APAT
Agenzia per la protezione
dell'ambiente e per i servizi tecnici

Aggiornamenti sulle osservazioni dei livelli di marea a Venezia

Rapporti 69/2006

Informazioni legali
L'Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici o le persone che agiscono per conto dell'Agenzia stessa non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo rapporto.

APAT - Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici
Via Vitaliano Brancati, 48 - 00144 Roma
www.apat.it

APAT
Dipartimento per la Tutela delle Acque Interne e Marine
Servizio Laguna di Venezia

© APAT, Rapporti 69/2006

ISBN 88-448-0184-1

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Elaborazione grafica
APAT

Grafica di copertina: F. Iozzoli; L. Campana

Foto di copertina: Apat Servizio Laguna di Venezia; immagini TM LANDSAT

Coordinamento tipografico e distribuzione
Olimpia Girolamo - Simonetta Turco - Michela Porcarelli
APAT - Servizio Stampa ed Editoria
Ufficio Pubblicazioni

Impaginazione e stampa
I.G.E.R. srl - Viale C.T. Odescalchi, 67/A - 00147 Roma

Stampato su carta TCF

Finito di stampare ottobre 2006

AUTORI:

Dr. Ing. Maurizio Ferla - Dirigente Responsabile APAT - Servizio Laguna di Venezia
Dott. Marco Cordella - Tecnologo c/o APAT - Servizio Laguna di Venezia
Dr. Ing. Lara Michielli - Collaboratrice c/o Apat - Servizio Laguna di Venezia

INDICE

Prefazione . . . . . pag. 7

Introduzione 9

La Misura del livello medio marino a Venezia 11

Aggiornamenti e confronti a Venezia 13

Il livello medio marino a Trieste 15

Linee di tendenza 17

Scenari di crescita del L.M.M. a Venezia 21

La frequenza delle alte maree a Venezia 25

La frequenza delle alte maree a Chioggia 29

Conclusioni 33

Ringraziamenti 35

Bibliografia 37

PREFAZIONE

La laguna di Venezia è un delicato ecosistema nel quale, da secoli, convivono, spesso in maniera conflittuale, fattori antropici e naturali. Il quotidiano ciclo della marea scandisce, in un certo senso, il ritmo vitale della laguna condizionandone i vari aspetti: ecologici, ambientali, economici e sociali. La sistematica osservazione dei livelli di marea, con la sua più che secolare tradizione, e le relative analisi ed elaborazioni, consentono di cogliere i caratteri di alcuni dei più significativi cambiamenti che si registrano in questo delicato contesto ambientale.
L'APAT - Servizio Laguna di Venezia, che dal 2002 ha rilevato la tradizione di studi condotti dall'Ufficio Idrografico sin dal 1907, con il presente contributo intende proporre un aggiornamento delle consuete analisi sui livelli di marea registrati in laguna evidenziando alcune singolarità emerse nell'ultimo decennio relativamente ai fenomeni di eustatismo e subsidenza, all'aumento della frequenza delle maree eccezionali e agli scenari di crescita del l.m.m. nella città lagunare. Tutti aspetti che assumono un rilievo di primaria importanza non solo per il futuro della città e degli altri centri abitati lagunari come Chioggia, Murano, Burano, ecc., ma in generale per il sistema lagunare considerato non come una unità a se stante ma integrato in un sistema complesso che include fiumi, litorali e pianure collocate al di sotto del livello medio del mare e che quindi risulta esposto al duplice rischio di inondazione dal mare e da terra.
E' quindi tutta l'area nord adriatica del nostro Paese che va considerata come un delicato segmento ambientale ove convivono attività industriali, agricole e turistiche, patrimonio storico, culturale ed architettonico, aree umide di particolare pregio naturalistico. Un delicato segmento ambientale che, nelle scelte di pianificazione degli interventi, richiede particolare attenzione verso quegli obbiettivi di sviluppo sostenibile che si ritrovano, in particolare, negli indirizzi emanati dalla Comunità Europea.
Il presente lavoro, che quindi si inquadra nei compiti istituzionali propri dell'APAT, offre un contributo di dati e di informazioni che tradizionalmente viene assunto come riferimento per tecnici, ricercatori ed amministratori impegnati nelle problematiche proprie di tutela della laguna di Venezia e della difesa degli ecosistemi costieri e lagunari nell'area nord adriatica.

Avv. Giancarlo Viglione
Il Direttore

INTRODUZIONE

Le osservazioni sistematiche sulle oscillazioni della marea nella città di Venezia iniziarono nel 1872 quando, ad opera dell'Ing. Tommaso Mati, ingegnere superiore del Real Corpo del Genio Civile, venne installato il primo mareografo presso Palazzo Loredan in Campo S. Stefano. Nei decenni successivi altre stazioni di osservazione vennero installate in ambito cittadino ancora ad opera del Genio Civile e poi dell'Istituto Geografico Militare. Proprio l'IGM, nel 1910, utilizzò le osservazioni raccolte al mareografo di Campo S. Stefano per determinare a Venezia lo *zero* della rete altimetrica dello Stato quale media delle alte e delle basse maree registrate tra il 1884 e il 1909 ed attribuendo tale valore al *livello medio del mare* dell'anno centrale 1897 (Dorigo, 1961).
A partire dal 1907 l'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque organizzò l'attività di osservazione sistematica dei livelli di marea nella laguna e lungo il litorale adriatico integrandola, in forma organica ed ordinata, con tutte le attività di monitoraggio marittimo-lagunare (misure di corrente, rilievi batimetrici, profili di spiaggia, trasporto torbido) e idraulico-territoriale (portate fluviali, rilievo dei corsi d'acqua, livelli idrometrici, trasporto solido, precipitazioni, ecc).
Nel 1989, per effetto della entrata in vigore della legge 183/89 sulla difesa del suolo, le attività di monitoraggio marittimo-lagunare e idraulico-territoriale dell'Ufficio Idrografico vennero incluse nella *cosiddetta attività conoscitiva* dei Servizi Tecnici Nazionali (SS.TT.NN.).
Dal 2002 le attività di monitoraggio meteomarino e marittimo-lagunare già disimpegnate nell'ambito del SS.TT.NN., vennero riorganizzate in seno all'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per il Servizi Tecnici (APAT). All'APAT vennero quindi affidate la Rete Ondametrica Nazionale (RON), la Rete Mareografica Nazionale (RMN) e la Rete Telemareografica della Laguna di Venezia (RTLV).
La RTLV è composta da 52 stazioni meteo-mareografiche distribuite all'interno della laguna e lungo un tratto di litorale di circa 300 km che va da Porto Caleri, in prossimità del delta del Po, fino a Trieste.
La RTLV, che in quest'area è la più estesa del suo genere, viene oggi utilizzata per molteplici scopi: da quelli istituzionali propri dell'APAT (emissione del bollettino giornaliero della marea, segnalazione e previsione dei fenomeni di alta marea eccezionale, monitoraggio dei livelli estremi di marea e delle connesse forzanti meteorologiche, ecc.) a quelli più generali di interesse tecnico e scientifico che riguardano la salvaguardia fisica ed ambientale della laguna, la difesa idraulica dei centri urbani, lo studio dei fenomeni di eustatismo e subsidenza propri dell'area adriatica nord-occidentale. Molte delle stazioni della RTLV possono vantare lunghi periodi di continuo esercizio, anche di molti decenni. Il continuo aggiornamento delle serie storiche delle osservazioni dei livelli di marea rappresenta ancora oggi uno dei principali compiti correlati alle problematiche di natura ambientale che riguardano la laguna e il litorale nord-adriatico.

Ing. Roberto Mussapi
Direttore del Dipartimento
Tutela acque interne eMarine

Ing. Maurizio Ferla
Dirigente Responsabile

LA MISURA DEL LIVELLO MEDIO MARINO A VENEZIA

Sin dai primi anni dalla sua istituzione, l'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque rivolse particolare interesse allo studio del livello medio del mare offrendo significativi contributi alla comunità scientifica internazionale già allora preoccupata del fenomeno dell'eustatismo e dei connessi effetti per la città di Venezia e la sua laguna.

Punto di riferimento fondamentale per le osservazioni mareografiche nella laguna è sempre stato, ed è ancora oggi, la stazione di Punta della Salute in Canal della Giudecca istituita nel 1923 dall'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque (figura 1). All'epoca della sua istituzione la misura dei livelli di marea venne riferita al *livello medio del mare* del 1897 in analogia a quanto era stato stabilito per le altre stazioni della laguna. Sebbene tale riferimento abbia oggi perso di significato per le rilevazioni geodetiche e topografiche, tale consuetudine, rimasta immutata fino ai nostri giorni, ha un suo valore del tutto particolare per Venezia e la sua laguna. Il vantaggio di avere mantenuto tale riferimento infatti ha consentito di svincolare le misure del livello marino dai movimenti relativi del suolo veneziano rispetto alla posizione media della superficie marina che, dal 1897 ad oggi, si è elevata per l'effetto combinato dei fenomeni di eustatismo e subsidenza[1].

Figura 1 – Venezia, stazione mareografica fondamentale di Punta della Salute.

Figura 2 – Zero Mareografico di Punta della Salute.

Nel 1984 l'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque, "*fotografò*" le consuetudini che assumevano come riferimento per la misura delle maree il piano posto a 1,8181 mt al di sotto della piastrina posizionata sul bordo del pozzetto interno alla stazione di Punta della Salute. Tale riferimento è oggi denominato Zero Mareografico di Punta della Salute (ZMPS) ed è identificato da un apposito cippo posto sulla riva lungo il Canal della Giudecca a ridosso della parete dell'edificio ove aveva sede l'antica Dogana (figura 2)[2].

[1] Lo zero della rete altimetrica fondamentale dello Stato coincide con il l.m.m. del 1942 (anno centrale del periodo 1937-1946) dedotto dal mareografo di Genova. Il l.m.m. di Genova 1942 vene riportato nel 1968, mediante livellazione da Conegliano (TV) a Venezia ad opera del Comitato Interministeriale per la difesa di Venezia (III Gruppo). Rispetto allo zero del caposaldo mareografico di Punta della Salute, lo zero della rete altimetrica dello Stato risultò più alto di 23,56 cm.

[2] Nel corso di quasi 100 anni numerose campagne di livellazione sono state eseguite per collegare le stazioni della RTLV ai capisaldi della rete altimetrica dello Stato. Nel 2005 l'APAT ha posizionato un ricevitore GPS fisso presso la stazione mareografica di Punta della Salute a Venezia per l'esecuzione in continuo di misure geodetiche finalizzate al controllo di stabilità dei capisaldi della RTLV e dei movimenti crostali verticali nell'area peri-adriatica. Un apposito caposaldo solidale con il ricevitore GPS è stato collegato altimetricamente alla piastrina mareografica della vicina stazione tramite livellazione di precisione. Il ricevitore è stato inoltre integrato nella rete delle altre stazioni GPS fisse già posizionate presso altri siti tra cui la stazione mareografica di Ravenna, della RMN, e la stazione di Molo Sartorio a Trieste gestita dal CNR. L'analisi delle misure GPS a Punta della Salute è stata affidata al Dipartimento di Fisica dell'Università di Bologna.

