per certo: degli scenari ritenuti ufficiali in sede intergovernativa (scenari IPCC) non vi è ancora alcun elemento probante o indizio di effettivo riscontro, segnali che si potranno rilevare solo con misurazioni ed osservazioni significative di lungo periodo (uno-due decenni), per la probabile lentezza di maturazione, avvio e poi anche di sviluppo del fenomeno.

In assenza di tali maggiori certezze, l'assunzione di uno scenario di evoluzione futura dell'eustatismo piuttosto di altri potrebbe essere rischiosa.

Va peraltro osservato che tra le prime probabili conseguenze del mutamento climatico globale e regionale, forse già ora visibili e riscontrabili, sarà la modifica

¹⁷ Si veda la Fig. 11, tratta da Pirazzoli, 1982, cit.

Successivi aggiornamenti sono stati prodotti nel 1985, nel 1987, nel 1989 (riferimenti in figura)

dell'intensità e della frequenza dei fenomeni meteorologici e meteomarini, compresi, se non soprattutto, quelli estremi, con le possibili ulteriori complicazioni e difficoltà di previsioni mareali e di sopralzo. Questo, in ipotesi, anche senza aumento del livello medio del mare.

III.1.2. Gli scenari eustatici

È evidente che, nell'immaginario collettivo scenari di innalzamento del mare, proiettati nel destino di Venezia evocano una immediata suggestione, forse maggiore del fatto che gli stessi scenari sconvolgerebbero il Bangladesh, o il delta del Nilo.

L'ipotesi deve essere comunque posta in una prospettiva problematica scientifica e sociale il più possibile oggettiva.

Nonostante il sicuro e misurabile accumulo di gas-serra nell'atmosfera, è necessario precisare che al momento non vi è alcuna certezza se sia in atto un fenomeno di cambiamento climatico, né se questo si esprimerà in un aumento del livello del mare. Infatti, l'aumento del livello marino non sembra possa essere l'unica conseguenza del riscaldamento dell'atmosfera e della superficie terrestre, né al momento vi sono segnali che il fenomeno stia evolvendo in questa direzione.

Per quanto riguarda quindi le previsioni dell'IPPC, assunte dal SIA, i ricercatori concordano che le prime certezze a questo riguardo si potranno avere nel prossimo ventennio a seguito di osservazioni e di ricerche coadiuvate anche dalla rete satellitare, di derivazione militare, resasi solo recentemente disponibile a fini di osservazione scientifica.

Sono scientificamente basate anche altre ipotesi di segno totalmente opposto, quali, un raffreddamento globale per effetto delle correnti profonde degli oceani, la cui movimentazione parrebbe legata al comportamento caotico del sistema climatico globale.

È importante menzionare, a questo riguardo, che anche se non definiti in termini probabilistici, sono considerati possibili scenari eustatici in cui il livello del mare si alzi di circa cinque metri (qualora si verificasse una fusione dei ghiacci dell'Antartide).

Un altro aspetto totalmente incerto e di più difficile misurazione e simulazione è di come l'aumento del mare si trasferirebbe, dalla scala globale, alle scale regionali e locali e quali effetti si manifesterebbero, con quale magnitudine, modalità, tempi.

Infatti l'eventuale cambiamento climatico, prima del livello marino, potrebbe chiamare in gioco cambiamenti del clima regionale e del tempo atmosferico locale con alterazioni delle temperature e delle precipitazioni che potrebbero esercitare influssi primari sull'erosione superficiale e sul regime idraulico che movimenterebbe un maggior trasporto solido¹⁸.

¹⁸ v. R.V.G. Carter: *Sea-Level Changes in Coastal Environments*, Academic Press, 1995, Londra

Recenti ricerche mettono in evidenza poi, come vi possa essere un ampio spettro di risposte dei sistemi costieri all'aumento del livello marino: i sistemi costieri evolvono e rispondono in modo molto positivo, sono noti fenomeni di accrescimento delle linee di costa con il crescere del livello del mare, per la disponibilità di maggiori sedimenti messi in gioco dalle correnti, dalle onde e dai bacini idrografici interni.

Se il SIA ha richiamato gli scenari eustatici dianzi ricordati, non ha considerato, almeno a livello qualitativo, altri scenari possibili di tipo eustatico che si stanno analizzando in sede scientifica e che potrebbero avere segno opposto rispetto agli scenari precedenti, quali quelli che si verrebbero a creare qualora i cambiamenti climatici in corso mettessero in moto una nuova riorganizzazione del trasporto delle acque profonde atlantiche e delle configurazioni climatiche che da esso dipendono.

III.1.3. Gli scenari climatici perturbati e il bacino idrografico retrostante alla Laguna di Venezia

Il proponente sembra ignorare che, nel verificarsi degli scenari eustatici da esso stesso prospettati, l'intero sistema idrografico della pianura padana, il delta del Po e i fiumi primari alle spalle di Venezia subirebbero tali influenze da sconvolgere i rapporti tra il bacino idrografico e la Laguna.

Sono stati studiati gli effetti di scenari eustatici al 2100 per le aree dell' Alto Adriatico, potenzialmente interessate da inondazioni con brevi tempi di ritorno: queste possono coinvolgere significative porzioni del territorio retrostante la laguna, creando condizioni di aggiramento per le progettate dighe mobili (vedi figura allegata).

Il SIA non ha considerato neppure possibili scenari di variazioni climatiche che potrebbero comportare in tempi più ravvicinati, un aumento nella frequenza delle chiusure anche in assenza di significativi aumenti del livello del mare.

Una situazione di questo tipo potrebbe ad esempio aversi in caso di aumento delle perturbazioni o delle condizioni meteomarine che sono attualmente alla base della formazione delle "acque alte". Un cambiamento nella distribuzione delle piogge e di altre precipitazioni come conseguenza di alterazioni di origine antropica è, anche, uno dei temi più attuali nelle analisi del "global change".

Le conseguenze di questi scenari perturbati possono essere considerate, simili a quelle generate dagli scenari eustatici, ma tali da far accelerare l'esigenza di chiusure sempre più frequenti a fronte di fenomeni mareali complessi o composti, come quelli già verificatesi in laguna negli scorsi anni.

Le conseguenze di tali situazioni sono state esaminate nella Parte II di questa relazione, *Il Quadro Progettuale di Area Vasta*, rispetto alle quali la Commissione ritiene che :

- il progetto non dia sufficienti garanzie di poter ottenere, per eventi complessi sia di tipo mareale che di tipo idrologico, gli obiettivi dichiarati.

III.2 Gli orizzonti temporali assunti dalla Commissione

Per una argomentazione il più possibile rigorosa per la valutazione degli effetti e degli impatti del Progetto sull'ecosistema veneziano, al fine di distinguere tra ciò che può essere fondato su dati reali e ciò che è basato su assunzioni e proiezioni di eventi incerti, seppure non certo trascurabili, la Commissione ha deciso di articolare il futuro entro tre orizzonti temporali:

- il periodo tra la data attuale ed il 2010, per il quale si può assumere entro certi limiti come riferimento la situazione eustatica ed ecologica attuale, rispetto alla quale viene riferito l'analisi degli impatti del SIA e che sono l'oggetto della presente valutazione;
- due scenari di più lungo termine :
 - il periodo tra il 2010 ed il 2025, quando si può presumere che si saranno meglio precisate, dalle osservazioni internazionali e regionali (Mediterraneo, Adriatico, Alto Adriatico, sistema delle lagune costiere, bacini idrografici dei fiumi principali) le reali tendenze eustatiche e le conseguenti modifiche territoriali e ecosistemiche;
 - il periodo successivo al 2025, in cui sarebbero attivi, nel caso si stessero verificando, profili eustatici diversi dagli attuali, rispetto ai quali è solo ipotetico poter prevedere le evoluzioni del sistema; tali evoluzioni andrebbero in ogni caso considerate nella globalità degli effetti territoriali, idraulici superficiali e profondi, meteomarinari ed infine ecosistemici.

