Co.Ri.La.

Consorzio per la Gestione del Centro di Coordinamento delle Attività di Ricerca Inerenti il Sistema Lagunare di Venezia

Scenari di crescita del livello del mare per la Laguna di Venezia

Vol. 1, Novembre 1999

Il Co.Ri.La., Consorzio per la Gestione del Centro di Coordinamento delle Attività di Ricerca inerenti il Sistema Lagunare di Venezia, nasce da una iniziativa del Comitato Interministeriale, di cui all'Art.4 della Legge 798/84 (Seconda Legge Speciale per Venezia), tesa alla razionalizzazione dei risultati finora conseguiti dalle Istituzioni Pubbliche di Ricerca che hanno operato nel bacino lagunare ed allo sviluppo delle attività di ricerca ancora necessarie al fine di indirizzare gli interventi a difesa dell'ecosistema lagunare e della città di Venezia.

Il Co.Ri.La. è stato istituito in data 22 Maggio 1998 come Associazione fra l'Università Cà Foscari di Venezia, l'Università degli Studi di Padova, l'Istituto Universitario di Architettura di Venezia ed il Consiglio Nazionale delle Ricerche.

Il Co.Ri.La. ha come obiettivi fondamentali, secondo l'Art. 3 del proprio Statuto, la promozione ed il coordinamento delle attività di ricerca, anche internazionali, aventi come riferimento la laguna veneta. A tal fine, il Co.Ri.La. promuove il confronto fra la comunità scientifica internazionale, raccoglie tutti gli elementi informativi del sistema fisico, territoriale, ambientale, economico e sociale della laguna e degli insediamenti lagunari, elabora e gestisce in modo integrato tali informazioni, svolge progetti scientifici di ricerca di natura interdisciplinare relativi ai problemi della Laguna di Venezia e cura la massima diffusione dei risultati della ricerca svolta.

Data la complessità ed unicità dell'ambiente lagunare veneziano per i suoi patrimoni ambientale, economico e culturale, fra loro strettamente interconnessi, l'intera attività di ricerca del Co.Ri.La. è quindi mirata a considerare Venezia e la laguna nella indissolubilità e dinamicità di queste tematiche.

Co.Ri.La.
DORSODURO 3246, C/O UNIVERSITÀ CA' FOSCARI, 30123 VENEZIA
TEL. ++39.041.2578295- FAX ++39.041.257 8304

Co.Ri.La.

Consorzio per la Gestione del Centro di Coordinamento delle Attività di Ricerca Inerenti il Sistema Lagunare di Venezia

Scenari di crescita del livello del mare per la Laguna di Venezia

Vol. 1, Novembre 1999

SCENARI DI CRESCITA DEL LIVELLO DEL MARE PER LA LAGUNA DI VENEZIA

1. Premessa

Per valutare l'adeguatezza del Progetto di regolazione dei flussi di marea alle bocche di porto (MO.S.E.), il Ministro dell'Ambiente nel DEC/VIA/3505, richiede anche un approfondimento sulla tematica inerente gli scenari di crescita del livello medio del mare, onde meglio definire la frequenza con la quale avverrebbe la chiusura delle barriere mobili. In particolare, nel sopracitato Decreto il Ministro indica che al fine di un riesame del Progetto dovrebbero essere riesaminate "*le caratteristiche peculiari regionali degli scenari di eustatismo provocati dai cambiamenti climatici dovuti all'effetto serra.*"

Gli scenari prospettati dal Proponente (Consorzio Venezia Nuova) nello Studio di Impatto Ambientale del 1997, che devono essere quindi verificati sono i tre seguenti:

A. Si basa su dati degli ultimi 20 anni, a Venezia. Ipotizza quindi l'assenza di eustatismo e l'occorrenza della sola subsidenza naturale. Il tasso di

"accrescimento"[1] del l.m.m apparente viene quindi stimato pari a **0.4 mm/anno**, con un conseguente aumento **al 2100 di 4.4 cm** del livello medio mare. Per tale scenario vengono previste 12 chiusure annue delle barriere mobili.

B. Proietta al secolo futuro la crescita media eustatica rilevata nei 100 anni passati. Ipotizza che sia eustatismo sia subsidenza naturale continueranno nei prossimi anni. Il tasso di accrescimento complessivo viene stimato tra **1.6** e **2 mm/anno**, con un conseguente aumento del l.m.m **al 2100 di 16-20 cm**. Per tale scenario, se il livello mare arriverà a +20cm, sono previste 70 chiusure annue.

C. Considera le previsioni su scala globale dell'Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 1995. Ipotizza, in aggiunta allo scenario B, un aumento del livello del mare dovuto a cambiamenti climatici. Il tasso di accrescimento non è costante e l'aumento previsto **al 2100 è di 53.4 cm** del livello medio mare. Per tale scenario sono previste, già dopo 50 anni, più di 70 chiusure annue.

Si ricorda che la durata media di ogni chiusura è di circa 3 ore e che i casi di chiusura menzionati per i tre scenari includono anche quelli per falso allarme, di ben più breve durata.

---

[1] "Accrescimento" del livello medio mare solo apparente a causa dell'abbassamento della superficie del suolo.

Nel corso della riunione del 24 Maggio 1999 il CO.RI.LA. ha istituito due commissioni di esperti, di cui una incaricata di predisporre un documento in risposta al quesito posto dal MURST relativo alla "*elaborazione degli scenari di previsione dell'eustatismo tenendo conto dell'attuale quadro di conoscenze già acquisite, in particolare in virtù dei risultati conseguiti dal Progetto per il "Sistema Lagunare Veneziano*" (Prot. N. 1330). La presente relazione è stata redatta dalla commissione istituita dal Co.Ri.La. e approvata dal Consiglio Scientifico dello stesso in data 2 Novembre 1999.

Vengono di seguito ripresi i risultati dei principali studi effettuati nella Laguna di Venezia e/o nel Nord Adriatico, relativi ai fenomeni di subsidenza ed eustatismo che, affiancati all'analisi basata sulla bibliografia internazionale aggiornata in materia, portano alla descrizione di possibili trend di innalzamento eustatico del livello medio del mare che potrebbero avvenire nel prossimo secolo.

2. Subsidenza ed eustatismo

Com'è noto, le cause dell'avvenuta riduzione altimetrica del territorio lagunare veneziano rispetto al livello del mare sono state lo sfruttamento artesiano ad uso industriale (negli anni '30-'70), la subsidenza naturale e l'eustatismo positivo.

2.1 Subsidenza naturale ed antropo-indotta nella Laguna di Venezia

La subsidenza naturale nell'area veneziana è dovuta alla progressiva compattazione dei sedimenti ed in parte alle deformazioni tettoniche del substrato. Questo fenomeno coinvolge tutta la pianura padana ed ha il suo valore massimo nella zona del delta del Po. Anche il territorio lagunare veneziano dunque ne è interessato, ma in misura decisamente inferiore, trovandosi sui fianchi del grande insellamento padano ed essendo qui la coltre quaternaria molto meno spessa che nell'area del Delta. La subsidenza naturale ha perciò un'evoluzione temporale lenta, avvertibile solo in tempi storici o geologici. Al contrario, la subsidenza indotta dalle attività antropiche (sottrazione di carichi dal sottosuolo, applicazione di carichi, vibrazioni, bonifiche) si esplica nell'arco di una o due generazioni con effetti avvertibili in tempi brevi[1].

I maggiori risultati finora ottenuti per la Laguna di Venezia derivano da studi effettuati all'ISDGM. In particolare, l'inserimento della subsidenza fra i temi di ricerca istituzionali dell'Istituto ha offerto l'occasione di avviare fin dal 1969 una ricerca teorica e sperimentale orientata all'analisi di questo processo.