AGGIORNAMENTI E CONFRONTI A VENEZIA

La serie delle osservazioni dei livelli di marea a Venezia, che si estende con continuità per 134 anni (1872-2005), rappresenta una delle più lunghe serie mareografiche nel Mediterraneo. L'Ufficio Idrografico, oggi APAT - Servizio Laguna di Venezia, aggiorna sistematicamente le elaborazioni sul livello medio marino annuale proponendo di volta in volta analisi e confronti di particolare interesse per la salvaguardia della città e della sua laguna (Dorigo 1961; Rusconi, 1983, Rusconi et al. 1992; Bonato et al. 2001).
Partendo dalle osservazioni giornaliere della marea, vengono calcolate, per ogni mese dell'anno, le medie decadali quali medie dei livelli massimi e minimi osservati nel corso della decade secondo la seguente espressione:

$$h = \frac{1}{n}\left(\frac{h_1}{2} + h_2 + \ldots + h_{n-1} + \frac{h_n}{2}\right) \qquad (1)$$

dove $h_1, h_2, \ldots h_n$ rappresentano le altezze massime e minime di marea registrate durante la decade di riferimento.
La media mensile viene poi calcolata quale media pesata delle tre decadi del mese corrispondente e, infine, la media annuale del livello della marea viene a sua volta calcolata anch'essa come la media pesata dei livelli medi mensili assumendo come peso il numero dei giorni del mese cui ciascun valore appartiene. Non si commettono errori apprezzabili se si assumono coincidenti *il livello medio annuale della marea* e il *livello medio marino annuale* (IOC-UNESCO, 1985).
La tabella I riporta i valori in centimetri del livello medio marino annuale calcolato per Venezia secondo la procedura innanzi descritta. La tabella riporta inoltre le medie per decenni interi (1870-79, 1880-89,… 1990-99) calcolate come media dei valori medi annuali[3].

Tabella I. Stazione Mareografica di Punta Salute (Venezia). Valori medi annuali e valori medi decennali del livello del mare rispetto allo ZMPS.

Anni/Decenni	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Media decennale (cm)
1870			150.3	148.5	140.8	141	148.8	150.5	149.6	154.5	***148.0***[4]
1880	144.1	148.5	144.6	145.7	142.2	150	150.1	146.4	149.2	149.6	**147.0**
1890	147.7	147.8	153.2	149.0	146.8	157.2	148.8	152.2	150.7	147.3	**150.1**
1900	154.9	153.1	153.5	150.8	152.1	153.3	153.1	150.8	147.5	156.3	**152.5**
1910	161.4	154.3	151.3	149.4	158.1	165.5	163.9	155.6	154.1	159.5	**157.3**
1920	157	146.5	153.3	156.8	153.6	154.6	157.3	157.5	155.7	150.9	**154.3**
1930	158.4	160.2	154.8	158.3	159.2	160.0	164.7	167.6	156.2	162.8	**160.2**
1940	163.8	165.9	161.3	156.5	161.4	161.3	163.0	165.6	161.0	154.1	**161.4**
1950	161.6	171.7	165.9	162.4	164.8	169.1	165.2	164.1	168.8	165.7	**165.9**
1960	174.9	171.1	170.6	174.4	164.2	171.5	175.2	169.1	171.9	176.8	**172.1**
1970	174.7	173.4	169.1	167.8	170.5	166.6	168.6	171	172.7	175	**170.9**
1980	172.2	172.3	171.7	170.1	174.6	171.9	173.1	175.9	171.9	166.3	**172.0**
1990	166.6	168.7	168.1	168.5	171.7	172.2	177.1	174.3	174.1	175.2	**171.7**
2000	175.6	**177.9**	177.7	174.8	**178.6**	175.8					***176.8***[5]

[3] Negli anni 90, a seguito delle operazioni di riordino dell'archivio dell'Ufficio Idrografico, sono emerse alcune elaborazioni che, per il periodo 1932-1951, fanno riferimento a dati leggermente diversi, di qualche centimetro, da quelli riportati in tabella I che tuttavia conducono alle medesime risultanze nelle già note analisi di lungo periodo.
[4] Valore parziale in quanto riferito agli 8 anni che vanno dal 1872 al 1879.
[5] Valore parziale in quanto riferito ai 6 anni che vanno dal 2000 al 2005.

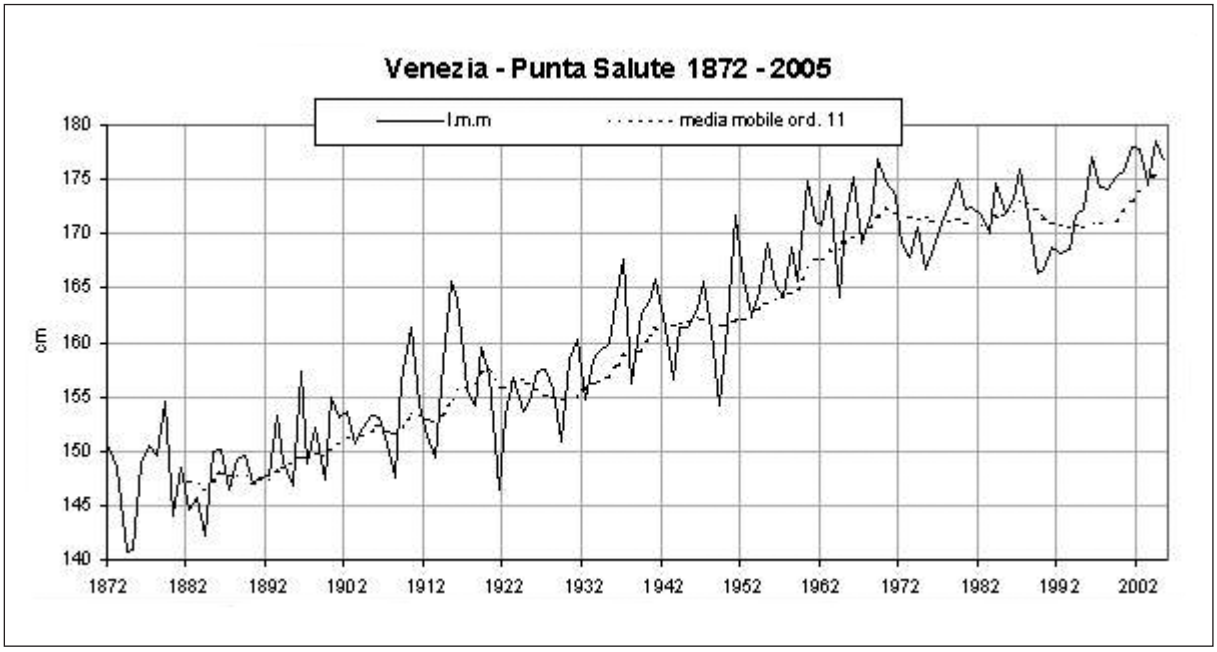

Figura 3 - Stazione Mareografica di Punta della Salute (Venezia).Andamento del livello medio marino annuale dal 1872 al 2005.

I valori medi annuali contenuti nella tabella I, rappresentati graficamente nella figura 3, evidenziano il ben noto andamento crescente del livello medio marino osservato a Venezia in 134 anni. L'osservazione del grafico e della media mobile, calcolata con passo di 11 anni, evidenzia che tale crescita non è stata uniforme nel tempo ma è risultata particolarmente marcata in alcuni periodi, come ad esempio durante gli anni '50 e '60, quando la massiccia estrazione di acque per uso industriale dalle falde sotterranee a ridosso della cinta peri-lagunare accentuò pesantemente i fenomeni di subsidenza già presenti nella zona a causa della particolare natura del sottosuolo.
L'effetto della interruzione degli emungimenti dalla falda, cessati solo alla fine degli anni '60, si riflette positivamente sull'andamento del livello medio marino annuale i cui valori, a partire dagli anni '70 e fino ai primi anni'90, sembravano manifestare una certa stabilità, se non addirittura in lieve controtendenza (Rusconi, 1993). A partire dall'anno 2000 i valori invece evidenziano una nuova fase di crescita con due estremali di ***177.9 cm*** e ***178.6 cm***, calcolati rispettivamente per il 2001 e per il 2004, mai raggiunti in precedenza..
Il valore più basso del livello medio annuale resta quindi ancora quello del 1874, pari a 140.8 cm ZMPS, mentre il valore più elevato, che in precedenza era di 177.1 cm ZMPS (1996), oggi risulta pari a quei **178.6** cm ZMPS calcolati per l'anno 2004. Di conseguenza nel periodo 1872/2005 la differenza tra i due estremi è passata da 36.3 cm a 37.8 cm, con un aumento di 1.5 cm rispetto ai precedenti aggiornamenti (Bonato et al. , 2001).

IL LIVELLO MEDIO MARINO A TRIESTE

Per separare gli effetti dovuti all'innalzamento generale del livello del mare (eustatismo) da quelli della subsidenza, propri dell'area veneziana, è stato aggiornato il tradizionale confronto dei dati di livello medio del mare calcolati per Punta della Salute con quelli relativi alle osservazioni raccolte, a partire dal 1890, presso la stazione "Molo Sartorio" di Trieste gestita dal C.N.R, Istituto di Scienze Marine, Sezione di Oceanografia Chimica e Fisica "Francesco Vercelli". Ciò perché il riferimento di quest'ultima stazione, posta a circa 120 km in linea d'aria da Venezia, risiede su una piattaforma rocciosa e quindi risulta esente da quei fenomeni di costipamento naturale tipici degli strati argillosi e sabbiosi del sottosuolo lagunare.
La tabella II riporta i valori in centimetri del livello medio marino annuale a Trieste calcolati, dal 1890 al 2005, nonché le medie riferite ai decenni interi (1870-79, 1880-89,… 1990-99). Per omogeneità di confronto anche i valori di Trieste sono riferiti al medesimo ZMPS.
Il valore più basso del livello medio annuale a Trieste è quello del 1890, pari a 145.1 cm, mentre il valore più elevato resta ancora quello calcolato per l'anno 1970 pari a + **168.1** cm. Di conseguenza nel periodo 1890/2005 la differenza tra i due estremi rimane ancora invariata e pari a 23.0 cm.

Tabella II. Stazione Mareografica di Trieste – Molo Sartorio. Valori medi annuali e valori medi decennali del livello del mare dal 1890 al 2005 (Dati forniti dal CNR, Istituto di Scienze Marine di Trieste).

Anni/Decenni	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Media decennale (cm)
1890	145.1	146.2	151.7	147.4	145.2	155.6	147.2	150.7	150.4	147.4	**148.9**
1900	154.9	153.4	154.2	150.3	151.9	151.7	152.9	146.4	148.5	151.2	**151.5**
1910	160.8	150.0	152.1	151.6	154.9	162.0	161.2	152.7	151.3	155.4	**155.2**
1920	155.0	148.8	156.5	157.0	152.6	154.8	157.5	157.7	155.0	150.5	**154.5**
1930	157.7	157.8	153.3	155.5	156.0	156.3	162.1	163.8	153.2	158.7	**157.3**
1940	158.8	161.9	157.1	152.2	153.6	156.1	157.2	160.4	155.9	150.3	**156.3**
1950	156.9	165.1	160.3	154.6	155.8	161.8	157.7	156.0	161.9	155.2	**158.5**
1960	166.1	160.3	159.8	165.0	157.2	162.9	165.3	158.7	160.7	164.6	**162.1**
1970	**168.1**	160.9	159.8	156.3	159.8	158.3	159.0	161.4	163.4	165.3	**161.2**
1980	162.6	163.2	161.0	160.5	163.7	161.2	162.1	164.3	163.7	157.9	**162.0**
1990	157.2	158.3	158.1	157.8	161.8	161.5	165.3	163.7	163.9	165.1	**161.3**
2000	165.3	167.2	166.8	162.2	166.0	163.5					***165.2***[6]

[6] Valore parziale in quanto riferito ai sei anni che vanno dal 2000 al 2005.