Su questi due ultimi scenari si riporta la valutazione espressa dal Collegio degli Esperti.

La Commissione infatti giudica quanto mai superficiale, invocare per Venezia e la laguna scenari di innalzamento del mare senza una sufficiente rappresentazione delle implicazioni territoriali, regionali e locali che si accompagnerebbero ad essi, estese all'intero bacino scolante e alle coste; una rappresentazione solo parziale può risultare fuorviante circa la qualità della risposta che la nazione sarebbe tenuta a dare, sulle probabilmente mutate priorità e la destinazione delle risorse.

Solo sulla base di maggior certezza, si potranno prendere le giuste decisioni, potrebbero esserci infatti decisioni affrettate, eccessive o sbagliate, a fronte di scenari del tutto incerti.

In questa direzione sembra potersi interpretare la valutazione del Collegio, seppure in considerazione di alcune sue affermazioni contraddittorie.

COASTAL EVOLUTION OF THE UPPER ADRIATIC SEA

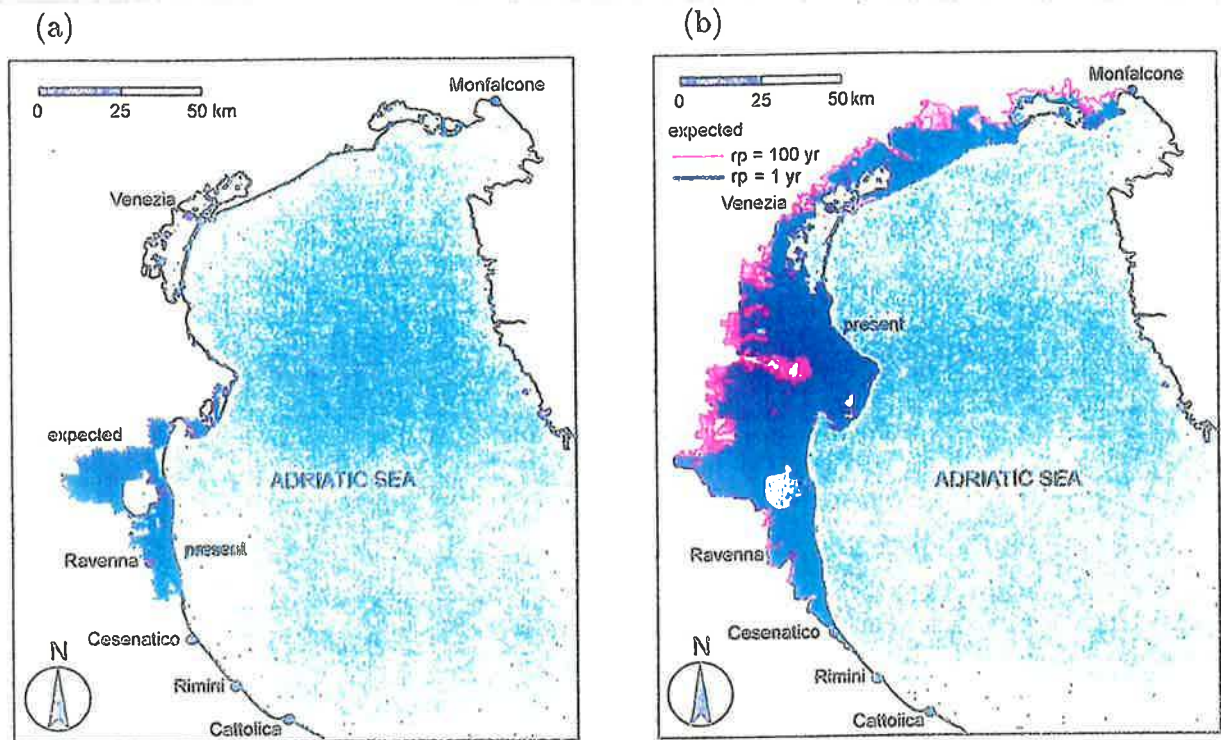
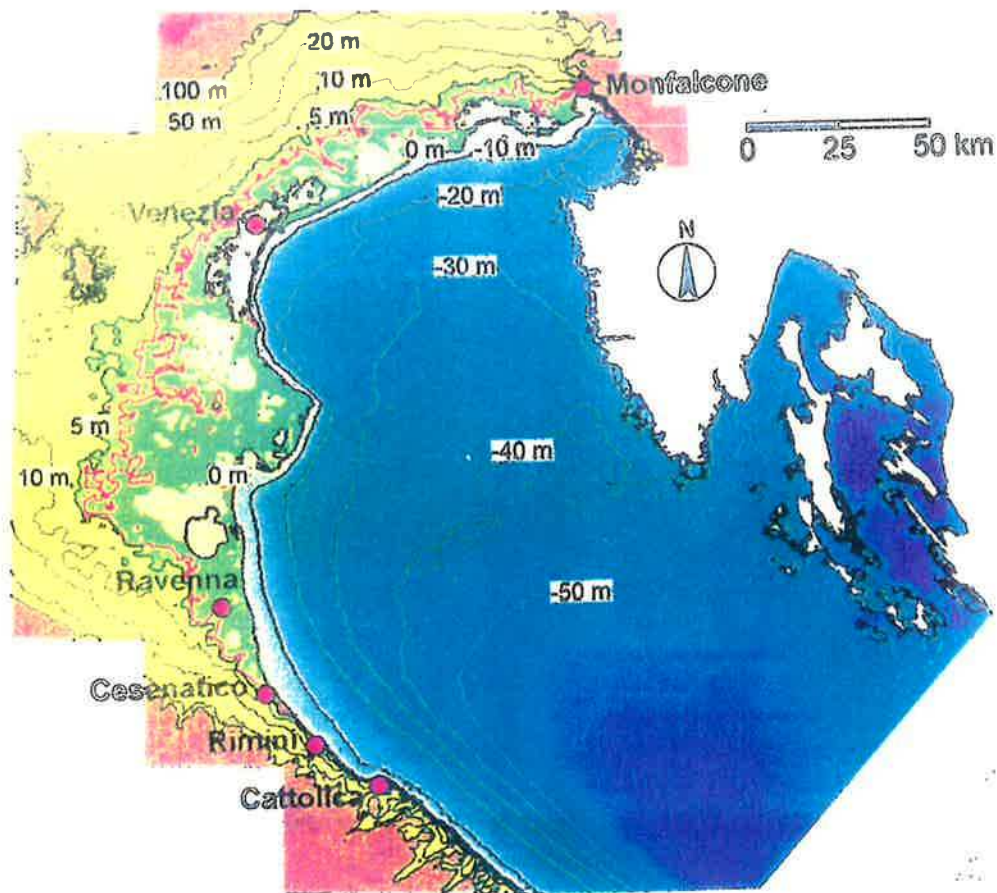


Figure 1.18: Potential coastline regression during the next 100 years caused by natural and anthropic land subsidence and mean sea level rise due to global climate change (a). Potentially flooded lowlands in the year 2100 with 1 and 100 year return period rp (b).