Da studi geologici[2,3,4] ed evidenze archeologiche[5,6,7, II] è emerso che la subsidenza del bacino lagunare si è esplicata nell'arco dei millenni

---

[II] Ammerman et al.[6] presenta alcuni importanti risultati sulla crescita relativa del l.m.m. nella Laguna di Venezia ricavati da radiodatazione e da evidenze archeologiche per il periodo dal 400 d.C. al 1900 d.C., stimando un valore di 1,3 mm/anno comprensivo di eustatismo e subsidenza.

in modo differenziale nel tempo e nello spazio, in relazione ai diversi eventi deposizionali succedutisi ed ai fenomeni di collasso dei sedimenti fini a seguito della sostituzione di acque interstiziali dulcicole con acqua saline. Di seguito, si fornisce la sintesi della valutazione dei tassi di subsidenza, ottenuti da dati scientifici, per gli ultimi 6000 anni circa.

- Il tasso medio di subsidenza nel periodo evolutivo della laguna **prima dell'intervento dell'uomo** sarebbe dell'ordine di ***1,3 mm/anno***; questo valore è stato dedotto da radiodatazioni di resti organici della serie olocenica[8,9,10,11] (1-1,7 mm/anno).
- **Dopo vari interventi antropici** (interventi idraulici di "diversione a mare" iniziati nel 1400 durante la "Serenissima" e protratti fino al 1700; trasformazioni alle bocche, dentro il bacino e lungo i litorali dagli inizi del 1800) la subsidenza inizialmente più accentuata è andata riducendosi. Dagli inizi del XX secolo fino al 1930 la subsidenza, dedotta dalle variazioni altimetriche di alcuni capisaldi, risulta pari a ***0.4 mm/anno***[3].
- **Dal 1930 al 1970 la subsidenza antropica**[12,13,14], dovuta principalmente agli emungimenti progressivi ed incontrollati delle sei falde artesiane che si susseguono fino a 320 metri di profondità, aggravò la situazione che divenne critica con il boom industriale post-bellico (i più alti valori dopo gli anni '50 furono ***17mm/anno*** a Marghera e ***14 mm/anno*** a Venezia tra il 1968 ed il 1969[15]).

- **Dopo il 1970** iniziò una fase di regolamentazione e diversificazione degli approvvigionamenti idrici, e si verificò la rapida ripressurizzazione delle falde. Parallelamente la subsidenza rallentò fino ad annullarsi già nel 1973. Nel 1975 fu misurata una ripresa altimetrica che nel centro storico raggiunse i 2 cm[12,14]. Questo rebound, dell'ordine del 20% della deformazione totale subita dal sistema, rappresenta la risposta elastica dei sedimenti fini ripressurizzati, ed era stata prevista dal primo modello matematico sviluppato per la simulazione del fenomeno[16,17].

  Lo studio del **ventennio 1973-93**[18,19,20,21,22,23] è stato effettuato nell'ambito del Progetto "Sistema Lagunare Veneziano", Sottoprogetto 2, Linea 2.7 (responsabile Dr.ssa L. Carbognin) ed ha completato le conoscenze sullo sviluppo del fenomeno e sulla sua simulazione modellistica. Il confronto dei risultati della livellazione 1993 con quelli dell'analogo rilievo 1973 ha evidenziato una ideale "linea di demarcazione" che separa due zone a differente tendenza. La prima include le aree di terraferma nonché la stessa città di Venezia che possono ritenersi stabili (range di abbassamento ***0-0,5 mm/anno***); la seconda comprende le zone di più recente formazione ai bordi lagunari Nord e Sud ed i litorali (tasso di subsidenza ***1-2 mm/anno***).

Studi sulla subsidenza nell'area del Nord Adriatico rientravano anche negli obiettivi scientifici del Progetto Cenas della CE "Study on the coastline evolution of eastern Po plain due to sea level change caused by climate variation and to natural and anthropic subsidence", coordinato dal

Prof. Gambolati dell'Università di Padova. La subsidenza naturale è stata studiata in tre aree strategiche (Laguna di Venezia, Delta del Po, Ravenna) con un modello non lineare 1-D agli elementi finiti. Il modello prevedeva una compattazione progressiva nel sottosuolo dovuta alla espulsione dell'acqua interstiziale in un bacino sedimentario isotermico soggetto a sedimentazione verticale continua[24]. I risultati del modello indicano per i prossimi 100 anni una subsidenza intorno a **0.5 mm/anno** nella Laguna di Venezia, 2,5 mm/anno a Ravenna e 5 mm/anno nell'area del delta del Po.

I risultati ottenuti da questo modello per la Laguna di Venezia sono in accordo con quelli ricavati da rilievi geodetici effettuati in periodi diversi come descritto in precedenza.

2.2. Eustatismo e cambiamenti climatici nella Laguna di Venezia e nel Nord Adriatico

L'innalzamento eustatico del mare è un fenomeno indipendente dal processo di subsidenza che però concorre a ridurre la differenza di quota fra la città ed il mare, il cosiddetto livello relativo del mare. L'eustatismo è indotto da variazioni climatiche terrestri che influenzano la massa ed il volume degli oceani; esso risulta quindi positivo nei periodi caldi, durante i quali (per espansione termica dei mari, scioglimento dei ghiacciai alpini, etc...) il livello del mare aumenta, negativo nei periodi freddi con un conseguente abbassamento del livello del mare.

Nel Progetto "Sistema Lagunare Veneziano", nell'ambito degli studi effettuati all'interno del Sottoprogetto 2, Linea 2.5 (responsabile Dott. F. Marabini, IGM, CNR, Bologna), con l'obiettivo scientifico di studiare la dinamica costiera e fornire indicazioni per la salvaguardia del litorale veneziano, è stata verificata l'influenza delle fluttuazioni climatiche sull'evoluzione dell'area lagunare utilizzando dati climatologici, cartografici, geomorfologici e storici. Tale analisi è stata estesa alle unità fisiografiche adiacenti per evidenziare le variazioni evolutive dell'area veneziana nella fascia dell'alto Adriatico. Nella relazione conclusiva del Progetto[25] si sottolinea l'influenza delle fluttuazioni climatiche sia a lungo periodo (scala dell'ordine delle centinaia di anni), che a breve (scala dell'ordine delle decine di anni: cicli di Brückner[26]). In questa analisi appare significativa la curva dendrocronologica tracciata da Bartholin[27] dal 436 ad oggi (Figura 1). Nell'evoluzione della fascia costiera del Nord Adriatico risulta essere stato particolarmente importante l'ultimo periodo freddo-umido, noto come "piccola età glaciale". Esso è terminato a circa la metà del 1800 ed è stato caratterizzato da due fasi critiche (1590-1620, 1800-1820) con forte piovosità, erosione del suolo, e progradazione dei delta fluviali. Entro questa sequenza di fluttuazioni "a grande scala", si evidenzia un'alternanza di più brevi cicli freddo-umido e caldo-secco con durata variabile dai 10 ai 35 anni. Nel periodo 1950-1970, freddo-umido, le forti mareggiate hanno concorso sensibilmente a far arretrare la linea dei litorali in quanto la mancanza di materiale a mare (imputabile principalmente alle opere nei bacini montani) non ha controbilanciato l'azione distruttiva del moto ondoso. E' seguito per tutti gli anni '80 un

periodo caldo-secco, caratterizzato da scarsa piovosità e scarsa frequenza di forti mareggiate. Dai primi anni '90 sembrerebbe essere iniziato un nuovo ciclo freddo-umido, testimoniato dalla maggior frequenza delle piene dei fiumi e dalla ripresa di forti mareggiate lungo le coste Adriatiche.

Parallelamente a questa variabilità climatica interna[(III)], è in atto da circa un secolo un incremento generale del livello medio del mare di circa **1.1 mm/anno** registrato attraverso misure mareografiche sia a Trieste sia a Marsiglia, località in cui i movimenti della crosta terrestre sono contenuti. Benché vi sia un'evidenza della stabilità altimetrica delle due suindicate località è probabile che esse siano soggette ad uno stesso movimento di isostasia[30] che dovrebbe essere molto ridotto, e che pertanto le variazioni misurate ai due mareografi possano ben rappresentare la crescita del livello medio mare del Mediterraneo.

(III) Si ricorda che alcuni studiosi ritrovano ciclicità similari nella NAO (North Atlantic Oscillation)[28,29] che sembrerebbe influenzare il clima nelle zone Altantiche degli stati Uniti e dell'Europa.