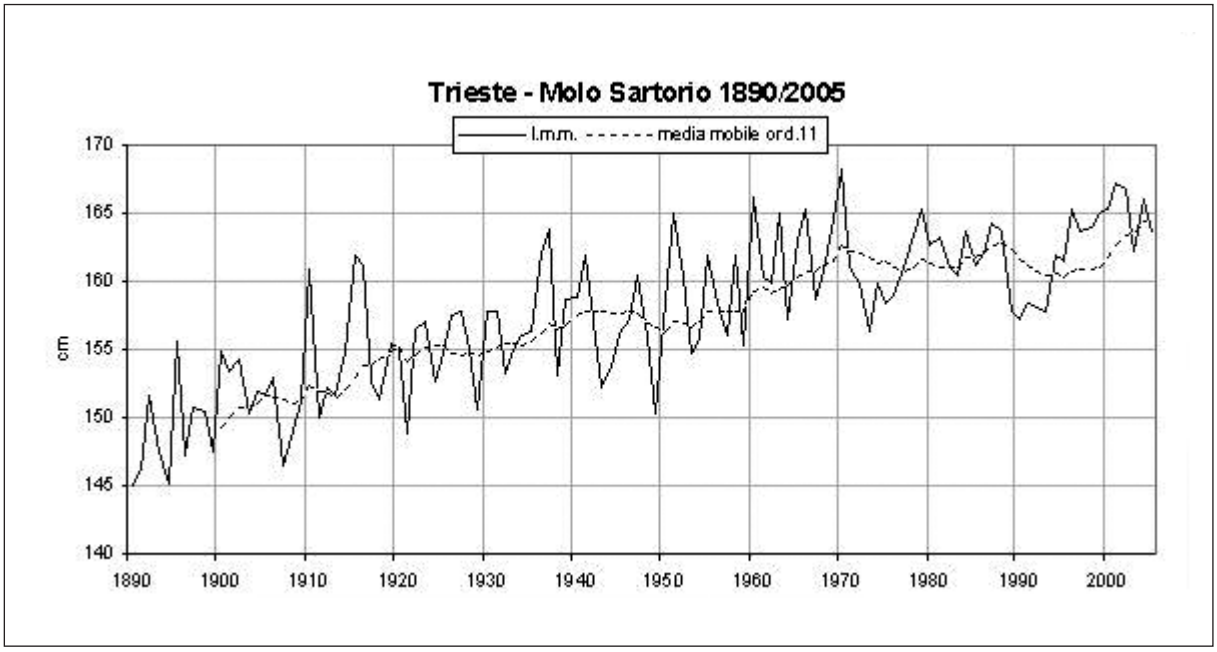

Figura 4 - Stazione Mareografica di Molo Sartorio (Trieste). Andamento del livello medio marino annuale dal 1890 al 2005.

In figura 4 viene proposto l'andamento, aggiornato al 2005, relativo alla serie temporale del livello medio marino calcolato per Trieste. Anche in questo caso il grafico e la media mobile evidenziano la tendenza generale di aumento del l.m.m. con caratteristiche abbastanza simili con il grafico di figura 3, a meno del periodo 1950-1970 ove la crescita è meno marcata rispetto a quanto osservato per Venezia.

In figura 5 viene invece proposto il confronto tra le medie decennali calcolate per Venezia e quelle calcolate per Trieste. La fase di crescita, già evidenziata a partire dall'anno 2000, sembrerebbe inoltre confermata anche dal valore parziale della media del periodo 2000-2005. E' bene osservare che nel caso di Venezia tale media parziale è risultata pari a 175.8 cm, valore ben maggiore rispetto alle medie decennali dei periodi precedenti.

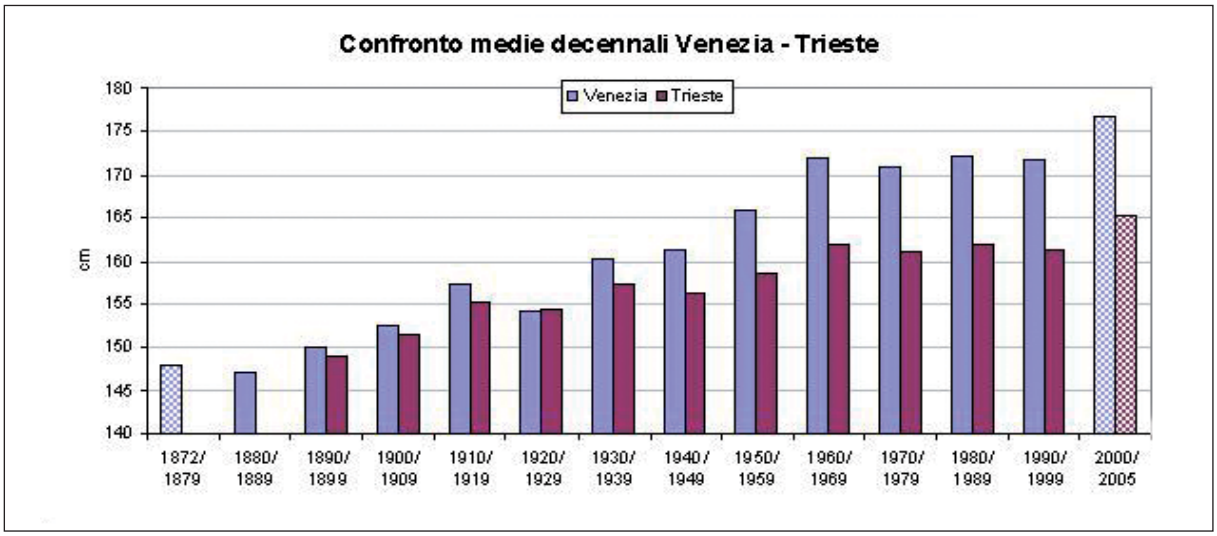

Figura 5 - Medie decennali del l.m.m. a Venezia e a Trieste. I dati relativi all'ultimo istogramma a destra sono evidentemente incompleti in quanto si riferiscono al periodo 2000-2005.

LINEE DI TENDENZA

E' stata approntata un'analisi preliminare per adattare la serie storica del l.m.m. di Venezia ad alcune delle più comuni leggi di regressione che fossero in grado di offrire una descrizione del fenomeno in termini statistici per poter quindi trarre qualche deduzione utile a delineare gli scenari futuri. Nello specifico sono state prese in considerazione tre tipi di regressioni: quella lineare (figura 6-a), quella polinomiale di 2° grado (figura 6-b), e quella esponenziale (figura 6-c).

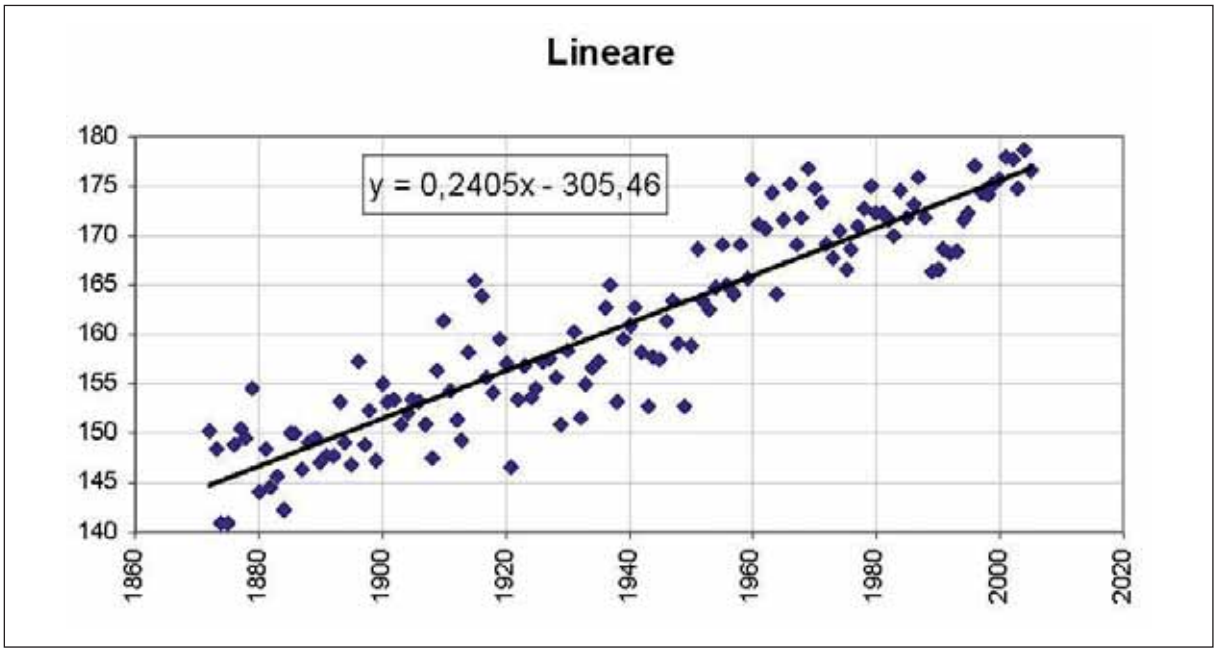

Figura 6-a – Venezia Punta della Salute. Adattamento della serie storica del livello medio mare 1872-2005. ***Regressione lineare.***

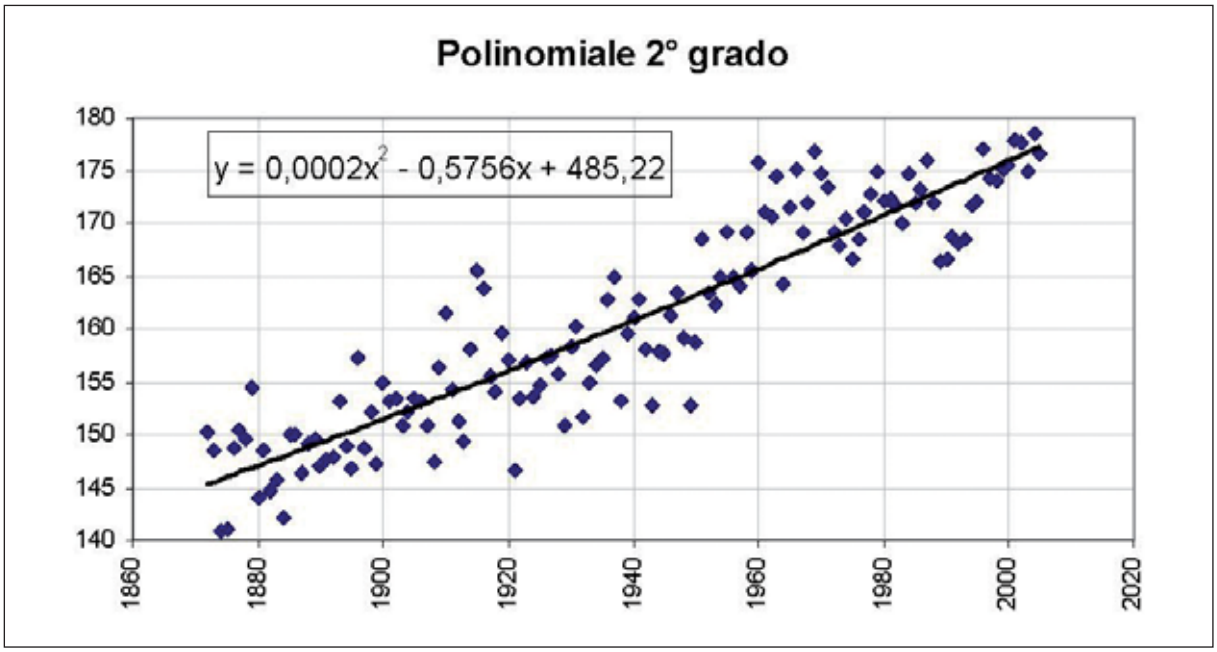

Figura 6-b – Venezia Punta della Salute. Adattamento della serie storica del livello medio mare 1872-2005. ***Regressione polinomiale di 2^ grado.***