Digital Elevation Model of the Upper Adriatic Sea basin. The red profile shows the maximal extent of the potentially flooded area in the year 2100 due to a meteo-marine storm with a 100 year return period

III.2.1 La valutazione del Collegio sugli scenari eustatici

Nella situazione di massima rapidità con un aumento del livello marino di circa 20 cm, previsto per l'anno 2050, il numero di chiusure salirebbe da 12 a 70 per la quota +100 cm. Il "Collegio" ha ritenuto questi scenari "una ragionevole scelta per la analisi dell'impatto ambientale del Progetto"¹⁹.

La scelta di tali scenari è stata giudicata "ragionevole" dal "Collegio", che peraltro sottolinea l'elevata incertezza delle proiezioni eustatiche specialmente con riferimento agli aspetti regionali. Il "Collegio" indica anche, come elemento valutativo importante, la traiettoria nel tempo delle variazioni eustatiche: *"il clima ed il livello del mare non rispondono immediatamente ai cambiamenti nella composizione dell'atmosfera ed ai relativi cambiamenti nell'equilibrio della radiazione solare. Infatti c'è una inerzia temporale considerevole, 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 inizio lento ed una accelerazione nel corso del tempo. ... 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"*²⁰. Si concorda sull'importanza della traiettoria nel tempo delle variazioni eustatiche; quanto alla sua concavità ed alla collocazione temporale del punto di accelerazione (tale ad esempio da far collocare al 2050 il momento in cui l'eustatismo avrà prodotto un innalzamento di 20 cm) non risulta esistano ad oggi riferimenti scientifici certi.

In termini generali uno scenario di tipo B o C (elevato eustatismo) avrebbe comunque significative ripercussioni sull'ecosistema di riferimento.

Determinerebbe anche una condizione differente di utilizzo delle chiusure delle dighe mobili, che da 12 nelle condizioni attuali salirebbe ad un ordine di 70 quando la crescita del livello del mare avrà raggiunto 20 cm.

Il Collegio, avverte che *"per il sistema lagunare, una situazione di 70 chiusure l'anno avrà probabilmente degli effetti sul sistema ecologico"* e può *"creare problemi alle operazioni portuali"*²¹ ed ancora *"Questo processo causerebbe una graduale, ma inevitabile, trasformazione della laguna da un sistema marino aperto ad un sistema semiaperto ad acqua salmastra"*²².

"In tali condizioni di aumento del mare - continua il Collegio - ci si attende che la società e le autorità tendano ancora a proteggere Venezia e le aree urbane adiacenti". Nelle nuove circostanze "è probabile che esse tenteranno di proteggere anche la laguna anche se ciò richiederà schemi di protezione lungo la costa del Lido, Pellestrina e Malamocco" e che "per proteggere l'ecosistema della laguna si dovrebbero sviluppare dei sistemi che permettano uno scambio

¹⁹ Collegio degli Esperti, Relazione, pg. 10, Introduzione pg. iv, Relazione pg. 20).

²⁰ Collegio degli Esperti, Relazione, pg. 9 e 10.

²¹ Collegio Esperti, Relazione, pg. 19.

²² Collegio Esperti, Relazione, Sintesi, iv.

*continuo della marea con il mare*²³” e segnala che a fronte di una tale situazione: “una soluzione alternativa potrebbe essere “ *l’innalzamento dei livelli di protezione delle aree urbane più vulnerabili a +120 cm, qualora realizzabile. In tal caso il numero delle chiusure potrebbe essere mantenuto a un livello di 12 l’anno*²⁴”.

Converrebbe qui mettere in rilievo una certa palese contraddizione circa la valutazione che il Collegio fa di questo provvedimento, “si stimano 60 anni o più per la realizzazione (pg 35)” o “è fattibile, ma richiederà 90 anni (pg. 37)”.

Queste scelte dovrebbero avvenire sull’ “ *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* ”²⁵.

Il Collegio valuta che a causa del numero crescente delle chiusure, come nel caso dello scenario eustatico C, oltre agli effetti ambientali, altri effetti più complessivi potrebbero essere importanti: “*quando una nuova valutazione ambientale potrebbe essere 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*”²⁶.

Ciò è molto importante per orientare quello che si deve fare nel medio termine.

- Sulla base delle considerazioni precedenti si può concludere che le opere in progetto non sono valutabili - o stando alle ipotesi del Collegio lo sarebbero negativamente - per scenari eustatici che prevedono innalzamenti del livello del mare: in tal caso cambierebbero drasticamente la natura dell’ecosistema veneziano e del territorio retrostante; cambierebbero con ogni probabilità le opzioni di uso del sistema (portualità ecc.) in funzione delle esperienze scientifiche e delle preferenze sociali di allora.
- Appare affrettata e non congruente un’affermazione quale quella del Collegio secondo cui “*le barriere mobili, che possono garantire la protezione di Venezia per diversi livelli del mare offrono...la possibilità di un adattamento progressivo alle nuove circostanze*”²⁷ derivanti da un cambiamento climatico.
- Qualora si profilassero realmente processi di elevato innalzamento del livello del mare, saranno necessari e potranno risultare più idonei ed accettabili assetti idraulici e di intervento anche significativamente differenti da quello prospettato dal Progetto in esame.

²³ ibidem,pg.20

²⁴ ibidem,pg.20

²⁵ ibidem,pg.20

²⁶ Collegio Esperti, Relazione, pg. 28.

²⁷ Collegio Esperti, Relazione, pg. 43.