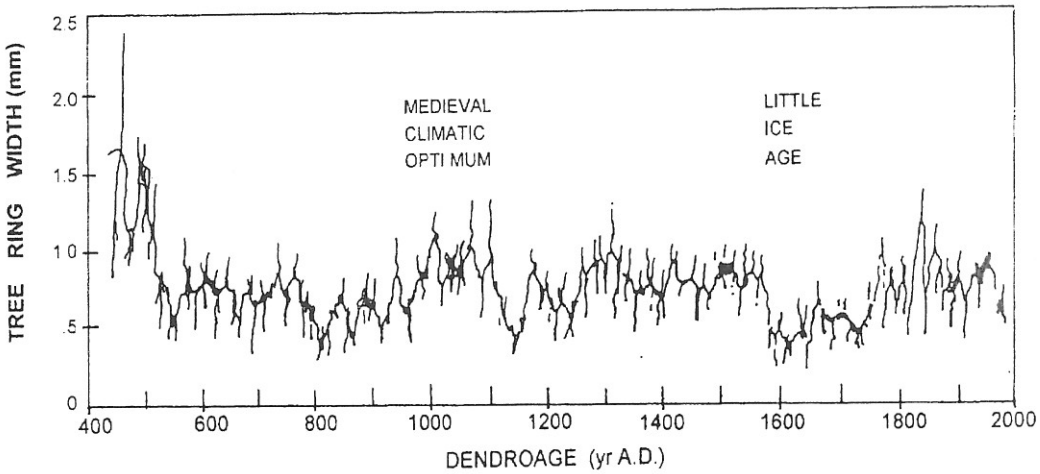


Figura 1. Curva dendrocronologica dal 436 A.D. ad oggi. (da Bartholin[27])

Si deve comunque osservare[31] che, pur accettando questo metodo, i mareografi collocati a latitudini diverse, risentono in modo differente del "glacial rebound"[(IV)] e che pertanto per ricavare la crescita del livello del mare si deve stimare anche l'entità del glacial rebound.

Localmente, un aumento del livello medio mare è stato osservato anche in stazioni mareografiche dell'alto Adriatico. Nell'ambito del Progetto Strategico "Criticità delle disponibilità di acqua da utilizzare a scopi potabili" (responsabile U.O. Dr.ssa L. Carbognin, ISDGM, CNR, Venezia), è infatti stato valutato il trend eustatico analizzando i dati relativi al livello medio del mare registrati a Venezia (mareografo di Punta

[(IV)] Per "glacial rebound" si intende la riduzione dello schiacciamento indotto dalla massa di ghiaccio che ricopriva gran parte dell'emisfero Nord, o la riduzione del sollevamento dell'anello posto ai margini della massa glaciale.

della Salute) ed a Trieste, località ritenuta altimetricamente stabile, dal 1896 al 1993[32].

Dall'analisi della serie storica veneziana sono stati individuati tre periodi significativi (Tabella 1 e Figura 2):

a) dal 1896 al 1930, periodo durante il quale non si è verificata subsidenza antropica, la tendenza evolutiva del livello medio mare (l.m.m.) è risultata simile nelle due stazioni;
b) dal 1931 al 1970 è stata osservata una anomala e significativa crescita del mare (doppia di quella registrata a Trieste) imputabile a subsidenza antropica;
c) dal 1971 al 1993 dopo l'arresto del processo di abbassamento indotto nella città lagunare, l'andamento del l.m.m. nelle due stazioni è concordante e la iniziale differenza di quota si mantiene costante per l'intero ventennio.

Tabella 1. Variazione media annua del livello medio mare dal 1896 al 1993 a Venezia e Trieste.

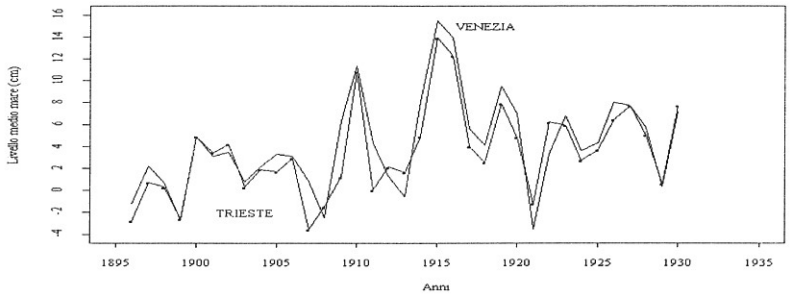
Mareografo	1896-1993 (intero periodo)	1896-1930 a)	1931-1970 b)	1971-1993 c)
Venezia	+ 2,52 mm/a	+ 1,5 mm/a	+ 3,8 mm/a	-0,08 mm/a
Trieste	+ 1,13 mm/a	+ 1,7 mm/a	+ 1,5 mm/a	-0,03 mm/a

La suddivisione nei tre periodi a), b) e c) non statisticamente emersa per Trieste, è stata comunque effettuata per consentire il confronto con Venezia in cui la divisione invece è necessaria per isolare il periodo non influenzato dalla subsidenza antropica.

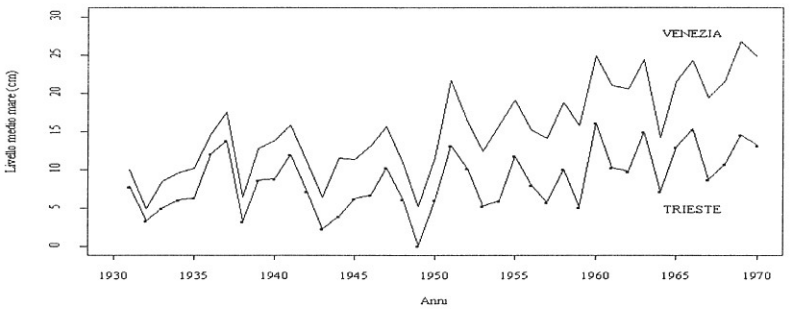
Verificata con gli opportuni test statistici la linearità e unicità del trend per il periodo complessivo di Trieste, **dal 1896 al 1993**, l'incremento medio secolare del livello marino è risultato pari a **1,13 mm/anno**, in ragionevole accordo con i tassi eustatici misurati in altre stazioni del Mediterraneo, come ad esempio a Marsiglia. La serie storica analizzata è sufficientemente lunga per non risentire dei cicli climatici di breve periodo (tipo cicli di Brückner) ed è quindi ben in grado di fornire in modo oggettivo il trend secolare esistente.

E' da sottolineare che, considerati i valori in gioco, il segno negativo dei tassi di eustatismo del periodo c) di Tabella 1 non è significativo, ma piuttosto indice della quiescenza dell'innalzamento del l.m.m. misurato precedemente. Questa nuova fase potrebbe essere associata all'instaurarsi di un periodo secco dei cicli brevi di Brückner.

a)



b)



c)

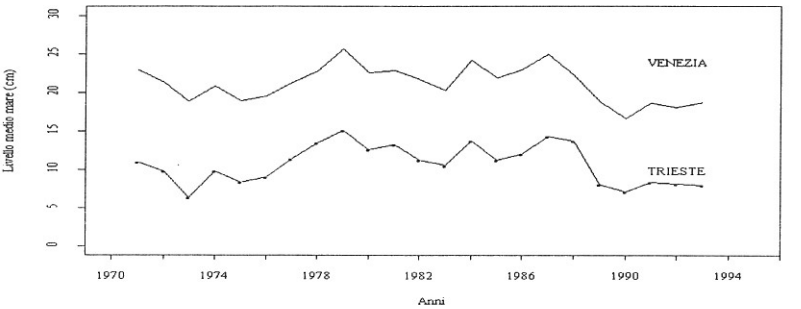


Figura 2. Andamento del livello medio mare a Venezia e Trieste nei tre sottoperiodi: a) 1896 –1930; b) 1931-1970 e c) 1971-1993 (Carbognin & Taroni[32]).