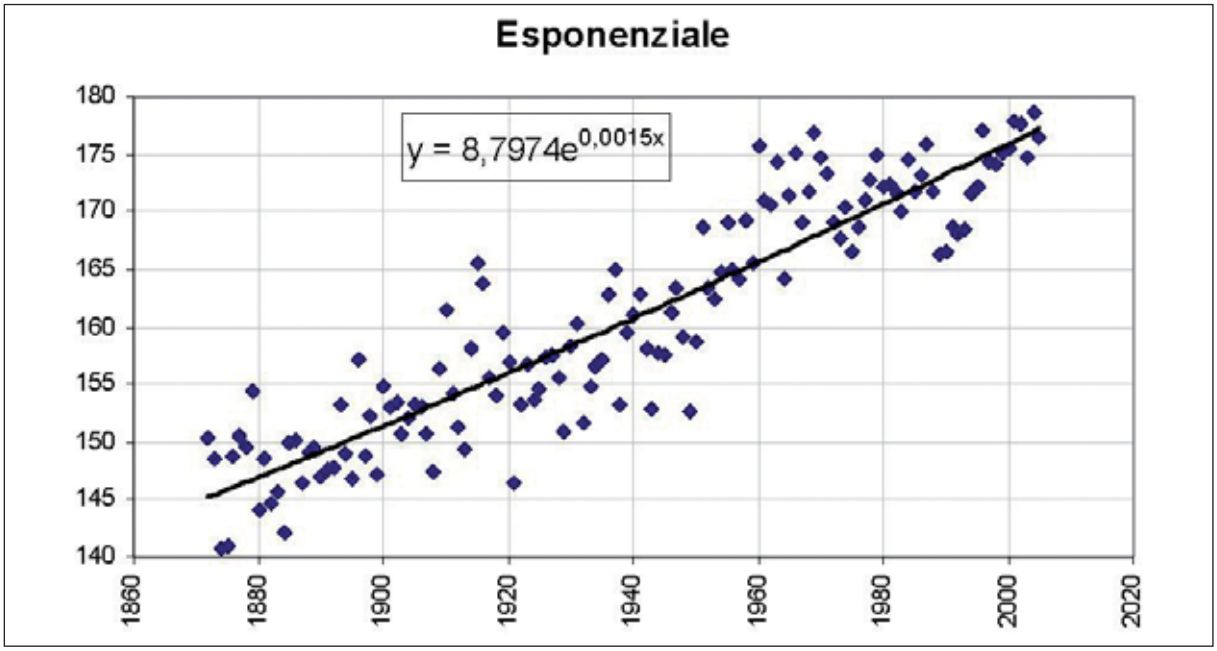

Figura 6-c – Venezia Punta della Salute.Adattamento della serie storica del livello medio mare 1872-2005. ***Regressione esponenziale.***

Per la valutazione della bontà di adattamento della serie storica a ciascuna delle leggi di regressione considerate si è tenuto conto:
della distribuzione dei residui, intesi come differenza tra il valore osservato del livello medio mare e il valore interpolato al medesimo tempo ***t*** dalla legge di regressione considerata; in tutti e tre i casi (lineare, polinomiale di 2° grado ed esponenziale) la distribuzione dei residui si approssima abbastanza bene a quella di tipo normale con media pari a zero;
del grado di correlazione dimostrato da ciascuna legge di regressione con la serie storica dei valori del livello medio mare; in tutti e tre i casi l'adattamento tra il campione e i valori stimati appare piuttosto buona e i rispettivi coefficienti di correlazione differiscono di pochissimo attestandosi intorno al valore di 0.84.
Dalla costruzione di alcuni indicatori di base si nota inoltre che in tutte le tre regressioni proposte il campo di variazione dei residui è compreso tra +/- 11 cm e il loro andamento nel tempo non presenta tendenze evidenti.
In definitiva le analisi condotte per Venezia non evidenziano particolari elementi a favore di un tipo di regressione rispetto ad un altro.

Analoghe valutazioni sono state condotte per la serie temporale del l.m.m. annuale calcolato per Trieste ottenendo tuttavia risultanze diverse rispetto al caso di Venezia. Risulta infatti che solo la regressione lineare offre un grado di adattamento sufficientemente accettabile in ragione di un coefficiente di correlazione più elevato e ad una migliore simmetria nella distribuzione dei residui. Adottando quindi per entrambe le serie la regressione di tipo lineare è possibile effettuare alcuni interessanti confronti tra le linee di tendenza relative alle due stazioni (figura 7).

$y = 0.2412\ x + 144.87$ (Venezia, 1872-2005) (2)

$y = 0.1273\ x + 147.84$ (Trieste, 1890-2005) (3)

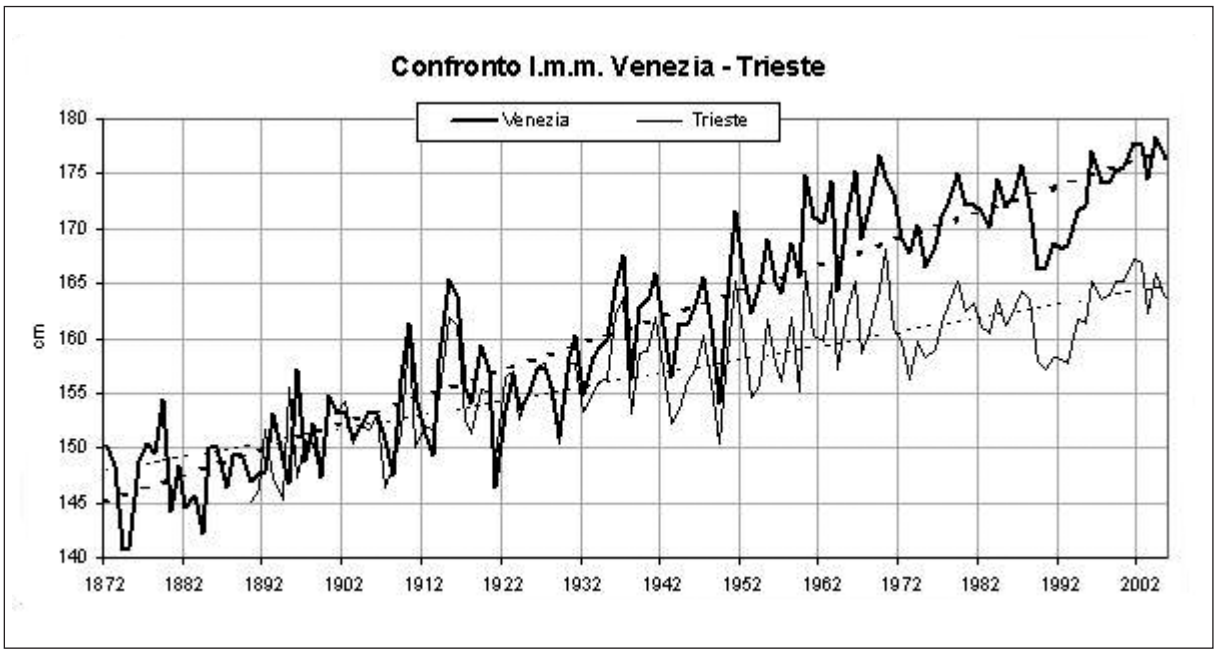

Figura 7 - Andamento del l.m.m. a Venezia (1872-2005) e a Trieste (1890-2005) e rette di interpolazione lineare.

Ulteriori confronti possono essere effettuati con le precedenti analisi, aggiornate all'anno 2000, per le quali le linee di tendenza relative alle due stazioni avevano le seguenti espressioni (Bonato et al., 2001):

$y = 0.2406\ x + 144.90$ (Venezia 1872/2000) (4)

$y = 0.1261\ x + 150.18$ (Trieste 1890/2000) (5)

Dal confronto delle (2) e (3) rispettivamente con le (4) e (5) si evidenzia un lieve aumento delle inclinazioni delle due rette, il che confermerebbe ancora l'avvio di una nuova fase di crescita del l.m.m. a partire dall'anno 2000. Per quanto riguarda Punta della Salute la retta di regressione relativa al periodo 1872/2005 (134 anni) indica un dislivello complessivo di 32.1 cm cui corrisponde una crescita media di 23.94 cm al secolo (2.394 mm/anno). Per il periodo 1872-2000 dislivello complessivo era risultato di 30.8 cm con una crescita media 23.87 cm al secolo (2.387 mm/anno) quindi lievissimamente inferiore a quella aggiornata al 2005.
La tabella III raccoglie i valori di dislivello calcolati utilizzando la (2), la (3), la (4) e la (5) riferendosi ai periodi 1890/2000 e 1890/2005 di comune funzionamento delle due stazioni. In entrambi i casi si registra un aumento del l.m.m. annuale: 1 cm nel caso di Venezia, passata da 27.0 a 28.0 cm; 0.7 cm nel caso di Trieste, passata del 13.9 a 14.6 cm.
E' interessante inoltre osservare che la differenza Venezia-Trieste è leggermente aumentata passando dal valore di 13.1 cm per il periodo 1890-2000 al valore di 13.4 cm per il periodo 1890-2005. Limitando tuttavia l'attenzione al solo periodo 2000-2005, la differenza Venezia-Trieste è aumentata di poco meno di 3 mm cui è associabile un valore medio annuo di poco inferiore ai 0.5 mm quindi abbastanza vicino ai valori di subsidenza naturale attribuiti alla città lagunare dopo il 1970.

Tabella III. Differenze di livello medio mare a Venezia e a Trieste calcolate per il periodo 1890-2000 e 1890-2005.

Periodo	*Δ(VE)*		*Δ(TS)*		*Δ(VE) - Δ(TS) (cm)*
	cm	*mm/anno*	*cm*	*mm/anno*	
1890/2000	***27.0***	2.406	***13.9***	1.273	***13.1***
1890/2005	***28.0***	2.412	***14.6***	1.261	***13.4***

Valutazioni sostanzialmente conformi si ottengono analizzando separatamente la serie dei valori ottenuta tramite la differenza tra i corrispondenti valori di l.m.m. relativi alle due stazioni. La figura 8 mostra ancora una sostanziale stabilità tra il 1970 e il 2000, con media mobile (passo 11 anni) intorno ai 10 cm. Un leggero aumento della media mobile si registra tuttavia tra il 2002 e il 2005 passando dai 10.5 agli 11.2 cm.
Quello che emerge da questo confronto tra le due stazioni è che la crescita del l.m.m. a Venezia tra il 1890 e il 2000 è stimabile in 27 cm, di cui 13.9 cm vanno attribuiti all'eustatismo, mentre 13.1 cm alla subsidenza (naturale ed antropica). Aggiornando i dati al 2005 la crescita del l.m.m. a Venezia è stimabile in 28 cm di cui 14.6 cm per eustatismo e 13.4 cm per subsidenza.