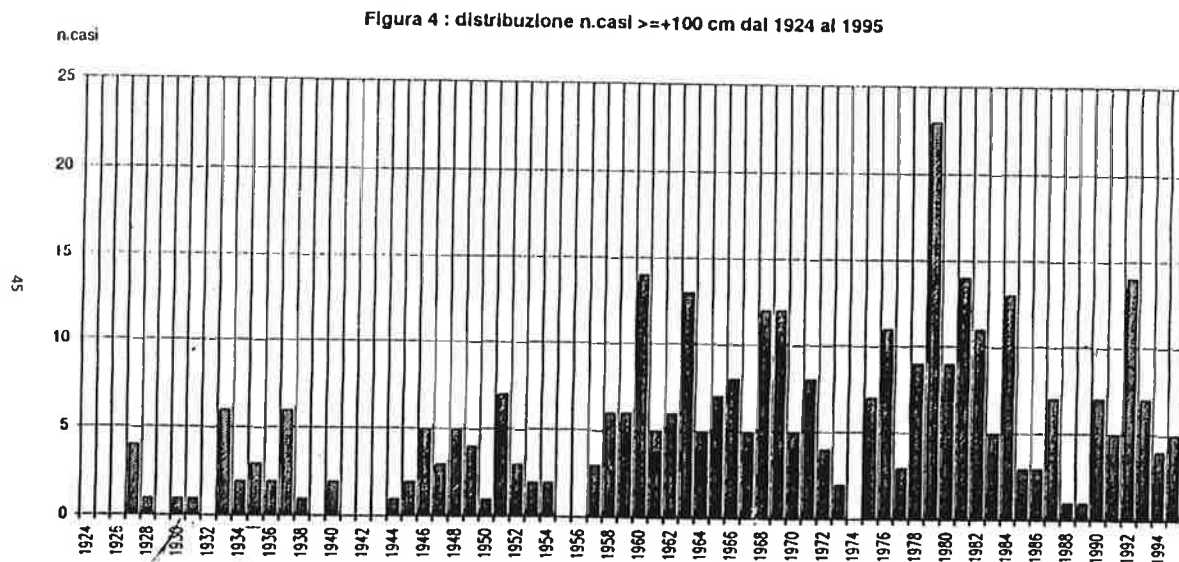
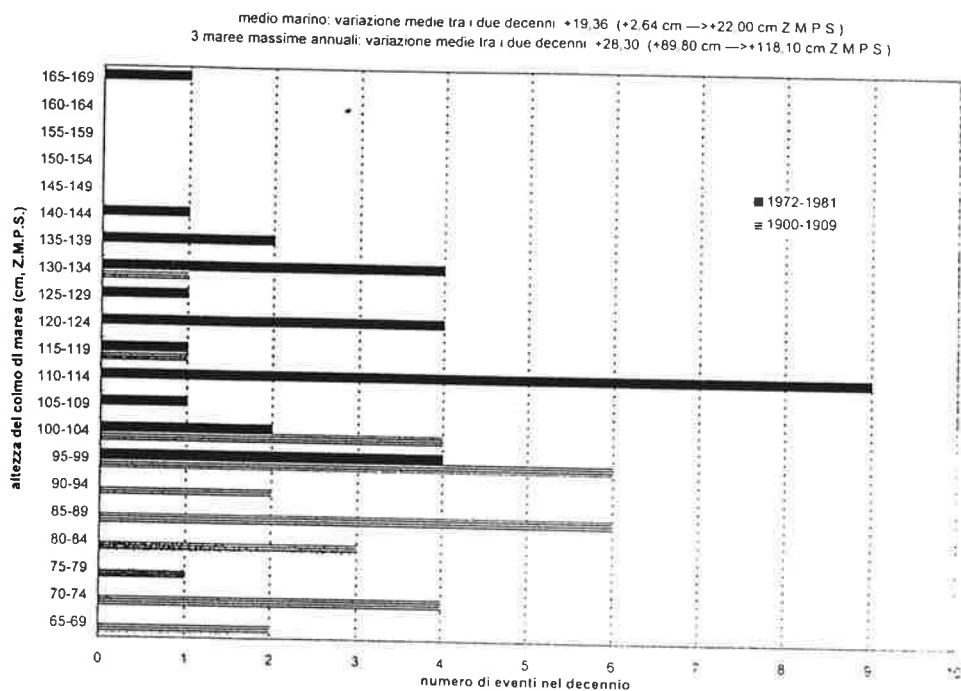


Fig. 1. La frequenza annuale di maree di colmo ≥ 100 cm (Z.M.P.S.) nel periodo 1924-1995

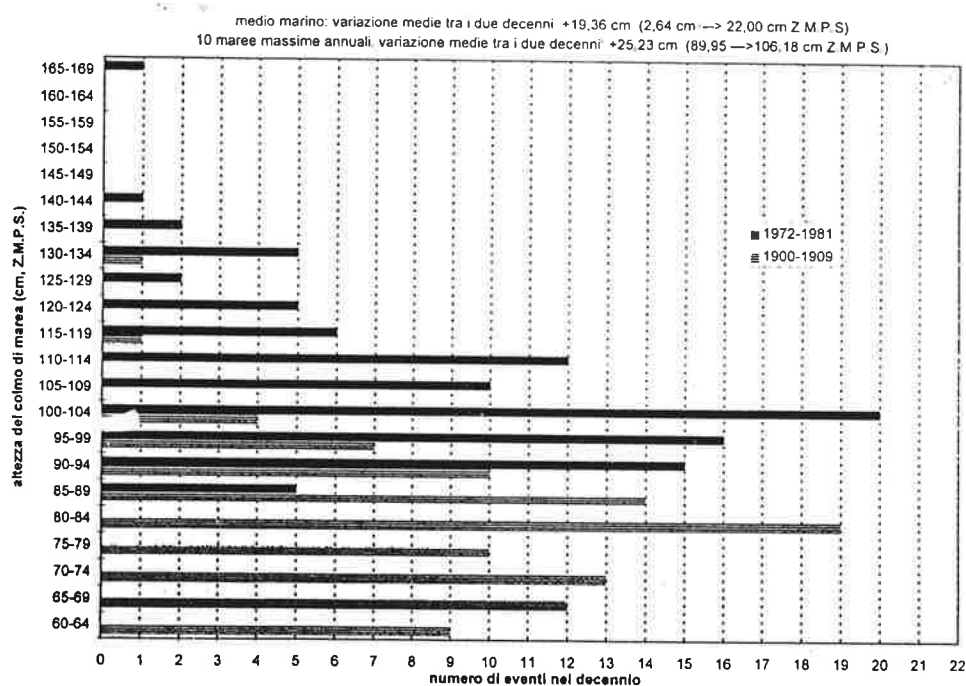
(Comune di Venezia, *Definizione dei rischi derivanti dalle acque alte per l'abitato di Venezia*, Venezia, Novembre 1996. Allegato al S.I.A.;
Elaborazione del Servizio Previsione e Segnalazione Maree del Comune di Venezia)

Le 3 maree massime annuali dei decenni 1900-1909 e 1972-1981



[elab. da dati pubblicati da P.A. Pirazzoli, Maree estreme a Venezia 1872-1981 in *Aria & Acqua* 10-1982]

Le 10 maree massime annuali dei decenni 1900-1909 e 1972-1981



[elab. da dati pubblicati da P.A., Maree estreme a Venezia 1872-1981, in *Aria & Acqua*, 10-1982]

Fig. 2. La frequenza decennale delle 3 massime maree annuali e delle 10 massime maree annuali, per intervalli di 5 cm del colmo di marea (Z.M.P.S.), nei decenni 1900-1909 e 1972-1981

(Elaborazione da serie storiche pubblicate da: Pirazzoli (Lab. Geomorphologie, Ecole pratique di Montrouge-Francia), *Maree estreme a Venezia (periodo 1872-1981)*, in *Rivista Acqua-Aria*, 10-1982.)