Nel Nord Adriatico tassi eustatici sono stati valutati nel Progetto Cenas della CE. L'obiettivo scientifico del Progetto intitolato "Study on the coastline evolution of eastern Po plain due to sea level change caused by climate variation and to natural and anthropic subsidence", coordinato dal Prof. Gambolati dell'Universitá di Padova, mirava infatti a considerare i fenomeni fisici, che possono indurre un aumento del livello del mare. Sono state considerate quindi le modificazioni che i cambiamenti climatici globali possono causare nel Nord Adriatico.

Al fine di simulare gli effetti dell'aumento relativo del livello medio mare nel prossimo secolo[33,34,35] sono stati adottati gli scenari riportati nei progetti internazionali CE quali "Sea level rise project UNEP", COST, MAST, EPOC, MEDSPA) assieme ai risultati del modello di subsidenza. I risultati della modellizzazione integrata implementata con il GIS dimostrano che l'intera area costiera del Nord Adriatico è molto sensibile all'aumento del livello del mare, e che nel 2100 la maggior parte delle basse zone costiere potrebbe essere sommersa anche da eventi meteo-marini molto frequenti come quelli con periodo di ritorno di 1 anno.

2.3. Valori di eustatismo in altre zone costiere – Previsioni - Scenari eustatici globali dell'IPCC-SAR '95

In accordo con i cicli climatici riportati da Marabini per il Nord Adriatico[26], studi su record fossili di depositi costieri nel Connecticut, New Jersey, ed in Inghilterra[36] evidenziano che la prima parte del

millennio era relativamente fredda. Ad essa è seguito un periodo molto caldo durante il Medio Evo ("Medieval Climatic Optimum" in Figura 1), e successivamente un periodo relativamente freddo ("Little Ice Age" in Figura 1) terminato nella seconda metà del 1800, durante il quale l'aumento del livello del mare è stato stimato dell'ordine di 0.3-0.5 mm/anno. Sempre nello stesso studio[36] si afferma che, dopo la piccola età glaciale, la temperatura media superficiale si è alzata; tuttavia l'analisi di correlazione fra temperatura media superficiale (sia su scala decadale che centennale) e livello medio del mare non è risultata significativa per gli ultimi 1500 anni[37].

Analisi recenti in diverse località indicano che il livello medio mare è cresciuto mediamente **dall'inizio del secolo** di circa **1,5-2 mm/anno**[36,38,39,40,41], con un trend di aumento più elevato di quello ipotizzato per i secoli passati. In Tabella 2 si riporta l'aumento del livello del mare registrato in diverse località nell'ultimo secolo.

Tabella 2. Aumenti del livello medio mare attorno al globo in località ritenute esenti da effetti di subsidenza antropica. La lunghezza del periodo di misura e la metodica di misura sono riportati.

Località	Aumento l.m.m. (mm/anno)	Periodo di misura (anni) e metodica	Rif.
Trieste (Italia)	1.13	1896-1993 mareografo	32
Marsiglia (Francia)	1.1	104 (1885-1989) mareografi	30
Genova (Italia)	1.3	104 (1884-1988) mareografi	30
Lagos (Portogallo)	1.4	81 (1908-1989) mareografi	30
Distribuzione globale	1.1 valore dominante (range 0.5 – 3)	complessivamente 1807-1992 mareografi	31
Mar Baltico (Polonia)	1.0 – 2.5	47 (1947-1994) mareografi	42
Key West, Florida	1.7 – 2.4	146 (1846-1992) mareografi	43
10 località fra Oceano Indiano e Pacifico (Filippine, Giappone, India)	1.8 ± 0.3	76 mareografi	41
Connecticut; New Jersey; Inghilterra	2.0 – 2.6	Ultimo secolo Foraminiferi fossili	36
New Zealand	1.9 ± 0.1	89 (1899-1988) mareografi	44

Non si riportano i dati relativi alle misure effettuate con altimetria da satellite (TOPEX/POSEIDON) in quanto le registrazioni partono solo dal 1993[45,46,47], e sono troppo affette dalla variabilità inter-annuale correlata alla presenza di cicli di breve durata.

Una domanda a questo punto può emergere ed è doveroso porsi. Questa crescita del medio mare osservata globalmente nell'ultimo secolo, è dovuta a fluttuazioni naturali del clima (ripresa climatica dopo il concludersi della piccola età glaciale dal 1850), o piuttosto è influenzata da cambiamenti climatici indotti da attività antropiche? In un recentissimo lavoro Tett et al.[48] attribuiscono l'aumento di temperatura registrato in questo secolo a quattro componenti, due naturali (irradianza solare e aerosol vulcanico stratosferico) e due antropiche (gas serra, primariamente anidride carbonica ed areosol sulfurei). I risultati del modello sembrano dimostrare che nella prima parte del secolo l'irradianza solare può aver giocato un ruolo fondamentale. Il riscaldamento osservato dal 1946 al 1996, non sembra associabile alle sole forzanti naturali, ma soprattutto attribuibile alle variazioni di concentrazione di gas serra ed aerosol sulfurei emessi da attività antropiche.

Per quanto riguarda le tendenze future, la comunità scientifica mondiale è fortemente divisa[38,49,50] fra quelli che sostengono che nel prossimo secolo l'aumento del livello del mare sarà contenuto in quanto le variazioni climatiche indotte dai fattori antropici saranno poco rilevanti[51,52,53,54], e quelli che sostengono il contrario a causa dell'aumento della popolazione mondiale e del riscaldamento globale indotto dall'effetto serra con effetti esponenziali nel tempo e crescite sensibili del livello marino[55,56,57,58]. Fra i primi, si ricorda che Mörner[54], autorevole studioso del problema, afferma in sintesi che, pur nella molteplicità dei fattori interagenti, è fondamentale nelle stime future tenere conto della

"storia regionale", che negli ultimi 150 anni l'aumento del livello medio mare valutato globalmente non è mai stato superiore a 1,1 mm/anno e che questo tasso – circa 10 cm per 100 anni – è da ritenersi una buona approssimazione di previsione futura, aderente alla realtà, perché in tale periodo un possibile riscaldamento globale non potrà influire a modificare questo valore in modo significativo. Egli ritiene, quindi, che "*per il prossimo secolo il livello del mare su scala globale potrebbe aumentare di 10 cm, massimo 20 cm*". Per contro, Alley[58] et al., ad esempio, criticano quelli che non credono alla pericolosità climatica dei gas serra, tra i quali anche Singer[50,52], e ribadiscono la complessità del sistema climatico e le sue possibilità di rapide risposte collegate alle emissioni di CO_2. Il sistema infatti pur avendo una propria capacità di ridurre gli effetti della crescita dei gas serra, dà luogo a variazioni interne che potrebbero ingenerare grandi instabilità. A questa preoccupazione, peraltro condivisibile, gli autori non associano una previsione, ma solo un forte allarme, sul possibile sensibile aumento del livello del mare.

Lo stato attuale delle conoscenze non consente quindi di formulare previsioni univoche a lungo termine sulla crescita del livello del mare dovuta all'effetto serra, a causa della complessità del sistema globale. Anche assumendo per certo l'aumento della temperatura media del globo, la risposta in termini di crescita del livello del mare è incerta in quanto alcuni processi fondamentali che condizionano l'entità dell'aumento del volume delle acque marine non sono sufficientemente conosciuti (distribuzione dell'aumento di temperatura nelle profondità oceaniche, modificazioni nelle correnti e nella salinità delle acque). L'unica possibilità

che allo stato attuale consente di fornire indicazioni attendibili sull'aumento del livello del mare è quella di procedere proponendone "scenari di crescita", ciascuno con una sua possibilità di verificarsi in funzione delle ipotesi di base adottate, anche climatiche[V].

Benché nei riguardi dei modelli climatici, permangono comunque notevoli incertezze[VI], è prassi corrente utilizzare modelli atmosfera-mare nelle simulazioni previsionali. Attraverso tali modelli viene stimata la crescita del livello del mare a partire da diverse ipotesi di evoluzione delle forzanti climatiche e diversi range di sensibilità e pertanto si forniscono scenari eustatici anziché previsioni. Essi dipendono da tre categorie di incertezza (tipo di modello, scenari di emissione dei gas serra e coefficienti di sensibilità climatica) e portano a risultati molto diversificati tra loro.