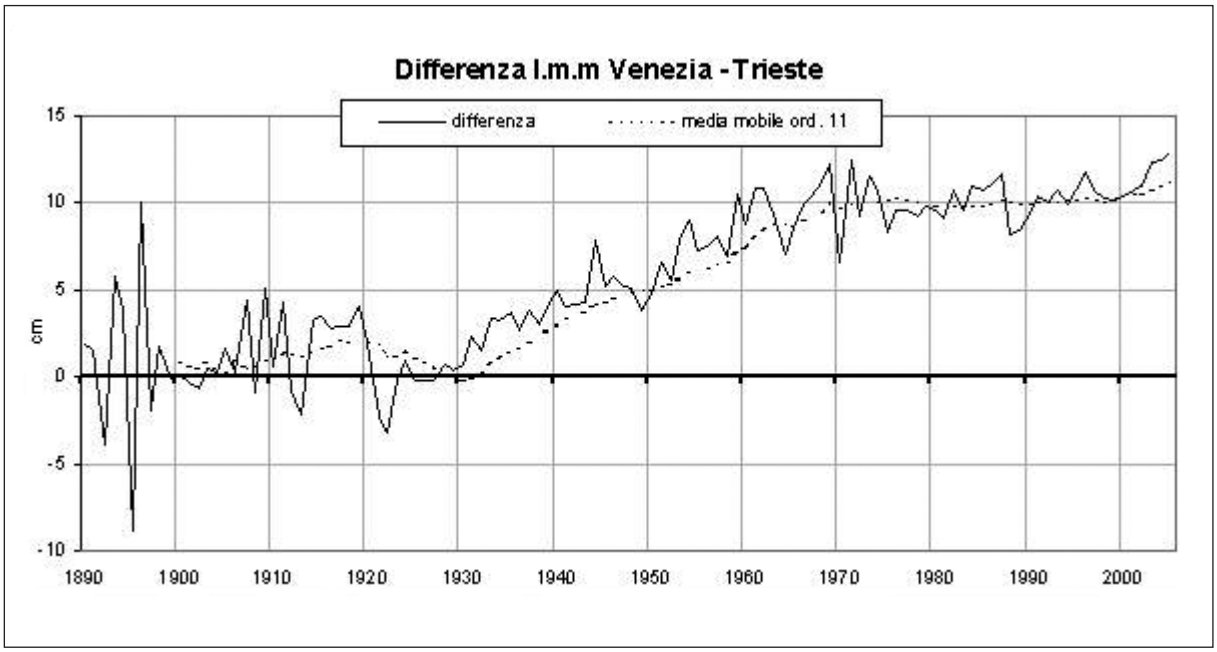

Figura 8 - Andamento della differenza trai livelli marini a Venezia e a Trieste.

SCENARI DI CRESCITA DEL L.M.M. A VENEZIA

Nel 1999, in relazione all'esigenza di valutare l'adeguatezza del progetto di regolazione dei flussi di marea alle bocche di porto nella laguna di Venezia (Mo.s.e.), il Ministero dell'Ambiente richiese al Co.Ri.La.[7] un approfondimento sugli scenari di crescita del l.m.m. alla luce delle caratteristiche peculiari regionali degli scenari di eustatismo provocati dai cambiamenti climatici dovuti all'effetto serra. A seguito di un'analisi delle indicazioni generali, non sempre univoche, proposte dalla comunità scientifica internazionale e tenendo conto delle valutazioni particolari che emergevano dall'esame dei dati mareografici di Venezia e Trieste aggiornati al 1993, il predetto organismo ipotizzava nel caso di Venezia una crescita del l.m.m. per l'anno 2100 variabile tra 16.4 cm e 31.4 cm. Tali valori risultano comprensivi del contributo della subsidenza, peraltro limitata soltanto agli effetti naturali, valutati in 0.4 mm/anno, ed escludono qualunque influenza di carattere antropico. In definitiva, per la pianificazione degli interventi per la salvaguardia della laguna di Venezia, il Co.Ri.La. nel 1999 proponeva di adottare uno scenario probabile, definito "*cautelativo*" che ipotizzava per il 2100 un aumento del l.m.m. di 21-23 cm basando tale valutazione sull'interpretazione dei dati di incremento eustatico osservati nel Mediterraneo nell'arco di un secolo fino al 1993, senza includere esplicitamente gli effetti di eventuali cambiamenti climatici indotti dalla crescita di emissione dei gas-serra (Co.Ri.La., 1999).
Ulteriori elementi di giudizio sono successivamente intervenuti a seguito dell'aggiornamento delle stime dell'IPCC sugli effetti legati ai cambiamenti climatici connessi con l'aumento di emissioni di gas serra. Tali stime prefigurano per il periodo 1990-2100 un generale innalzamento del livello medio del mare variabile tra i 9 e gli 88 cm a scala planetaria, con valore più probabile intorno ai 48 cm (figura 9). Tuttavia i modelli climatici stimano che la crescita del l.m.m. non sarà costante ma accelererà nella seconda metà di questo secolo. Inoltre l'IPCC avverte che la crescita non sarà uguale per tutti i mari ma sarà maggiore nell'emisfero nord, in particolare alle alte latitudini, e sarà influenzata, in più o in meno, da fattori regionali (IPCC, 2001).
I modelli statistici messi a punto in questa sede sulla base dei dati di l.m.m. aggiornati al 2005 possono aiutare a delineare qualche segno di novità. In figura 10 sono rappresentate le tre leggi di regressione applicate alla serie storica 1872-2005 del l.m.m. annuale registrato a Venezia (lineare, quadratica, esponenziale). Le estrapolazioni di tali leggi danno, per il periodo 1990-2100, un aumento del l.m.m. di 31.3 cm per la esponenziale, 26.6 cm per la lineare e 25.3 cm per la quadratica, con un valore medio di 27.7 cm. Ciascuno di tali valori può tuttavia oscillare entro una fascia di più o meno 7.6/7.8 cm allargando quindi la forchetta tra i 17.7 cm e i 39.1 cm (tabella IV).

[7] Il Co.Ri.La., Consorzio per la Gestione del Centro di Coordinamento delle Attività di Ricerca inerenti il Sistema Lagunare di Venezia è un organismo istituito nel 1998 come associazione fra l'Università Ca' Foscari di Venezia, l'Università di Padova, l'Istituto Universitario di Architettura di Venezia ed il C.N.R., con l'obiettivo di coordinare e promuovere le attività di ricerca, anche internazionali, aventi come riferimento la laguna di Venezia.

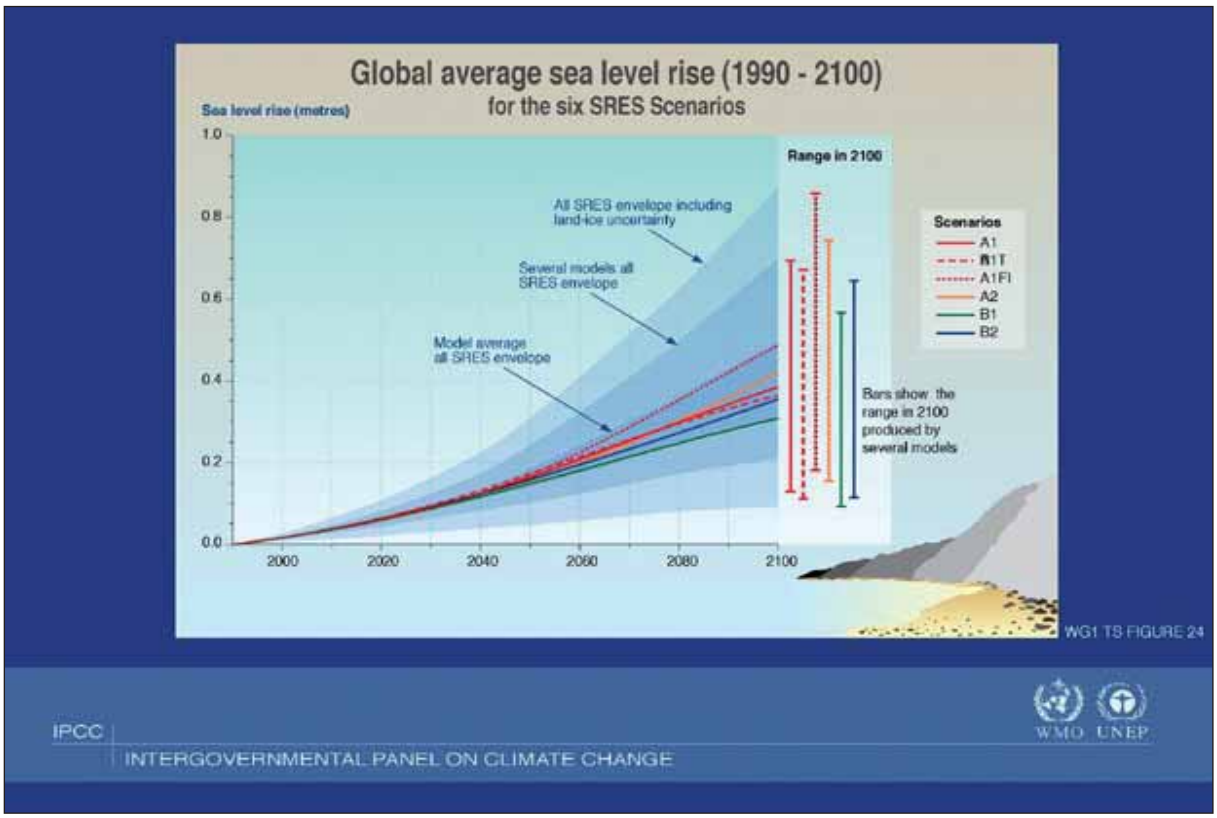

Figura 9 – Scenari di crescita del l.m.m. ipotizzati dall'IPCC nel 2001 (tratto da www.ipcc.ch).

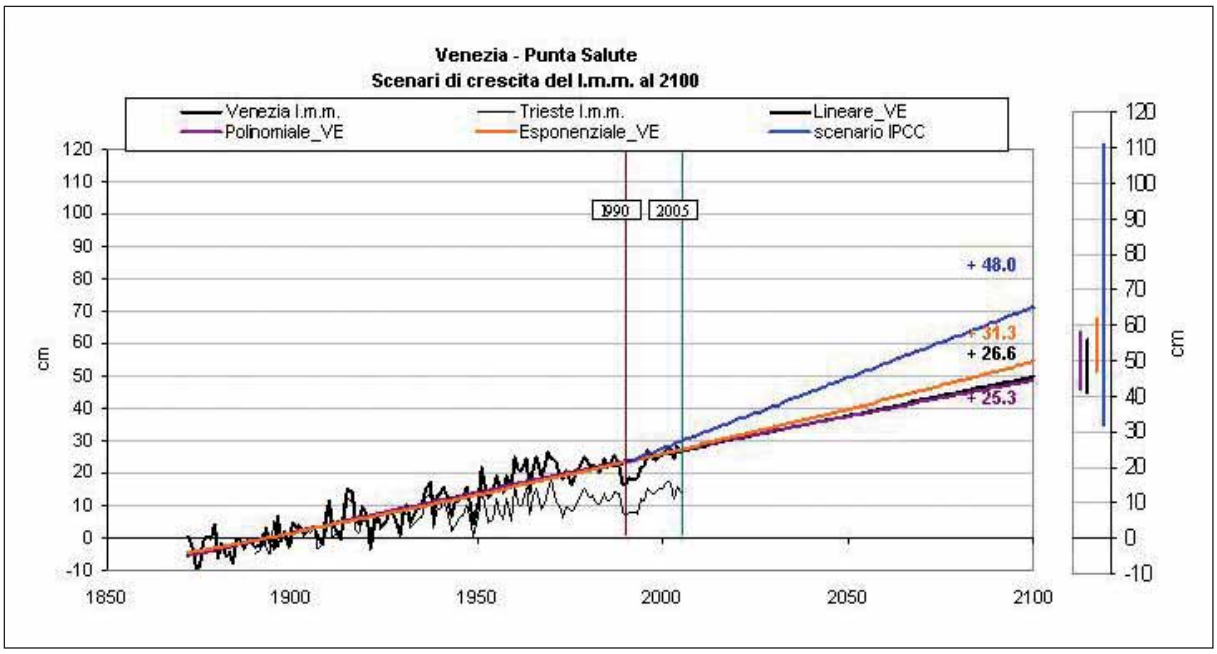

Figura 10 - Venezia Punta Salute. Andamento del l.m.m. nel periodo 1872-2005 ed estrapolazioni al 2100 delle regressioni lineare, esponenziale e polinomiale di 2^ grado.