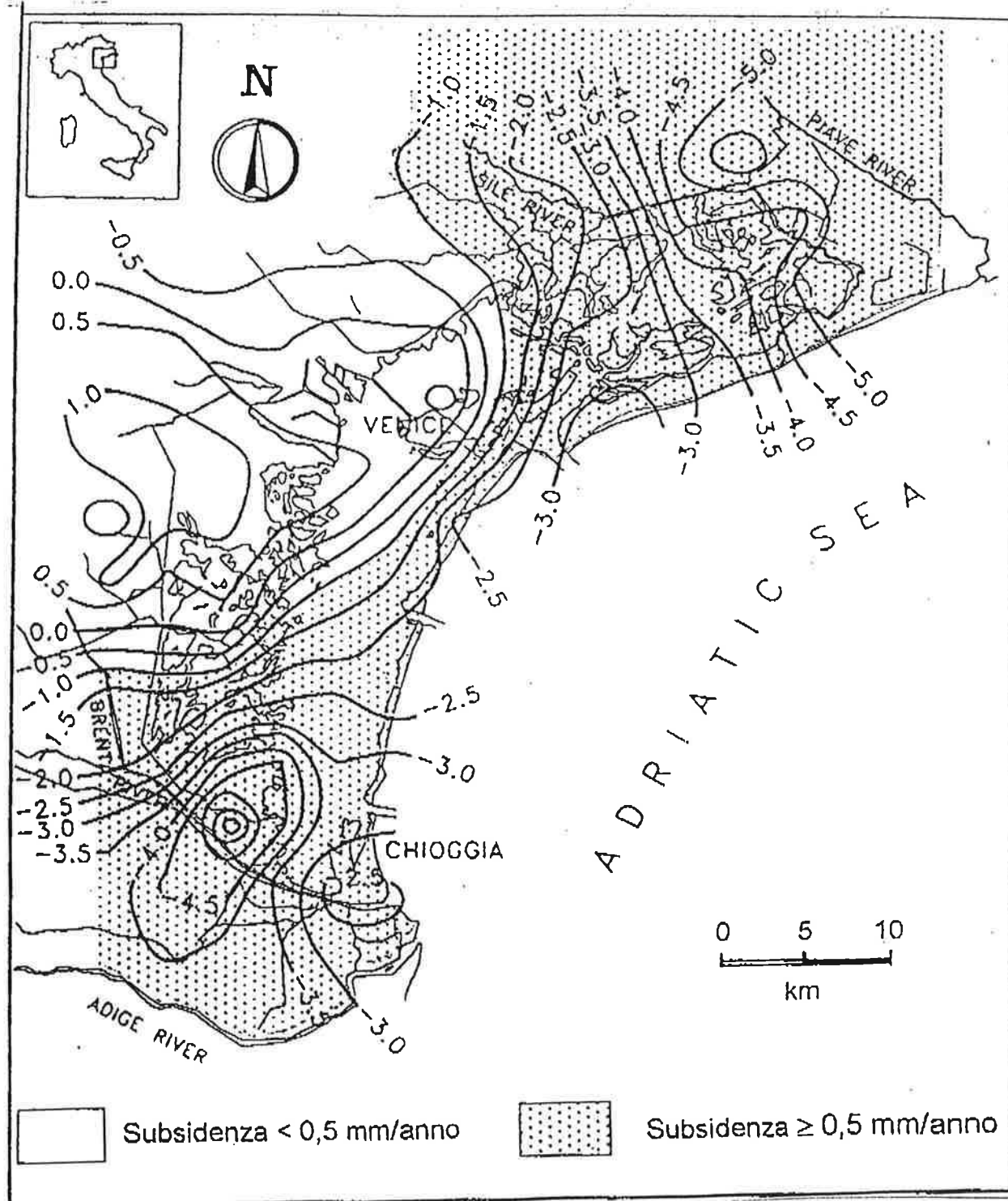


Fig. 4. *Mapa delle differenze altimetriche (cm) tra il 1993 ed il 1973 (Carbognin et al., 1994).*

(ricostruzione con il metodo dell'interpolazione stocastica del Kriging)

(da Carbognin Tosi (CNR, Venezia): *La Subsidenza nell'area veneziana: attuali tendenze ed implicazioni*, Pre-print degli Atti GEOFLUID, Giornata di studio su Problemi di geingegneria, estrazioni di fluidi e subsidenza, Piacenza, 1-4 ottobre 1998)

(analoga rappresentazione in: Carbognin-Taroni-Tosi (CNR VE), Gambolati-Teatini (Univ. PD), Marabini (CNR BO), *Analisi del processo di subsidenza nell'area veneziana e sua simulazione con un modello tridimensionale non lineare*, Pre-print Sistema Lagunare Veneziano - CNR Venezia, 1994)

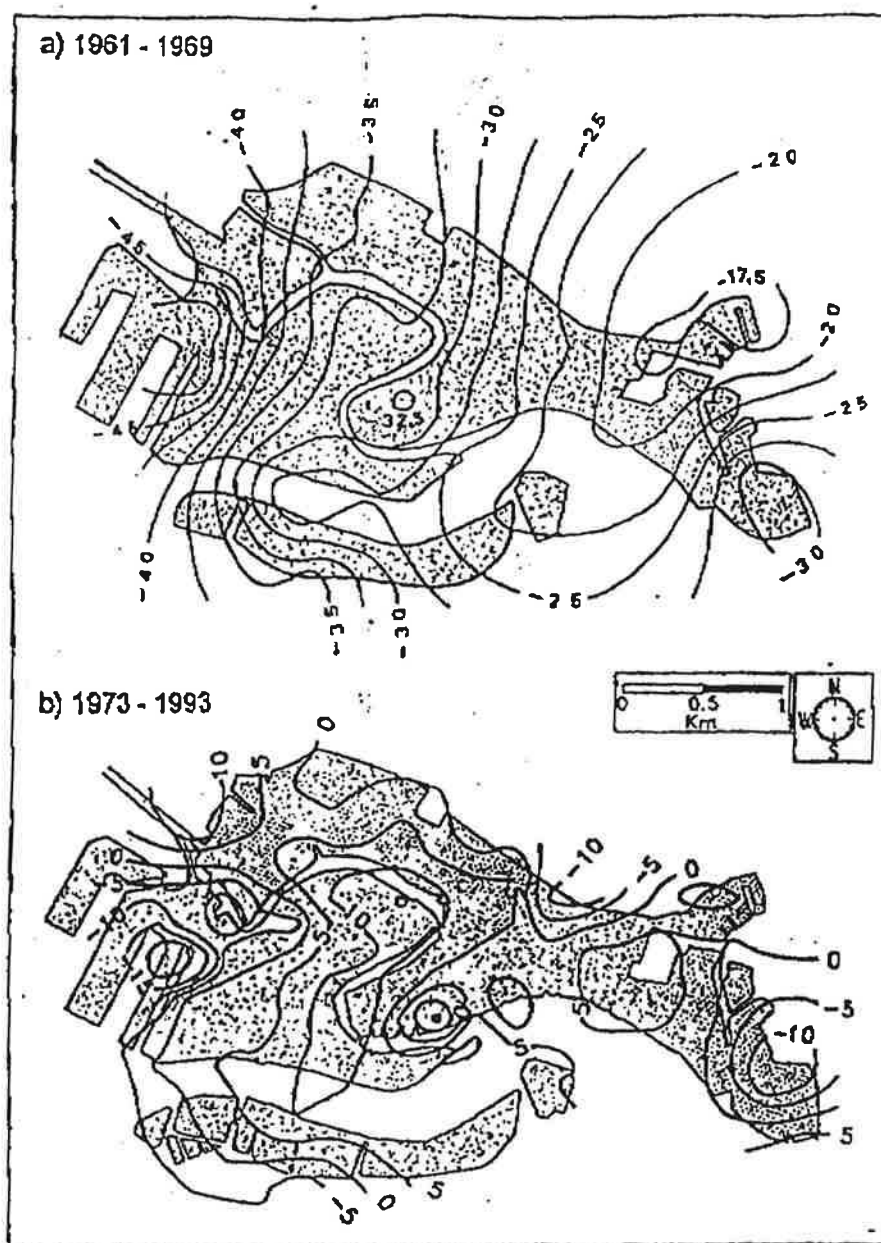


Fig. 3-Subsidenza a Venezia: mappa delle isocinetiche (mm) (a) 1961-1969 e (b) 1973-1993.