Si deve inoltre osservare che la notevole incertezza dei risultati di tali modelli è dovuta a numerosi fattori, tra i quali si ricorda:

- l'ipotesi di crescita delle emissioni di gas serra nel prossimo secolo,
- le incertezze nel modello di previsione del riscaldamento globale e del modello di scioglimento dei ghiacciai,
- incertezze sullo scioglimento delle calotte polari,

[V] Wigley[59], ha definito "scenario climatico" una "fotografia internamente consistente delle possibili condizioni climatiche future".

[VI] Come, ad esempio, ha recentemente affermato dal Prof. G. Visconti. Direttore del Dipartimento di Fisica dell'Università dell'Aquila, che da molti anni si occupa degli studi sul clima a livello globale e regionale "*...la previsione del clima è qualcosa sulla quale tutti gli ambienti scientifici nutrono forti dubbi, tanto che...un programma di*

- le incertezze del modello di riscaldamento degli oceani,
- l'instaurarsi di possibili meccanismi di "feedback" (positivi o negativi) che potrebbero modificare il previsto aumento del livello del mare (effetto della formazione di nubi, albedo, variazioni della vegetazione[60]).

Nel rapporto IPCC-SAR'95[55] sono contenuti numerosi scenari di crescita del livello del mare, dal 1990 al 2100, tra di loro molto divergenti che da un limite inferiore di 13 cm arrivano ad un limite superiore di ben 94 cm (Figura 3). Essi sono stati ottenuti attraverso un'analisi di sensibilità del modello ai parametri adottati, nell'ipotesi che le emissioni di gas serra ed aerosol continuino a crescere al ritmo attuale (scenario IS92a di '"business as usual") o con un ritmo ridotto o accelerato e che la risposta del modello climatico e del modello di scioglimento dei ghiacciai sia "bassa" o "elevata".

Con modelli più evoluti (Cap. 7.5.3 "Possible Inter-Model Differences" del volume IPCC-SAR'95) l'aumento del livello medio mare stimato per lo scenario di emissione IS92a, è contenuto in 27 cm (Figura 3), contro la precedente stima di un aumento pari a 49 cm dal 1990 al 2100.

---

ricerca della Commissione Europea ha solo potuto costatare che lo stato dei modelli è affetto da errori tali da renderli inaffidabili".

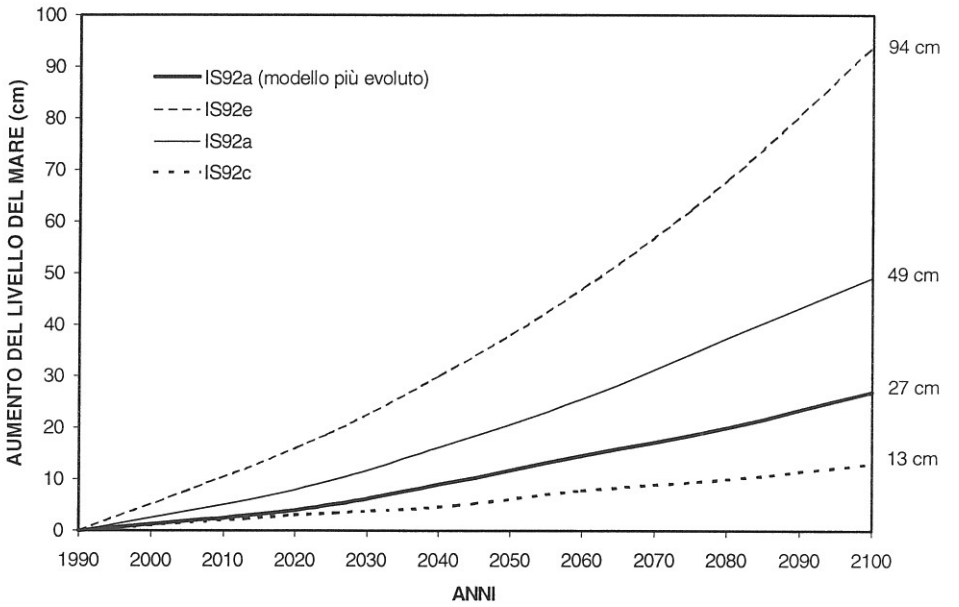


Figura 3. Previsto aumento del livello medio mare a scala globale dal 1990 al 2100[55]. Il più alto aumento del livello del mare corrisponde alla sensibilità climatica di 4.5°C con elevato scioglimento dei ghiacci ed uno scenario di elevata emissione di CO_2 (IS92e); per la più bassa crescita del mare la sensibilità climatica è di 1.5°C con scarso scioglimento dei ghiacci ed uno scenario di bassa emissione di CO_2 (IS92c); la curva intermedia (49 cm) corrisponde a una sensibilità climatica di 2.5°C con medio scioglimento dei ghiacci ed uno scenario di media emissione di CO_2 (IS92a). E' riportata anche la previsione di 27 cm al 2100 ottenuta con il modello più evoluto per lo scenario IS92a.

In recenti lavori sui cambiamenti climatici regionali per il Mar Mediterraneo[60,61,62,63] si sottolinea come nel bacino siano registrati significative differenze dei valori di temperatura sia spazialmente sia temporalmente.

I modelli climatici regionali sembrano indicare che l'incremento minore (0.9°C per 1°C di riscaldamento globale) è previsto per le coste italiane, la Grecia ed il Nord Africa; nelle altre zone del Mediterraneo si valuta un aumento di oltre 1°C per ogni 1°C di riscaldamento globale. E' previsto inoltre, che le precipitazioni aumentino in autunno ed inverno e diminuiscano in estate particolarmente nell'area Est del Mediterraneo. Sebbene gli effetti dei cambiamenti climatici sulle precipitazioni siano più difficili da valutare che quelli sull'aumento di temperatura, alcuni autori ipotizzano che le precipitazioni diminuiranno nell'area Sud del Mediterraneo (a Sud di 40-45° latitudine) ed aumenteranno al Nord[61,64,65,66,67].

3. Conclusioni

Come si è visto nonostante i notevoli progressi raggiunti con i numerosi progetti di ricerca mondiali è ampiamente condiviso che le previsioni sui cambiamenti climatici futuri influenzati dalle attività antropiche, e sulla crescita del livello del mare, sono caratterizzate da un elevato grado di incertezza.

Per questo motivo, si concorda pienamente sul fatto di dover delineare "possibili scenari" più che fornire una previsione univoca, come descritto nei paragrafi precedenti.

Allineandosi con chi afferma l'importanza di procedere ad identificare scenari futuri[54,68] basandosi sulla storia regionale, risulta plausibile ed obiettivo fare delle estrapolazioni al prossimo secolo dei fenomeni misurati ed analizzati in virtù del loro carattere di persistenza.

In questa chiave di lettura, proponiamo per la Laguna di Venezia, le seguenti due classi di scenario, ricavati dai risultati fino ad ora esposti, per il periodo 1990-2100.

3.1) Scenario più probabile e scenario probabile cautelativo.

Con questi due scenari si assume che la subsidenza naturale pari a 0.4 mm/anno persista fino al 2100 e che l'incremento eustatico del l.m.m. mantenga il tasso medio misurato dalla fine del 1800 a tutt'oggi "scenario più probabile, SPP" o che l'incremento eustatico assuma il tasso massimo misurato nel sottoperiodo a) di Tabella 1 "scenario probabile cautelativo, SPC".

Scenario più probabile (SPP).

Come precedentemente esposto, il trend lineare del periodo dal 1896 al 1993, ha fornito per Trieste un incremento medio del livello marino pari a 1.13 mm/anno. Similmente, per il Mediterraneo sono stati misurati aumenti pari a 1.2 mm/anno in accordo con i tassi eustatici

misurati in diverse stazioni attorno al globo. Riteniamo quindi attendibile considerare per l'Alto Adriatico un aumento del livello medio mare pari a 1.13 mm/anno. Accettare l'ipotesi di persistenza di questo trend, equivale ad assumere che gli effetti del cambiamento climatico, almeno fino al 2100, non saranno cosi forti da modificare la tendenza secolare osservata. A quella data, la crescita relativa del livello del mare è calcolata in 16,4 cm (12,3 cm eustatismo più 4,3 cm di subsidenza naturale) (Figura 4).