Tabella IV. Valori stimati di aumento del l.m.m. per Venezia durante il periodo 1990-2100 tramite estrapolazione delle regressioni.

	Δ l.m.m.1990-2100 (cm)	**Min (cm)**	**Max(cm)**
Exp	31.3	23.5	***39.1***
Lin	26.6	19.0	34.2
Pol 2°grado	25.3	***17.7***	33.1
media	**27.7**		

Va tuttavia tenuto presente che l'estrapolazione delle regressioni statistiche all'anno 2100, anche se basate su serie storiche estese, come nel caso di Venezia (o di Trieste), non è esente da osservazioni. Nei paragrafi precedenti è stata sottolineata la variabilità dei tassi di crescita del l.m.m. nel corso dei 134 anni di osservazione sottolineando l'accentuazione dei fenomeni di subsidenza durante il periodo 1950-70.
La sussistenza di fattori antropici per i quali è riconosciuta un' influenza diretta nel processo di crescita del l.m.m. inducono a considerare non stazionaria la serie storica 1872-2005 relativa a Venezia. In questo caso quindi le stime effettuate tramite l'estrapolazione dei modelli statistici presupporrebbero che per i prossimi cento anni il processo di crescita del l.m.m. si possa riprodurre secondo le stesse modalità con cui è stato registrato durante il periodo delle osservazioni relativo alla serie storica considerata. In realtà è difficile stabilire quanto possa essere realistica una tale circostanza tenuto conto delle numerose incertezze che ancora oggi sussistono sulle possibili incidenze dei molti fattori antropici che, nei prossimi 100 anni, potranno influenzare il fenomeno dell'eustatismo e sulla possibilità di apprezzarne le differenze rispetto a quanto è accaduto nell'ultimo secolo (riscaldamento dell'atmosfera terrestre, espansione delle masse oceaniche, scioglimento della calotte polari, ecc.).
Per quanto riguarda poi il fenomeno della subsidenza, tipico dell'area veneziana, va osservato che attraverso il tradizionale confronto con la stazione di Trieste, per la quale il modello statistico lineare stima, tra il 1990 il 2100, una crescita di 13.9 cm (0.1261 mm/anno), si può calcolare che il valor medio della differenza Venezia-Trieste dovrebbe crescere 13.7 cm nel medesimo periodo con un tasso di 1.24 mm/anno. Tale valore appare tuttavia eccessivo rispetto al tasso di subsidenza stimato per Venezia in 0.4 mm/anno negli ultimi 30 anni, mentre invece sembrerebbe in linea con i tassi di subsidenza di stimati per la parte meridionale della laguna e per i litorali (1-2 mm/anno).

LA FREQUENZA DELLE ALTE MAREE A VENEZIA

Uno degli aspetti più interessanti nell'analisi delle osservazioni mareografiche nella laguna di Venezia riguarda il calcolo delle frequenze degli eventi di alta marea che si accompagnano ad allagamenti nei centri urbani lagunari (Venezia, Chioggia, Murano, Burano) e che, nei casi più severi, favoriscono anche l'insorgere di condizioni di elevata criticità nei riguardi dell'intero sistema delle difese idrauliche territoriali e costiero-lagunari.
In base alla legislazione speciale per Venezia, il Magistrato alle Acque, da qualche decennio, ha dato corso ad un complesso ed articolato sistema di interventi volti a difendere i centri abitati lagunari dalle inondazioni dovute alle alte maree. In linea generale tale sistema è articolato su due livelli di difesa. Il primo, il cosiddetto sistema delle difese locali, viene attuato per singola o più unità urbane (*insulae*) ed ha come obiettivo quello di porre a riparo le abitazioni, i percorsi pedonali, gli esercizi pubblici ed il patrimonio edilizio-architettonico dalle cosiddette maree medio-alte i cui livelli massimi non superano i 110 cm sopra lo ZMPS.
Si tratta di interventi innestati nel tessuto urbano e comprendono il rialzo ed il consolidamento delle rive e la relativa risistemazione di tutti i servizi (fognature, distribuzione di acqua potabile, gas, energia elettrica, rete telefonica, dragaggio dei rii). Per la città di Venezia i piani per la realizzazione delle difese locali stabiliscono che il rialzo delle rive deve essere portato fino alla quota di 110 cm ZMPS elevabile sino a quota 120 cm ZMPS laddove il contesto storico, architettonico, monumentale e paesistico lo consente. Per la città di Chioggia invece il limite di rialzo delle rive è di 130 cm ZMPS per tener conto dell'effetto del vento locale che nella laguna meridionale può dar luogo a sovralzi maggiori che a Venezia.
Il secondo livello di intervento è quello relativo alla difesa dalle maree che superano i 110 cm sopra lo ZMPS, le cosiddette alte maree eccezionali. Per questa tipologia di rischio sono in corso di realizzazione opere finalizzate a dotare le tre bocche di porto di Lido, Malamocco e Chioggia di appositi sistemi di chiusura mobile tali da consentire la temporanea separazione della laguna dal mare durante le fasi più critiche del fenomeno. E' infatti previsto che, all'approssimarsi di eventi di alta marea eccezionale nell'arco nord-adriatico, una schiera di paratoie mobili chiuderà, sollevandosi dal fondo, ciascuno dei tre varchi che separano la laguna dal mare. Nei periodi di chiusura, durante i quali viene attuata la separazione laguna-mare, saranno comunque possibili aumenti del livello dell'acqua all'interno del bacino lagunare in dipendenza dell'entità dei contributi dovuti al deflusso dei fiumi dal bacino scolante, dell'entità degli apporti delle piogge dirette sulla laguna stessa, dalla quantità di acqua marina che comunque penetra attraverso le bocche lagunari durante il transitorio della manovra di chiusura ed attraverso lo spazio tra le paratoie (traferri) nella fase di chiusura. Sempre durante i periodi di chiusura delle bocche, va altresì messo nel conto quanto detto a proposito dell'azione di vento locale sullo specchio lagunare che può dar luogo a sovralzi differenziati dipendenti dall'intensità e dalla direzione di provenienza.
Riveste quindi un significato di particolare utilità l'analisi della frequenza delle alte maree nell'ottica di poter monitorare con continuità l'efficacia dei provvedimenti che via via si vanno adottando per la difesa dalle inondazioni.
La figura 11 raggruppa per decenni il numero di casi di alta marea superiore a 90 cm ZMPS registrati a Venezia Punta della Salute nell'ultimo cinquantennio. I casi sono suddivisi per classi di 10 cm, con eccezione dell'ultima classe che raccoglie le alte maree superiori ai 140 cm ZMPS.
Il dato più evidente è il deciso aumento, registrato nell'ultimo decennio, dei casi di alta marea compresi tra 90 e 120 cm ZMPS. E' significativo osservare come, nel più recente decennio 1996-

2005, sono aumentate tutte le classi di eventi, ed in particolare le classi delle cosiddette maree medio alte. Oltre 170 il numero totale dei casi compresi fra i 90 e i 100 cm, e circa 90 quelli fra il 100 e i 110 cm.
In precedenza la situazione peggiore era stata quella relativa al decennio 1975-1984, con 120

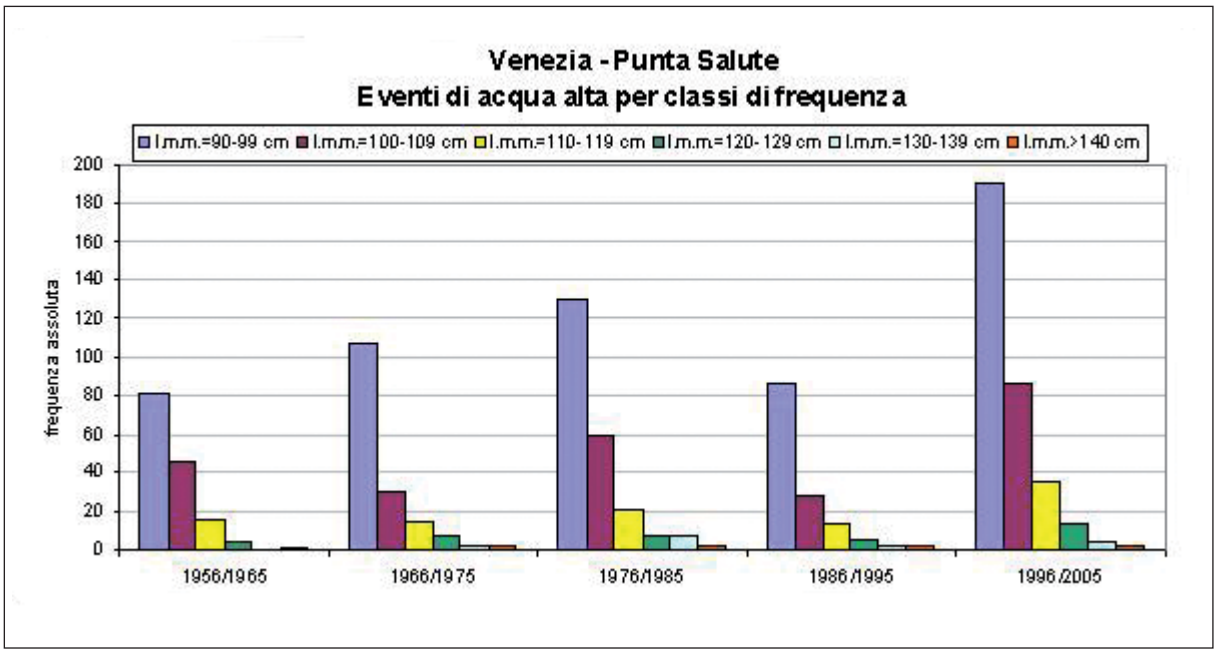

Figura 11 – Stazione mareografica di Venezia Punta della Salute. Numero dei casi decennali di alte maree per classi superiori a 90, 100, 110, 120 e 140 cm sopra ZMPS durante il periodo 1955 – 2004.

casi di alta marea fra i 90 e i 100 cm e poco più di 60 per i casi di alta marea con massimi tra i 100 e i 110 cm. Non meno significativo è il dato sulle maree eccezionali: 37 è il numero dei casi compresi fra i 110 e 120 cm relativi al più recente decennio contro i 22 casi del decennio 75/84. Sono aumentati anche i casi relativi alla classe 120-130 cm, passati da 8 a 14, mentre sono diminuiti a 3 i casi della classe 130-140 cm a fronte di 8 casi nel decennio 75/84. Stabili invece i casi di marea eccezionale superiore ai 140 cm che, dal 1965, si sono attestati sul numero di 2 casi a decennio.
In figura 12 è rappresentato il numero dei casi annui di maree medio alte (compresi tra +90 cm e +110 cm sullo ZMPS) registrati a Venezia Punta della Salute nell'ultimo cinquantennio.