Fig. 5. Variazioni altimetriche nel Centro Storico di Venezia dal 1961 al 1969 e dal 1973 al 1993

(da Carbognin-Taroni-Tosi (CNR VE), Gambolati-Teatini (Univ. PD), Marabini (CNR BO), *Analisi del processo di subsidenza nell'area veneziana e sua simulazione con un modello tridimensionale non lineare*, Pre-print Sistema Lagunare Veneziano - CNR Venezia, 1994)

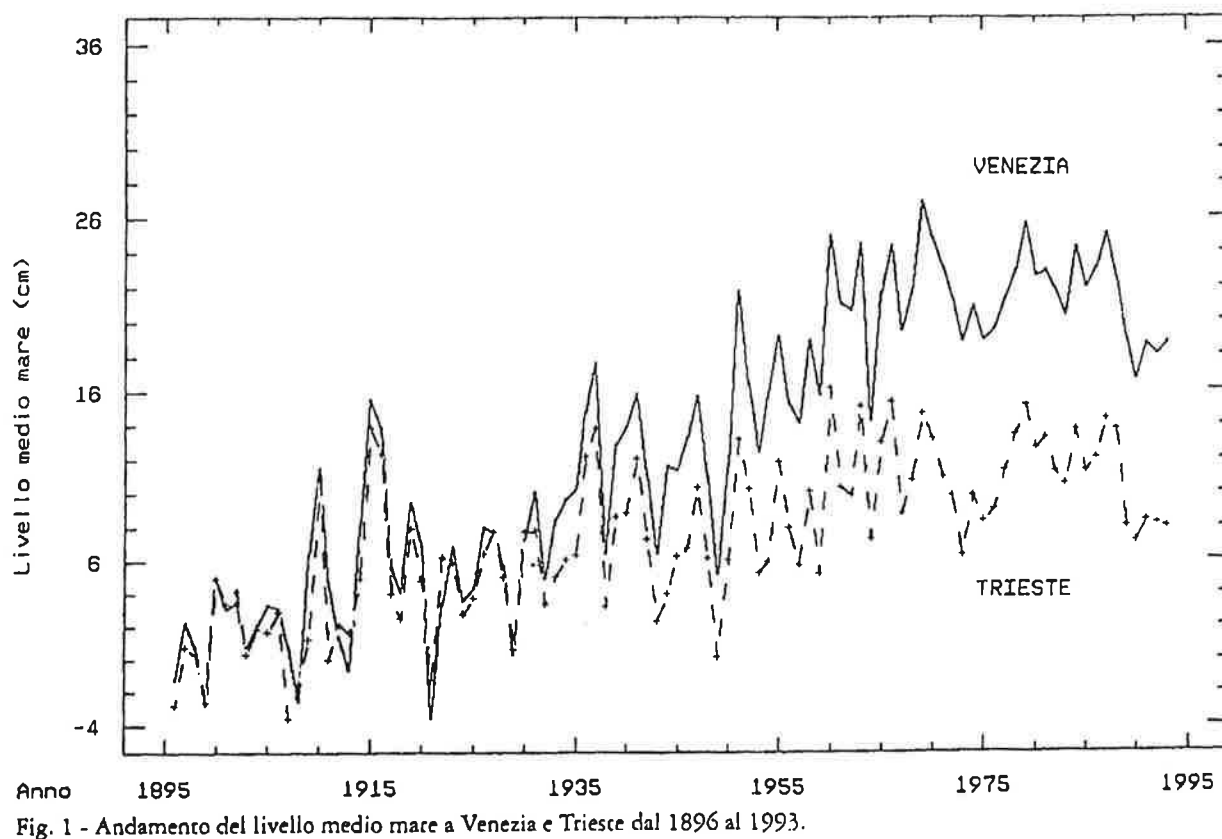


Fig. 1 - Andamento del livello medio mare a Venezia e Trieste dal 1896 al 1993.

Fig. 6. Andamento del livello medio del mare a Venezia e Trieste dal 1986 al 1993

(da Carbognin-Taroni (CNR Venezia), *Eustatismo a Venezia e Trieste nell'ultimo secolo*, Atti dell'Istituto Veneto di Lettere, Scienze ed Arti, Tomo CLIV (1995-1996), Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali, Venezia, Novembre 1996, pag.293.)

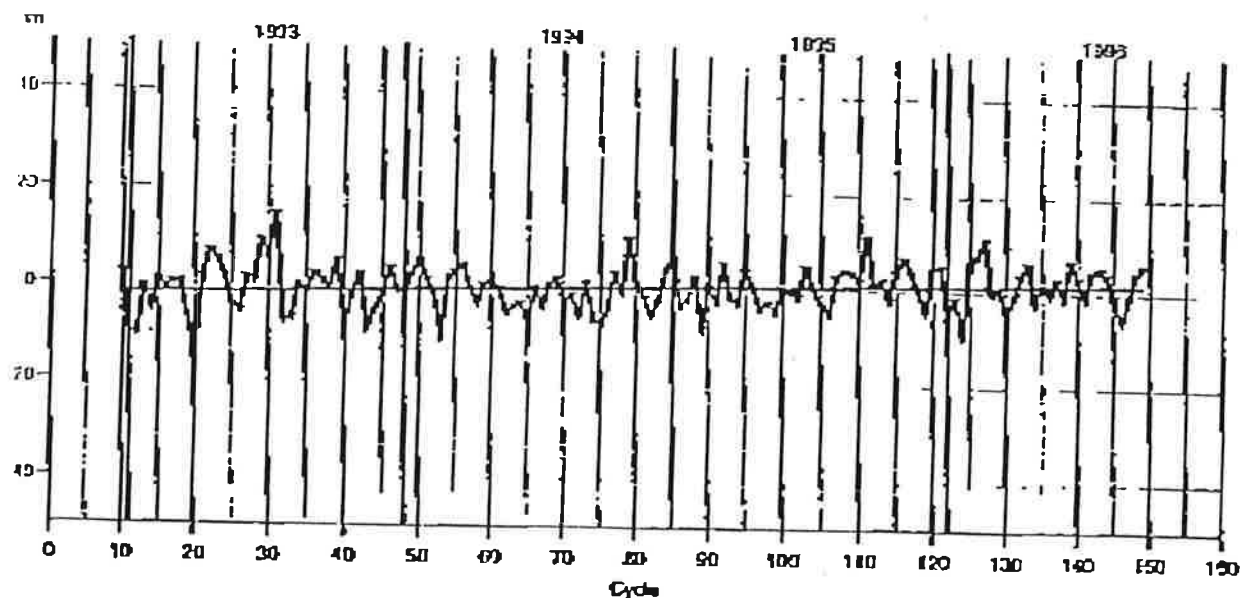


Fig. 2. - Changements du niveau global de la mer mesurés par Topex-Poséidon entre octobre 1992 et octobre 1996. La tendance est une montée de 0.91 ± 0.36 mm/an (A. Cazenave, comm. pers., juillet 1997).

Global sea level change measured by Topex-Poseidon from October 1992 through October 1996. The drift is a rise of 0.91 ± 0.36 millimetre per year.

Fig. 8. Andamento del livello medio del mare Globale Ottobre 1992 - Ottobre 1996: misure effettuate dal Satellite Topex-Poseidon.