Scenario probabile cautelativo (SPC)

Per introdurre una ragionevole cautela si propone di adottare in sostituzione alla crescita media secolare la massima crescita osservata nel sottoperiodo a) di Tabella 1 che fornisce un tasso di 1,5 mm/anno a Venezia e 1,7 mm/anno a Trieste. Assumendo che questa crescita si presenti e permanga fino al 2100, l'aumento del livello del mare potrebbe essere 16,5-18,7 cm che fornirebbero e considerando la subsidenza naturale di 0,4 mm/anno si avrebbe una crescita relativa del livello del mare di 21-23 cm (Figura 4).

3.2 Scenario Pessimistico (SPe)

Con questo scenario si assume oltre alla subsidenza naturale ed ai fenomeni eustatici persistenti nell'ultimo secolo, anche un aumento del livello medio mare per un aumento di temperatura dovuto all'aumento dei gas-serra in atmosfera. Fra i diversi scenari IPCC-SAR'95 abbiamo ritenuto opportuno considerare lo scenario di emissione intermedio

(IS92a) del il modello più evoluto, che tiene conto dei numerosi e recenti sviluppi nella modellistica e prevede un aumento del l.m.m. al 2100 di 27 cm (Figura 3).

Questo scenario rappresenta una "ragionevole" cautela contro i possibili effetti del cambiamento climatico in quanto prospetta una crescita del livello del mare che è oltre il doppio della crescita osservata nel corso dell'ultimo secolo a Trieste.

Includendo la subsidenza naturale nel 2100 la crescita relativa del livello del mare sarebbe di 31,4 cm (Figura 4).

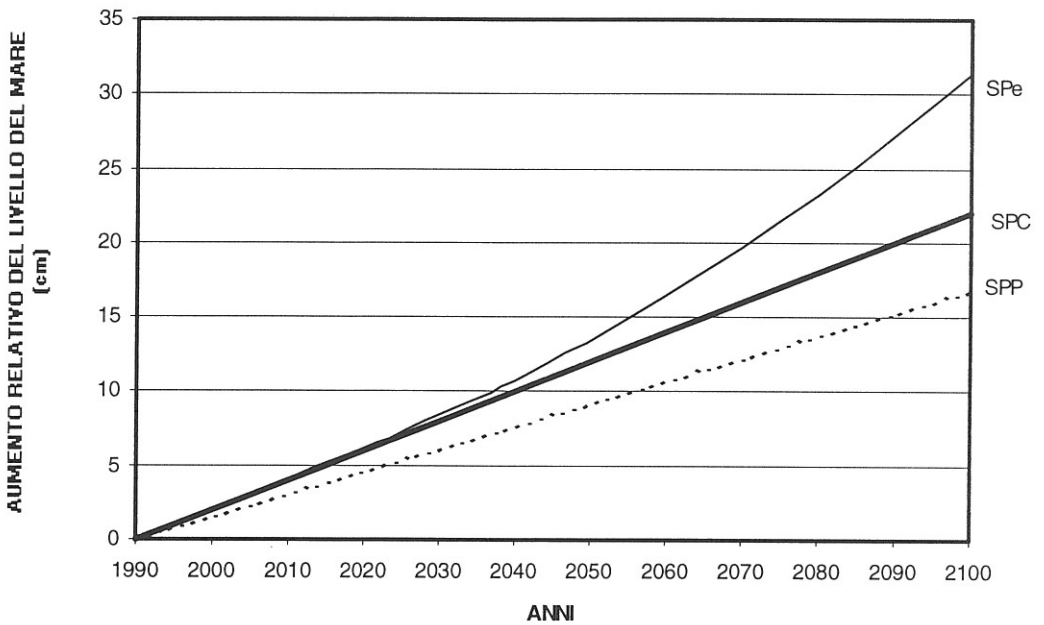


Figura 4. Scenari di crescita relativa del livello medio mare a Venezia.

Dopo aver esposto le due classi di scenari plausibili per stimare il livello dell'acqua nella laguna di Venezia al 2100, traiamo delle

considerazioni conclusive e puntualizziamo gli obiettivi scientifici che dovranno essere raggiunti per migliorare la previsione degli effetti del cambiamento climatico.

Dall'inizio del secolo ad oggi la frequenza delle acque alte superiori a 100 cm che allagano Piazza San Marco ed il 11.7% del centro storico è cresciuta di circa 7 volte[VII], da 1 a 7 volte all'anno; fermi restando i valori della subsidenza naturale, assumendo il tasso di crescita storico del livello del mare di 1.13 mm/anno, nel prossimo secolo si verificheranno ben 37 casi all'anno (scenario più probabile SPP) e 58 casi l'anno con lo scenario probabile cautelativo, SPC, che considera la crescita del livello del mare di 1.5-1.7 mm/anno. Considerando lo scenario pessimistico SPe di 31,4 cm di crescita relativa del livello del mare al 2100 si raggiungeranno condizioni insostenibili, con frequenza annuale di allagamento di ben 128 volte (Tabella 3).

(VII) Le frequenze di allagamento sono ricavate dalla pubblicazione: STATO ATTUALE DI ORGANIZZAZIONE DELLA CITTA' – Definizione dei rischi derivanti dalle acque alte per l'abitato di Venezia. Comune di Venezia, Novembre 1996.

Tabella 3. Frequenza di allagamento della città di Venezia per i prospettati scenari di crescita del livello medio mare.

Scenario	Variazione relativa del livello del mare (cm)	N° acque alte superiori a 100 cm
1900	-23	1
1990	0	7
2100 SPP	16,7	37
2100 SPC	22	58
2100 SPe	31,4	128

Sulla base di quanto sopra, si ritiene necessario che venga riaffermata in tutte le sedi l'assoluta necessità di contenere a livello mondiale le emissioni dei gas serra per riaffermare il "principio di precauzione" in quanto gli effetti di un eventuale cambiamento climatico sarebbero così sconvolgenti per Venezia da richiedere grandi interventi di artificializzazione della laguna per il controllo continuo del flusso mareale e per consentire la navigazione. A questo proposito va' ricordato che l'Agenzia Europea dell'Ambiente, nella sua seconda valutazione dell'ambiente in Europa del 1998, individua quale obiettivo della

riduzione della emissioni di gas serra da parte dei paesi industrializzati quello che permette "*di assicurare che gli ulteriori aumenti di temperatura non superino 0.1 ^{o} C ogni 10 anni e che il livello del mare non si innalzi più di 2 cm ogni decennio*".

Gli scriventi propongono:

- Nella pianificazione degli interventi per la salvaguardia di Venezia e della sua laguna di adottare la crescita del livello relativo del mare dello scenario probabile cautelativo, SPC, che è basata sui dati storici, scientificamente interpretati, e che ha pertanto ragguardevole possibilità di verificarsi ancora nel prossimo secolo. Questo scenario, considera un incremento eustatico del l.m.m. pari a 1,5-1,7 mm/anno rispetto agli 1,2 mm/anno oggi osservati nel Mediterraneo ed è quindi cautelativo pur senza includere esplicitamente gli effetti di eventuali cambiamenti climatici indotti dalla crescita della emissione dei gas-serra, in quanto come precedentemente riportato non forniscono previsioni univoche e attendibili sulla crescita del livello del mare.

Poiché la crescita del livello del mare che potrebbe prodursi per effetto dell'aumento dei gas-serra sarà non lineare con una intensificazione dalla metà del prossimo secolo, solo allora vi sarà la possibilità di confermare o smentire lo scenario SPC qui proposto che pertanto, almeno sino ad allora manterrà tutta la sua validità.