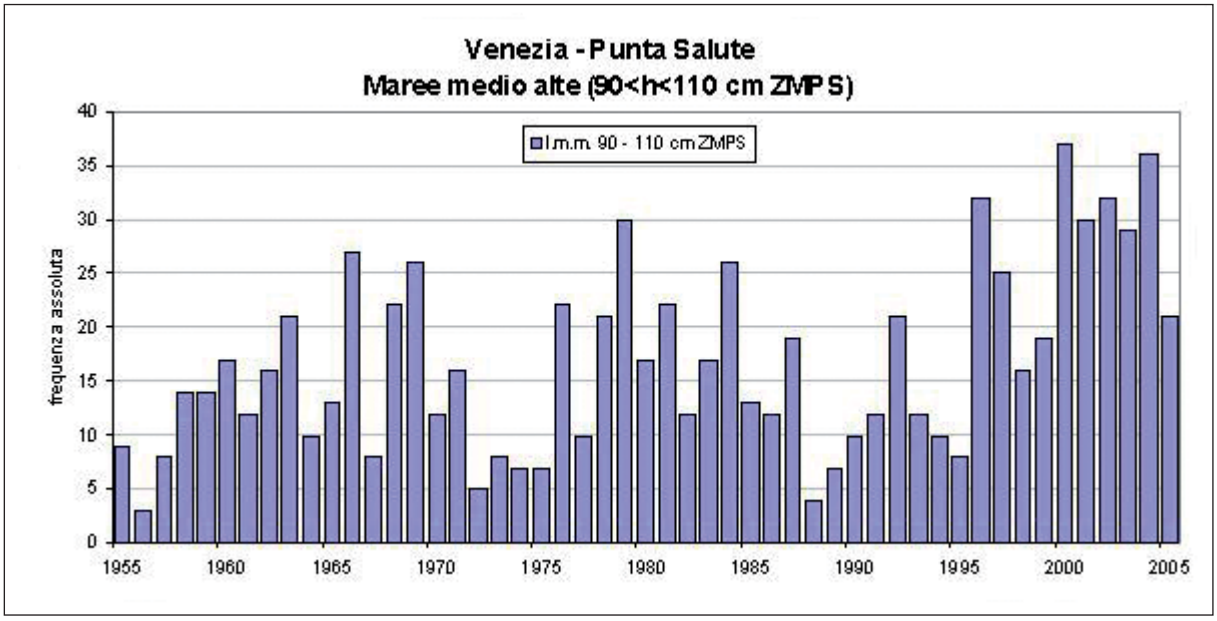

Figura 12 – Venezia Punta della Salute. Numero di casi di maree medio-alte nel periodo 1955-2005.

Il dato più evidente è l'andamento oscillante della serie e la decisa crescita, a partire dall'anno 2000, del numero di casi di alta marea che hanno superato le soglie di 90 e di 100 cm ZMPS.

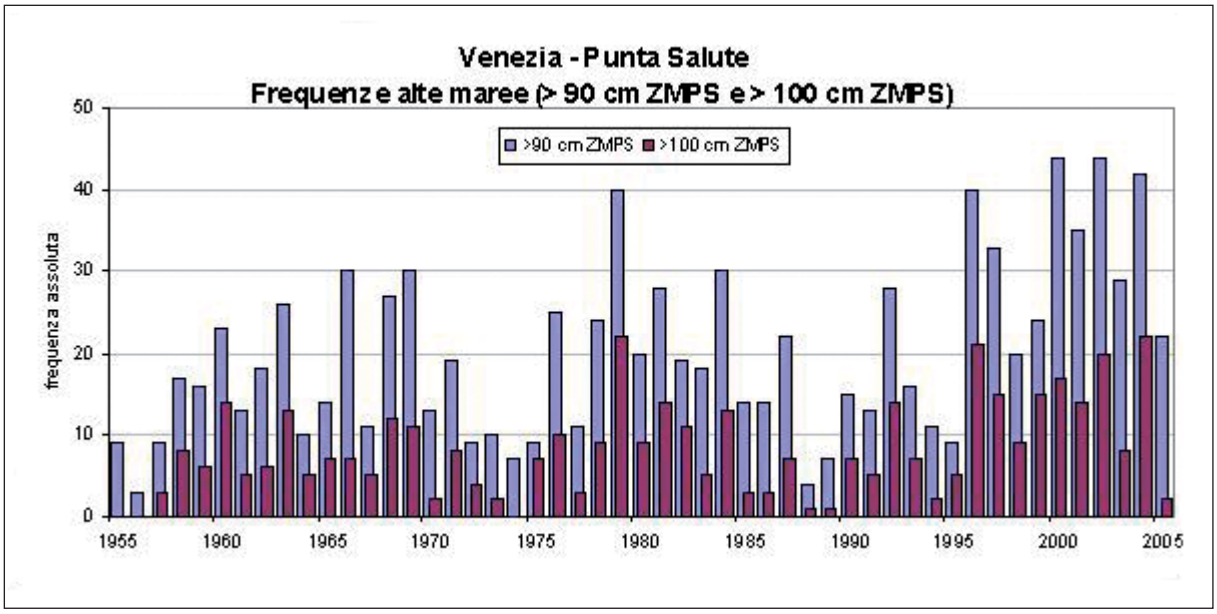

Figura 13 – Venezia Punta della Salute. Numero di casi di maree superiori a 90 cm e 100 cm ZMPS nel periodo 1955-2005.

In figura 13 sono raccolte la maree che hanno superato i 90 cm e i 100 cm ZMPS. Significativo è il fatto che negli anni 2000 e 2002 il numero di casi di marea superiore ai 90 cm ZMPS ha raggiunto il valore di 44, superiore al precedente massimo dei 40 casi registrato nel 1979 e nel 1996. Situazione analoga è quella relativa alla classe di maree superiori alla soglia di 100 cm: 22 sono stati i casi registrati nel 2004, eguagliando il valore massimo del 1979, mentre 21 era stato il numero dei casi registrati nel 1996.

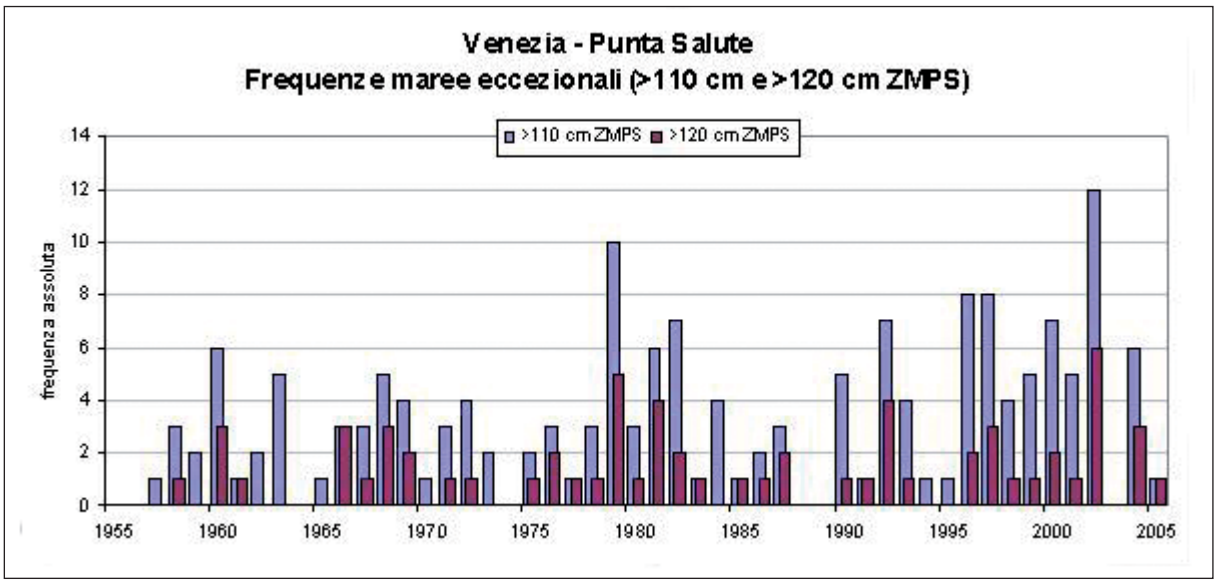

Figura 14 – Venezia Punta della Salute. Casi di alte maree eccezionali superiori ai 110 cm e ai 120 cm ZMPS nel periodo 1970-2005.

La figura 14 mostra invece il numero dei casi di maree eccezionali osservate nel periodo 1955-2005 ordinate per classi superiori a 110 e 120 cm ZMPS. Significativo è il dato relativo all'anno 2002 con ben 12 casi di alte maree superiori a 110 cm, di cui 6 superiori ai 120. Il 2002 è stato, quindi, in assoluto, l'anno con un numero maggiore di casi di marea eccezionale, in gran parte concentrati nel mese di Novembre e nella prima decade di Dicembre. Nel 1979 si registrarono ben 10 casi superiori ai 110 cm di cui 5 superiori ai 120 cm.
Va tuttavia sottolineato che l'analisi dei fenomeni di marea eccezionale osservati nel 2002 ha evidenziato che spesso si è trattato di eventi verificatisi in condizioni meteo-astronomiche tali da favorire il ripetersi del fenomeno dell'alta marea eccezionale in tempi ravvicinati, anche con 2 casi nell'arco delle 24 ore (Ferla et al., 2005).

LA FREQUENZA DELLE ALTE MAREE A CHIOGGIA

Di un certo interesse risultano essere alcune valutazioni sulla frequenza delle alte maree nella città di Chioggia situata all'estremo meridionale del bacino lagunare e per tale ragione esposta agli effetti particolari prodotti dai venti provenienti dal quadrante nord-orientale (bora). In occasione di alcuni particolari eventi di marea eccezionale (8 dicembre 1992, 10 novembre 2004, ecc.) al mareografo di Chioggia Vigo sono stati osservati livelli massimi di marea superiori anche di 20 cm rispetto a Punta Salute a causa della concomitanza di forti venti da nord-est. E' noto che quando la bora spira con velocità fino a 30-40 nodi si determinano cospicui fenomeni di insaccamento (wind set-up) a ridosso di tutto il perimetro centro meridionale della laguna con sopralzi ben maggiori rispetto a quelli che si registrano nelle aree urbane della laguna centro-settentrionale. Situazione opposta invece si osserva in caso di venti da sud est (scirocco) che in genere hanno come effetto quello di scaricare la laguna meridionale e di caricare la laguna settentrionale dando luogo a livelli più sostenuti nei centri abitati di Burano e Torcello.
La stazione di Chioggia Vigo, anch'essa inclusa nella RTLV dell'APAT, è entrata in esercizio nel 1954. Per molti anni le registrazioni sono state effettuate mediante un mareografo meccanico a registrazione settimanale e i relativi diagrammi sono oggi custoditi presso gli archivi degli uffici APAT di Venezia. Nel 1989, assieme al mareografo meccanico, è stato installato a Chioggia anche un mareografo automatico a registrazione digitale e trasmissione in tempo reale dei dati.