(da Pirazzoli, *Sur la vitesse des variations du niveau de la mer*, 1998, Annales de Géographie, n. 600, 1998, pag.229)

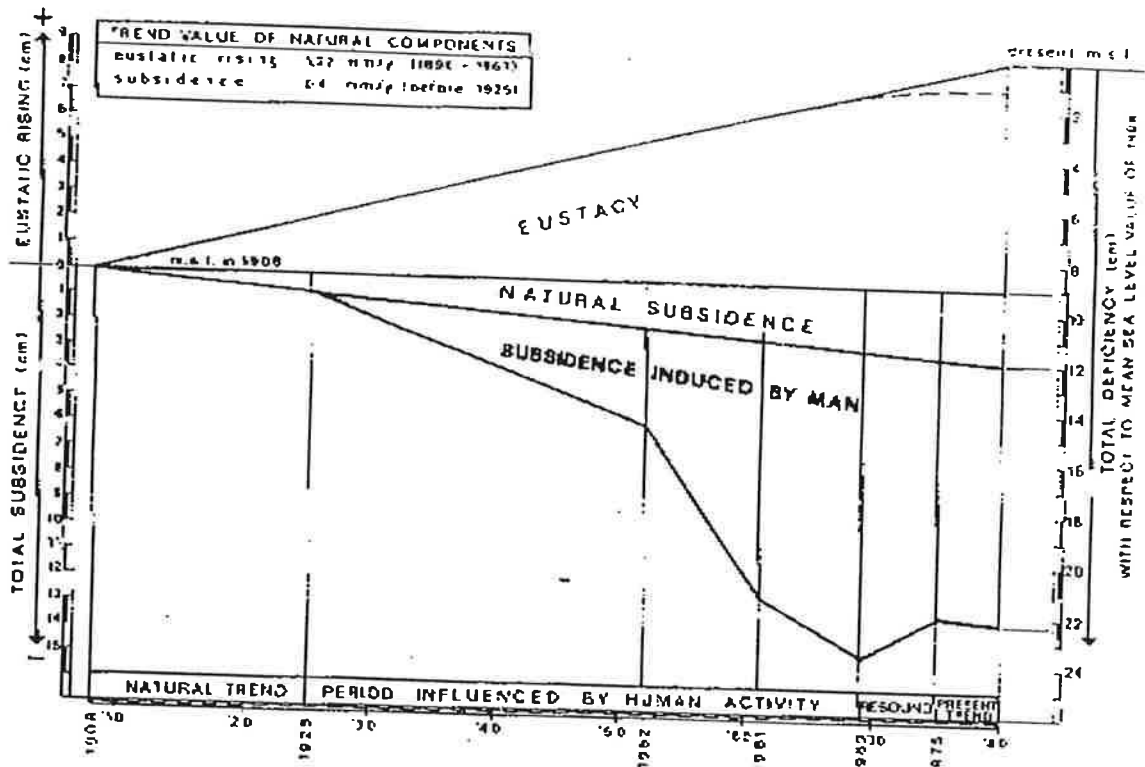


Fig. 10 The combined lowering of the surface level of Venice and the contribution of the three responsible factors from 1908 to 1980.

Fig. 9. Le componenti di variazione del franco altimetrico a Venezia

(da Gatto-Carbognin (CNR Venice), *The Lagoon of Venice: natural environmental trend and man-induced modification*, 1981 in Hydrological Sciences - Bulletin - des Sciences Hydrologiques, 26, 4, 12/1981, pg. 388)

Fig. 1 - Stazione mareografica di Punta della Salute: andamento del livello medio mare dal 1923 al 1997. (media mobile su 17 anni)

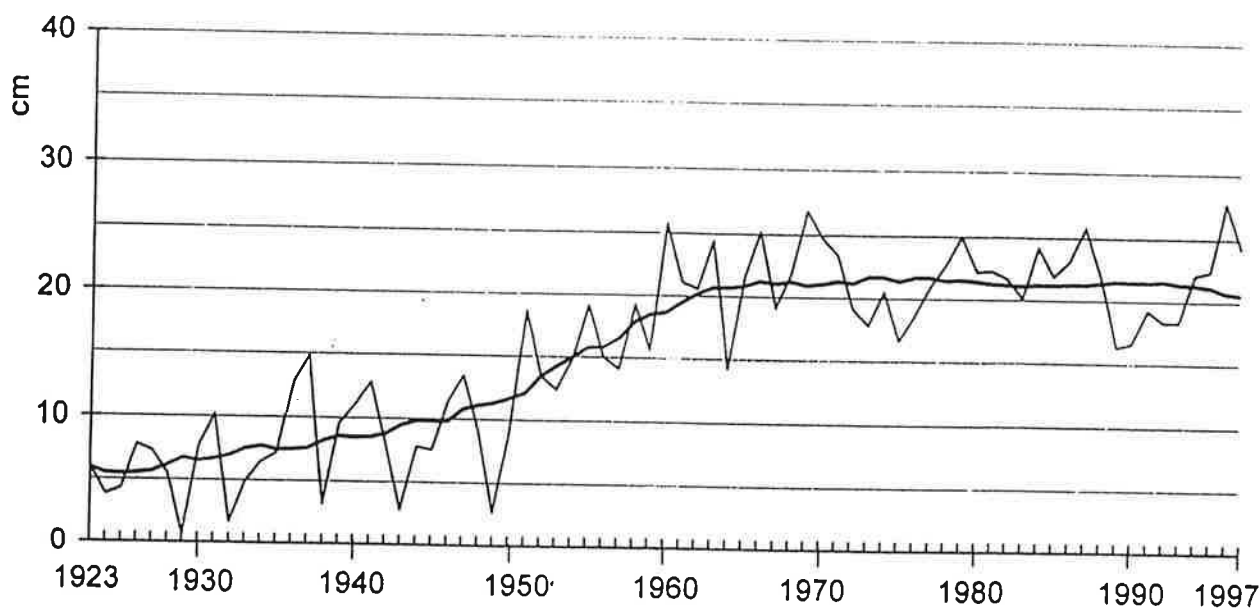


Fig.10. Andamento del livello marino medio di Venezia (Z.M.P.S.) 1923-1997 (media mob.21 anni)

(Rilevazioni ed Elaborazione del Centro Previsione e Segnalazione Maree del Comune di Venezia, Nov. 1998)