- Nel frattempo è necessario affinare le tecniche di monitoraggio per discernere quanto sia riconducibile alla variabilità naturale dei processi, da

quanto invece sia un effetto dei gas-serra e della crescita della temperatura del globo. A questo riguardo riteniamo necessarie ad esempio le seguenti attività:

a) la continuazione del monitoraggio della subsidenza nell'Alto Adriatico sviluppando maggiormente le tecniche basate sulle reti di stazioni GPS permanenti;

b) la rimozione della variabilità annuale dai dati del livello medio mare misurato dai mareografi ragguagliando le misure a campi barici standard in modo da rimuovere la dipendenza fra il numero annuale delle mareggiate ed il livello medio del mare;

c) l'utilizzo, assieme ai dati mareografici, dei recenti sistematici rilievi sulla elevazione del livello medio mare nel Mediterraneo effettuati nell'ambito del programma TOPEX POSEIDON, coordinato dal CNES di Tolosa, che raccoglie i dati dal 1993;

d) lo sviluppo di modelli climatici affidabili, condivisi dalla comunità scientifica internazionale, che dovranno essere in grado di riprodurre le tendenze osservate e di prevedere i cambiamenti del sistema atmosfera-mare.

- E' altresì importante, come suggerito da Dickinson[69], valutare attentamente la reazione del sistema socio-economico ad una politica di restrizione dei consumi energetici, al fine di non destabilizzare il sistema produttivo con misure drastiche ed improvvise e tenendo in considerazione che tali politiche non potranno essere ignorate nei paesi in

via di sviluppo e dovranno avvenire con gradualità e consapevolezza globale.

Si ritiene che quanto sopra esposto, con lo scenario SPC prospettato, pur collocandosi nell'ambito di un dibattito globale non risolto, possa comunque fornire il riferimento necessario per valutare la funzionalità delle opere mobili alle bocche di porto della laguna di Venezia.

Riferimenti bibliografici

1. Carbognin L., Land Subsidence: a worldwide environmental hazard, *Nature & Resources*, XXI, 1, 2-12, 1985.
2. Gatto P., Previatello. Significato stratigrafico, comportamento meccanico e distribuzione nella laguna di Venezia di un'argilla sovraconsolidata di nome "caranto", T.R., 70, CNR, ISDGM, Venezia, 1974.
3. Gatto P., Carbognin L., The Lagoon of Venice: natural environmental trend and man induced modification, *Hydrological Sciences Bull.*, 26,4, 379-391, 1981.
4. Carbognin L., Venezia, La Sua Laguna , I Suoi Problemi, *Atti del VI Congresso Nazionale dell'Ordine dei Geologi*, Venezia, Fondazione Cini, 2450-255, 1987.
5. Flemming N.C., Predictions of relative coastal sea-level change in the Mediterranean based on archeological, historical and T-gauge data, in *Climatic change in the Mediterranean*, Eds. Jeftic et al., Edward Harnold, London 247-281, 1992.
6. Bonardi M., Canal E., Cavazzoni S., Serandrei R., Tosi L., Enzi S. Impact of paleoclimatic fluctuations on depositional environments and human habitats in the Lagoon of Venice (Italy). *World Resource Review*, 11, 2.

7. Ammerman A.J., McClennen C.E., De Min M. e Housley R., Sea-level change and the archeology of early Venice. Antiquity, 73, 303-312, 1999.
8. Fontes J.Ch., Bortolami G., Subsidence of the Venice area during the past 40000 years, *Nature*, 244, 5415, 339-341, 1973.
9. Gatto P., Il sottosuolo del litorale veneziano, T.R., 108, CNR, ISDGM, Venezia, 1980.
10. Bortolami G., Carbognin L., Gatto P., The natural subsidence ub the Lagoon of Venice, Italy, in "*Land subsidence*" (Proc. 3rd Int.Symp. on Land Subsidence, Venice, 1984) eds. A.I. Johnson et al., IAHS, 151, 777-785, 1985.
11. Gatto P., Il cordone litoraneo della laguna di Venezia e le cause del suo degrado, *Rapporti e Studi*, IX, Ist. Veneto SS.LL.AA., 163-193, 1984.
12. Carbognin L., Gatto P., Mozzi G., Situazione idrogeologica del sottosuolo di Venezia – Ricostruzione degli acquiferi soggetti a sfruttamento sulla base dei dati relativi ai pozzi artesiani. T.R. 32, CNR, ISDGM, Venezia, 1974.
13. Carbognin L., Gatto P., Mozzi G., Gambolati G., Ricceri G., New trend in the subsidence of Venice, in "Land Subsidence", *Proc. II Int. Symp. on Land Subsidence*, Anaheim, December 1976, ed J.C.Rodda, IAHS, 121, 65-81, 1977.
14. Carbognin L., Gatto P., Mozzi G., La riduzione altimetrica del territorio veneziano e le sue cause. *Rapporti e Studi*, VIII, Ist. Veneto SS.LL.AA., 55-83, 1981.

15. Caputo M., Folloni G., Gubellini A., Pieri L., Uguendoli M., Survey and Geometric Analysis of Subsidence in the Region of Venice and its Hinterland, *Rivista Italiana di Geofisica*, XXI, 1-2, 19-26, 1972.
16. Gambolati G, Gatto P., Freeze R.A., Mathematical simulation of the subsidence of Venice, 2 Results, *Water Resour. Res.*, 10, 3, 563-577, 1974.
17. Gambolati G, Gatto P., Simulazione della subsidenza di Venezia, *in Venezia e i problemi dell'ambiente*, ed. Il Mulino (Bologna), 299-360, 1975.
18. Carbognin L., Tosi L., Situazione altimetrica attuale del comprensorio veneziano ed i suoi riflessi sull'ambiente lagunare. *Geologia Applicata ed Idrogeologia*, Atti del I Convegno del Gruppo Nazionale di Geologia Applicata: La città fragile in Italia, ed. Cotecchia, Bari, XXX-Parte I, 297-307, 1995.
19. Carbognin L., Tosi L., Teatini P., Analysis of actual land subsidence in Venice and its hinterland (Italy), in "*Land Subsidence*", Proc. VI Int. Symp. on Land Subsidence, the Hague, October 1995, eds. Barends et al., Balkema, Rotterdam, 129-138, 1995.
20. Carbognin L., Marabini F., Tosi L., Land Subsidence and Degradation of the Venice Litoral Zone (Italy), *Publ. IAHS*, 234, (Proc. VI Int. Symp. on Land Subsidence, the Hague, October 1995), 391-402, 1995.
21. Carbognin L., Teatini T., Modellistica della subsidenza del comprensorio veneziano. Atti del Convegno *Dalla Morfologia del Degrado alla Morfologia della Conservazione*, 251-262, 1993.

22. Teatini P., Gambolati G., Tosi L., A new three dimensional nonlinear model of the subsidence at Venice, *Publ. IAHS*, 234, (Proc. VI Int. Symp. on Land Subsidence, the Hague, October 1995), 353-362, 1995.
23. Carbognin L., Gambolati G., Marabini F., Taroni G., Teatini P, e Tosi L., Analisi del processo di subsidenza dell'area veneziana e sua simulazione con un modello tridimensionale non lineare. Ministero Dell'Universitá e della Ricerca Scientifica, Progetto Sistema Lagunare Veneziano, Workshop finale, Maggio 1996, Venezia, Relazioni Sottoprogetto 2, Ed. Ist. Veneto SS.LL.AA., (in stampa).
24. Gambolati G. e Teatini P. Numerical analysis land subsidence due to natural compaction of the Upper Adriatic Sea bas, in CENAS Project, *Study on the Coastline of the Eastern Po Plain Due to Sea Level Change Caused by Climate Variation and to Natural and Anthropic Subsidence*, 105-134, June 1997.
25. Marabini F., Evoluzione e salvaguardia del littorale veneziano. Ministero dell'Università e della Ricerca Scientifica, Progetto Sistema Lagunare Veneziano, Workshop finale, Maggio 1996, Venezia, Relazioni Sottoprogetto 2 Ed. Ist. Veneto SS.LL.AA., (in stampa).
26. Brückner E., Klimaschwankungen seit 1700 nebest Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluvialzeit, *Geographisce abbandlungen*, B IV, H 2, Wien, 153-184, 1890.
27. Bartholin T.S., Dendrochronology in Sweden, In *Climatic changes on yearly two millenial basis*, Morner N.A. & Karlen W. eds., Riedel, Dordrecht, 1984.