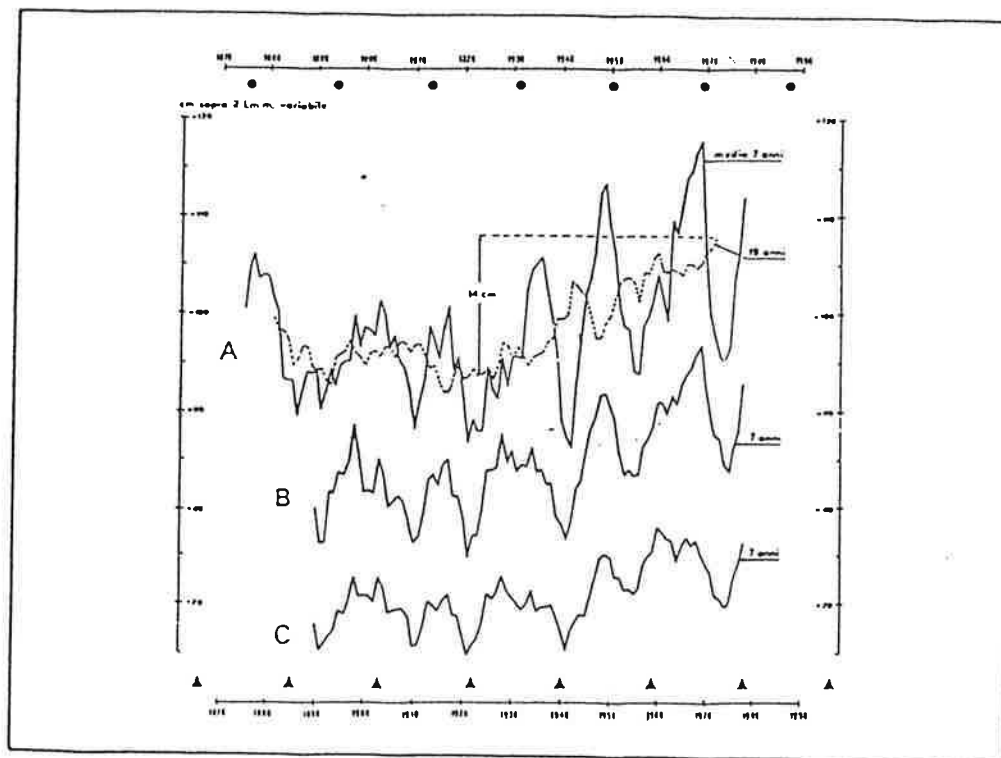


Fig. 6 - Evoluzione delle più alte quote di marea a Venezia, dal 1872 al 1981, dopo aver sottratto le variazioni del livello medio marino: medie mobili su 7 e su 19 anni. A: massimo valore annuale; B: terzo valore annuale; C: decimo valore annuale. Cerchi pieni (in alto): anni di massimo influsso della declinazione lunare; triangoli (in basso): anni di minimo influsso.

ACQUA-ARIA - 10-1982

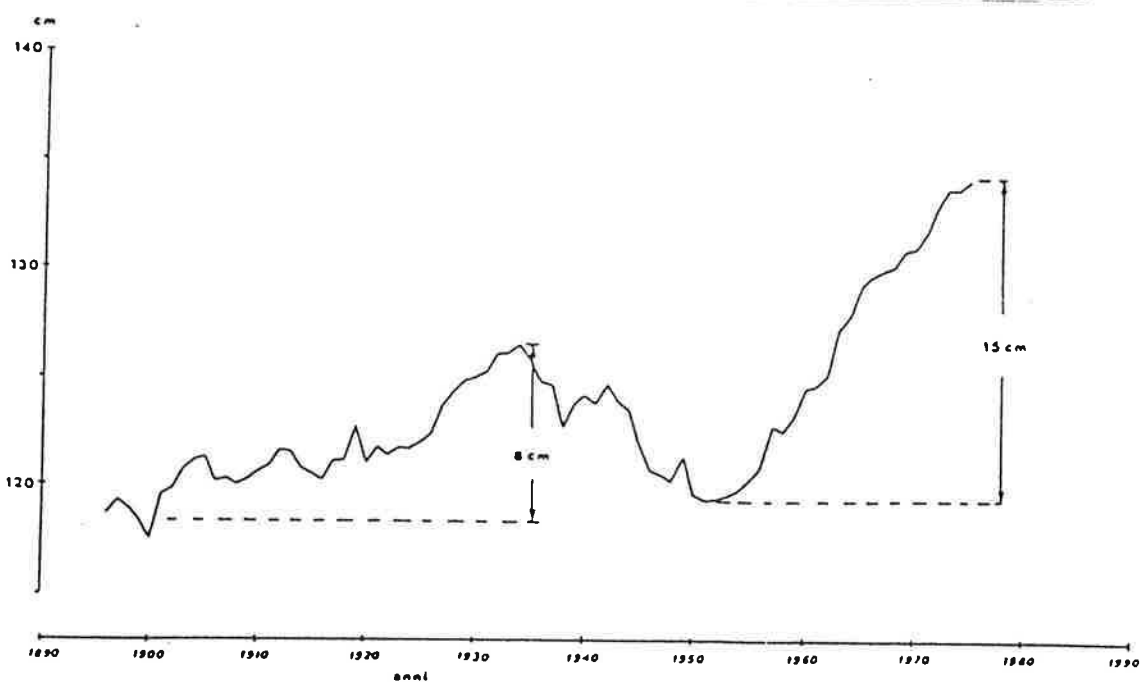


Fig. 2 - Evoluzione delle massime ampiezze annuali di flusso a Venezia, dal 1887 al 1984: medie mobili su 19 anni. (da Ateneo Veneto, vol. 23, n. 1-2, 1985).

Fig. 11. Evoluzione delle più alte quote di marea e delle massime ampiezze di flusso a Venezia

(da Pirazzoli, pubblicazioni varie già citate)

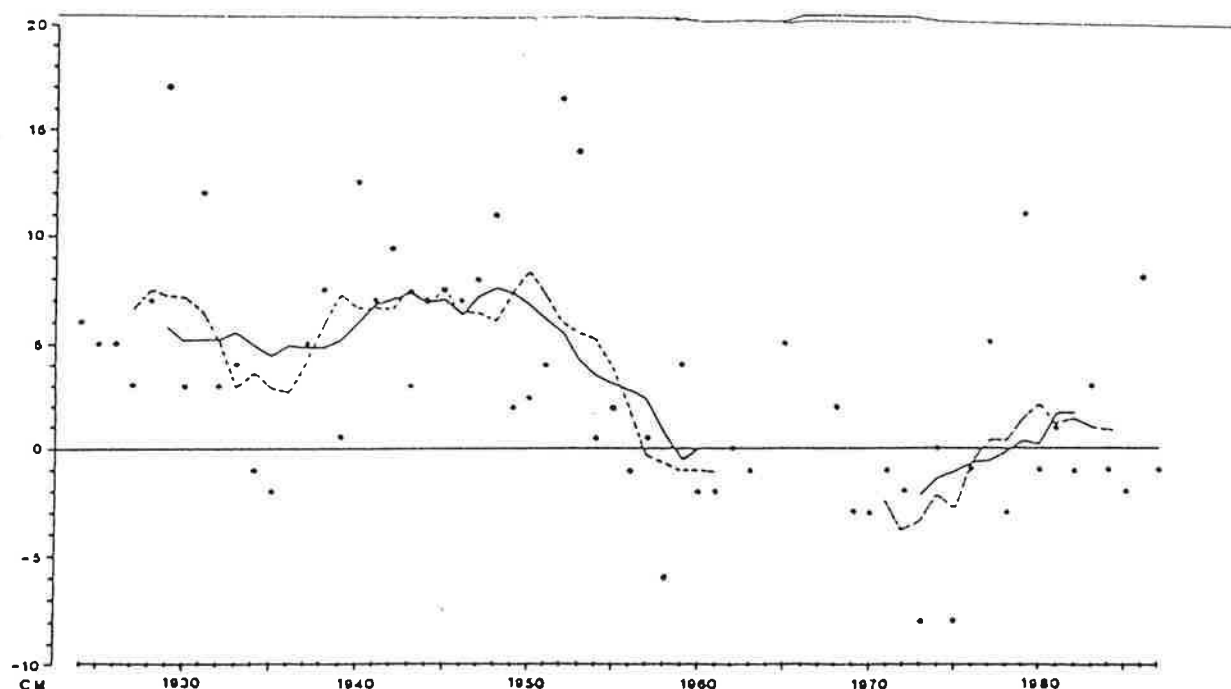


FIG. 6 - Differenze di altezza tra le massime maree annue registrate a Diga Sud Lido ed a Punta della Salute, dal 1924 al 1987. Cerchi pieni: differenze registrate; linea continua: media mobile su 11 anni; linea tratteggiata: media mobile su 7 anni.

(Ateneo Veneto, 1989. "Effetto serra" e livello marino: quali prospettive per Venezia?")

Fig. 12. Differenze di altezza delle maree massime tra Diga Sud Lido e Punta Salute, 1924-1987

(Ateneo Veneto, 1989. "Effetto Serra" e livello marino: quali prospettive per Venezia ?")