28. Marshall J., Kushnir Y., A "white paper" on Atlantic Climate variability, Science Plan for NAO and Tropical Dipole, April 1997, http://geid.mit.edu/accp/avehtml.html
29. Halper M.S. e Bell G.D., Climate Assessment for 1996, Climate Prediction Center, *NCEP/NWS/NOAA*, Washington D.C., 1997.
30. Zerbini S., et. Sea level in the Mediterranean: a first step towards separating crustal movements and absolute sea-level variations. *Global and Planetary Change*, 1996.
31. Pirazzoli P.A., Sea Level Changes. The Last 20000 years, Ed. J. Wiley & Sons, NY, pp.211, 1996.
32. Carbognin L., Taroni G., Eustatismo a Venezia e Trieste nell'ultimo secolo. *Ist. Veneto SS.LL.AA., Classe di Scienze Fis.,Mat. e Nat.*, Tomo CLIV, 33-52, 1996.
33. Gambolati G., et al. Coastal Evolution of the Upper Adriatic Sea due to Sea Level Rise and Natural and Anthropic Land Subsidence, in CENAS Project, *Study on the Coastline of the Eastern Po Plain Due to Sea Level Change Caused by Climate Variation and to Natural and Anthropic Subsidence*, 1-38, June 1997.
34. Betti I., M.Morelli. Prediction of mean sea level rise in the Upper Adriatic Sea, in CENAS Project, *Study on the Coastline of the Eastern Po Plain Due to Sea Level Change Caused by Climate Variation and to Natural and Anthropic Subsidence*, 39-58, June 1997.
35. Gonella M., P.Teatini, L. Tomasi, e G.Gambolati. Flood risk analysis in the Upper Adriatic Sea due to storm surge, tide, waves, and natural

antrhopic land subsidence, in CENAS Project, *Study on the Coastline of the Eastern Po Plain Due to Sea Level Change Caused by Climate Variation and to Natural and Anthropic Subsidence*, 323-342, June 1997.

36. Varekamp J.C. e Thomas E., Accelerated Sea Level Rise Over the Last 250 Years? http://128.252.167.115/NEW//varekamp.html
37. Varekamp J.C., Thomas E. e Van de Plassche O. Relative sea level rise and climate change over the last 1500 years. *Terra Nova*, 4, 293-304, 1992.
38. Douglas B.C. Global sea level change: Determination and interpretation. NOAA, US National Report to IUGG, 1991-94. *Rev. Geophys.*, 33, Suppl. Ed. American geophysical Union, Washington D.C., 1995.
39. Perltier W.R. e Tushingham A.M. Global sea level rise and greenhouse effect, might they be connected? *Science*, 244, 4906, 806-810, 1989.
40. Trupin A. and Wahr J.. Spectroscopic analysis of global tide gaude sea level data. *Gephys. J. Int.,* 100, 441-453, 1990.
41. Douglas B.C. Global sea level rise. *J. Geophys. Res.* 96(c4), 6981-6992, 1991.
42. Kalas M. Mean sea level rise acceleration on the Polish Coast during the last 48 years. II Int. Conference on the Mediterranean Coastal Environment. *MEDCOAST'95*, Greece, 1995.

43. Maul G.A., e Martin D.M. Sea level rise at Key West, Florida. 1846-1992: America's longest instrument record? *Geophys. Res. Letters*, 20, 18, 1955-1958, 1993.

44. Hannah J. Analysis of mean sea level data from New Zealand for the period 1899-1988, *J. Geophys. Res.*, 95, B8, 1990.

45. Wagner C.A., Cheney R., Miller L., Tai C.K., Doyle N, and Lillibrid J. Global sea level change from altimetry, *EOS Trans. AGU*, 56, 1994.

46. Hayne G.S., Hancock III D.W., and Purdy C.L. TOPEX altimeter range stability estimates from calibration mode data, *TOPEX/POSEIDON Research News*, Issue 3, 18-27, Jet Propulsion Lab, October 1994.

47. Hendricks J. Global Mean Sea Level Rise from TOPEX Altimetry – Time series. http://www-ccar.colorado.edu

48. Tett S.F.B., Stott P.A., Allen M.R., Ingra W.J., e Mitchell J.F.B., Causes of twentieth-centry temperature change near Earth's surface. *Nature*, 399, 10 June 1999.

49. Zannetti P., Today's Debate on Climate Change: Searching for the Scientific Truth. 47 pp, 1998, http://www.envirocomp.org

50. Singer S.F. Unknowns about climate variability render treaty targets premature. *Eos Trans. AGU*, 78, 584, 1997.

51. Braddock R.D., Comments on "Today's debate on Climate Change: Searching for the Scientific Truth., by P. Zannetti". *ENVIRONews*, VI, 1-2, 4-6, 1998.

52. Singer S. F., Global Warming Will Not Rise Sea Level, *Fall Meeting of the America Geophysical Union*, 1997, http://www.sepp.org/scirsrch/slr-agu.html

53. Singer S. F., The road from Rio to Kyoto: how climate science was distorted to support ideologicl objectives, Symposium *AN ASSESSMENT OF THE KYOTO PROTOCOL*, 8 pp, 1999, http://www.sepp.org/NewSEP/KyotoAssessment.html

54. Mörner N.A. Future Changes in sea level, *Abstracts for the IUGG XXI General Assembly*, July 3-8, 1995.

55. IPCC. Climate Change, 1995. The Sciences of climate changes. J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A.Kattenberg and K. Maskell, eds. IPCC, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1996.

56. Oppenheimer M. Global warming and the instability of the West Antartic Ice Sheet, *Nature*, 393, 325-332, 1998.

57. Titus J.G. e Narayanan V.K. The Probability of Sea Level Rise. *EPA*, 230-R-95-008, pp. 185, 1995.

58. Alley R. B., et al. Comment in "Forum about AGU", *EOS, Transactions, American Geophysical Union*, 79, 15, 188, 1998.

59. Wigley T.M.L., e Raper S.C.B. Implications for climate and sea-level of revised IPCC emission scenarios. *Nature*, 357, 293-300, 1992.

60. Chiamenti E., Ramieri E.. Climate Change and the Mediterranean. T.R. 1. Fondazione ENI Enrico Mattei, 1999.

61. Metaxas D.A., Bartzokas A., e Vitsas A. Temperature fluctuations in the Mediterranean area during the last 120 years. *Int. J. Climatology*. 11, 897-908, 1991.

62. Palutikof J.P., Guo X., Wigley T.M.L., Gregory J.Y. Regional changes in climate in the mediterranean besin due to global greenhouse gas warming. MAP Thecnical Report Series, 66, *UNEP*, Athens, Greece, 1992.

63. Palutikof J.P. e Wigley T.M.L. Developing climate change scenarios for the Mediterranean Region. In *'Climate change and the Mediterranean'* vol.2, Jeftic L.S., Keckes S., and Pernetta J.C. eds., Edward Arnold, London, UK, 27-56, 1996.

64. Cubasch U., Von Storch H., Waszkewitz, Zorita E. Estimates of climate change in Southern Europe derived from dynamical climate model output. *Climate Research*, 7, 129-149, 1996.

65. Barrow E., e Hulme M. Construction of regional scenarios. In "Climate change and agricolture in Europe. Assessment of impacts and adaptations. Harrison R.A., Butterfield R., and Downing T.E., eds., Research Report, 9, Environmental Change Unit, University of Oxford, UK, 21-30, 1995.

66. United Nations. Report of the in-depth review of the national communication of Italy. Framework Convention on Climate Change, 1997. http://www.unfccc.de

67. Piervitali E., Colacino M. e M. Conte, Rainfall over the Central-Western Mediterranean basin in the period 1951-1995, Part II: Precipitation scenarios, *Il Nuovo Cimento*, (in press), 1998.

68. Titus J.G. e Narayanan V.K. How to use these results to project local sea level. In "The Probability of Sea Level Rise". *EPA,* 230-R-95-008, cap 9., 143-147, 1995.

69. Dickinson R. E. Time to act is now. *EOS, Transactions, American Geophysical Union,* 78, 50, 1997.