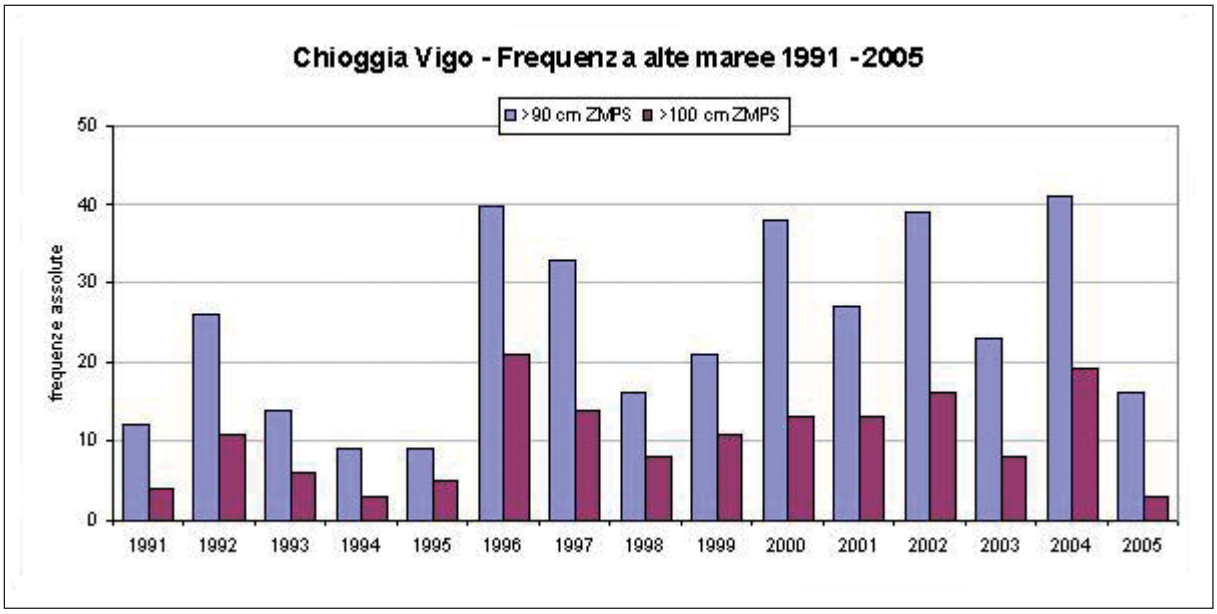

Figura 15 – Stazione mareografica di Chioggia Vigo. Frequenze delle maree medio alte ed eccezionali nel periodo 1991-2004.

La figura 15 raccoglie il numero dei casi di maree superiori ai 90 cm e ai 100 cm ZMPS osservate nel periodo 1991-2005. La serie dei dati analizzati, seppure più breve rispetto a quella di Venezia, evidenzia, anche nel caso di Chioggia, lo stesso andamento oscillante della precedente figura 13, e la stessa tendenza in crescita a partire dall'anno 2000.

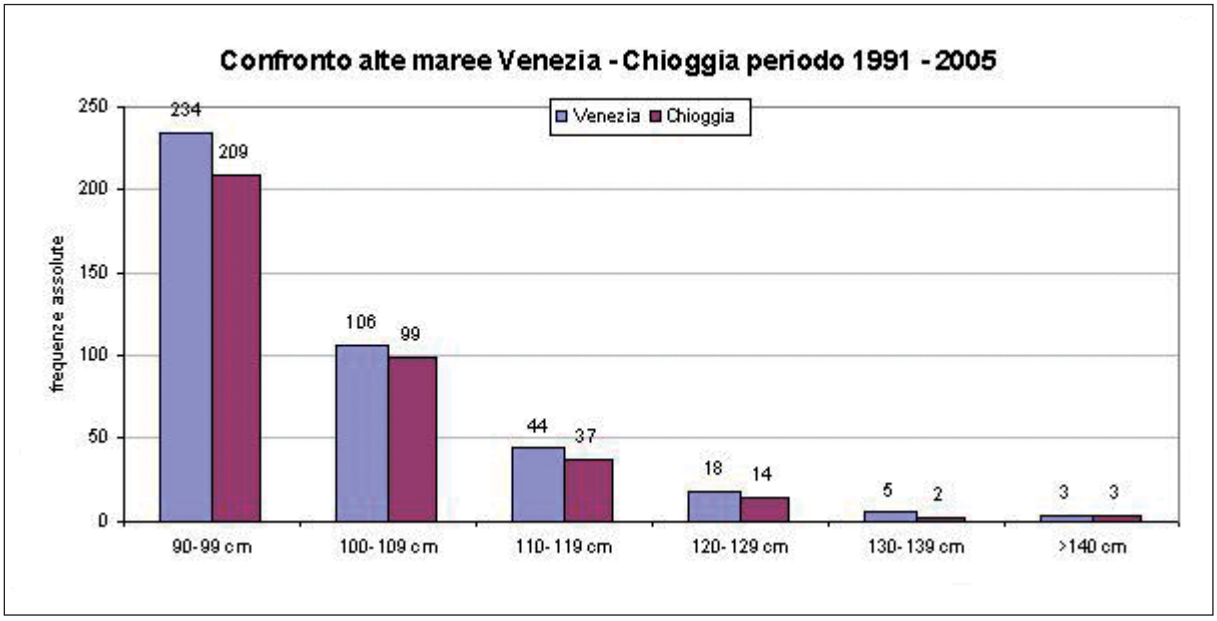

Figura 16 - Confronto fra il numero di casi di maree medio alte ed eccezionali registrate a Venezia e a Chioggia durante il periodo 1991-2005.

La figura 16 mette invece a confronto, per il periodo 1991-2005, il numero di casi di alta marea registrati a Venezia Punta Salute e a Chioggia Vigo ordinate per classi di 10 cm a partire dai livelli superiori ai 90 cm ZMPS.
In generale si può dire che il numero degli eventi registrati a Chioggia, è leggermente inferiore a quello registrato a Venezia, ma gli effetti delle cosiddette *acque alte* possono essere significativamente differenti nelle due città in dipendenza dell'azione del vento.
Recentemente, a seguito di alcune operazioni di riordino degli archivi mareografici dell'APAT, ubicati presso la sede di Venezia-Lido, sono venute alla luce le registrazioni mareografiche raccolte presso alcune stazioni che funzionarono regolarmente durante il memorabile evento del 4 novembre 1966, tra cui appunto Chioggia Vigo. I dati relativi a quello storico evento evidenziano, ad esempio, come la differenza fra i livelli massimi di Venezia e di Chioggia sia andata progressivamente aumentando man mano che cresceva la forza del vento che in quell'occasione spirava dal quadrante sud-orientale (scirocco). Al culmine dell'evento il livello di Venezia risultò più alto di quasi 30 cm rispetto a quello di Chioggia. Estremamente significativi risultarono i livelli massimi raggiunti in prossimità della parte centro-settentrionale del perimetro lagunare con valori di 197 cm ZMPS cm alla stazione di Marghera (all'interno del porto industriale) e di ***204 cm*** ZMPS alla stazione di Pagliaga posta in vicinanza della testata nord dell'aeroporto di Tessera.
La tabella V riassume i massimi casi di marea eccezionale registrati a Venezia Punta Salute riportando anche, per quei casi in cui si registrarono significative differenze nei livelli di picco in laguna, i corrispondenti livelli massimi registrati a Chioggia Vigo o presso alcune stazioni della laguna centro-meridionale.

Tabella V. Livelli massimi di alta marea eccezionale a Venezia e a Chioggia (riferimento Z.M.P.S.).

	EVENTO	Venezia P. Salute	Chioggia Vigo
1° caso	4 novembre 1966	194 cm	167 cm
2° caso	22 dicembre 1979	166 cm	
3° caso	1 febbraio 1986	158 cm	160 cm
4° caso	15 gennaio 1867	153 cm	
5° caso	12 novembre 1951	151 cm	183 cm [8]
6° caso	16 aprile 1936	147 cm	132 cm [9]
7° caso	16 novembre 2002	147 cm	139 cm
8° caso	15 ottobre 1960	145 cm	
9° caso	3 novembre 1968	144 cm	
10° caso	6 novembre 2000	144 cm	134 cm
11° caso	8 dicembre 1992	142 cm	162 cm
12° caso	17 febbraio 1979	140 cm	
13° caso	5 novembre 1967	138 cm	
14° caso	26 novembre 1969	138 cm	
15° caso	22 dicembre 1981	138 cm	
16° caso	24 novembre 1987	138 cm	
18° caso	31 ottobre 2004	137 cm	125 cm

Significativa è la situazione per quegli eventi dominati dalla presenza di venti di bora sul bacino lagunare, come ad esempio il più volte studiato evento dell'8 dicembre 1992 quando il livello massimo di Chioggia superò di 20 cm quello di Punta della Salute, oppure quello più recente del 10 novembre 2004 quando, a fronte di un livello massimo di 124 cm a Venezia, il livello massimo a Chioggia Vigo risultò essere di 140 cm ZMPS. Si capisce quindi che la statistica dei massimi livelli di marea a Chioggia, e in generale nella laguna meridionale, è assai diversa rispetto a quella già nota relativa a Venezia Punta della Salute. Ad analoghe conclusioni si perviene analizzando le registrazioni di livelli massimi nelle stazioni relative alla parte settentrionale della laguna.

[8] Dato relativo alla stazione di Cason Figheri localizzata lungo il canale di Lova nelle laguna centro-merdionale.
[9] Dato relativo alla stazione di Botte Trezze posta in corrispondenza della parte meridionale del perimetro lagunare in prossimità della città di Chioggia.

CONCLUSIONI

Gli aggiornamenti sui livelli di marea a Venezia e a Trieste hanno posto in luce alcune interessanti circostanze:

- la fase di quiescenza della crescita del 1.m.m. osservata tra gli anni '70 e gli anni '90 può ritenersi esaurita, a partire dall'anno 2000 si evidenzia, in entrambi i casi, una fase nella quale si rilevano alcune singolari circostanze;
- nel 2004 si è registrato a Venezia il nuovo valore massima del 1.m.m. annuale pari a 178.6 cm, mentre il secondo valore, 177.9 cm, si è registrato nel 2001; inoltre l tendenza in crescita della media decennale sembrerebbe confermata anche dal valore parziale di 176.8 cm relativo alla media del periodo 2000-2005.
- nel caso di Trieste il valore massimo di 168.1 cm registrato nel 1970, non è stato ancora superato, ma nel 2001 si è comunque raggiunto il valore molto alto pari a 167.2 cm, mentre la media parziale del periodo 2000-2005, pari a 165.2, risulta ben superiore alle medie decennali dei periodi precedenti;
- in entrambe le stazioni le line di tendenza aggiornate al 2005 confermano l'andamento in crescita delle serie storiche relative al comune periodo di funzionamento delle due stazioni (1890-2005); si apprezza inoltre un lieve aumento di inclinazione della rete di regressione rispetto a quelle aggiornate con i dati fino all'anno 2005.

Come conseguenza di questa fase si è osservato che, a partire dalla fine secolo XIX la crescita media del 1.m.m. a Venezia sarebbe passata dai 27 cm del 2000 ai 28 cm del 2005, con un aumento medio di 1 cm attribuibile in misura maggiore al contributo dovuto all'eustatismo, passato dal valore medio di 13.9 cm (1890-2000) a 14.6 cm (1890-2005). Più contenuto invece appare l'aumento medio di 1 cm attribuibile in misura maggiore al contributo dovuto all'eustatismo, passato dal valore medio di 13.9 cm (1890-2000) a 14.6 cm (1890-2005). Più contenuto invece appare l'aumento del contributo dovuto alla subsidenza, passato da un valore medio di 13.1 cm (1890-2000) al valore di 13.4 cm (1890-2005), quindi con un tasso medio abbastanza prossimo a (1890-2000) al valore di 13.4 cm (1890-2005), quindi con un tasso medio abbastanza prossimo a quello naturale di 0.4-0.5 mm/anno attribuito all'area urbana.

L'estrapolazione delle leggi di regressione applicate alla serie storiche del 1.m.m. danno, nel caso di Venezia, uno scenario di crescita un pò meno pessimistico rispetto al valore più probabile di 48 cm prospettato, a scala globale, per il 2100 dall'IPCC. Adottando quindi tali valutazioni con le dovute cautele, le regressioni statistiche, per il periodo 1990-2100, danno una crescita compresa tra il 25.3 e 31.3 cm con valore medio pari a 27.7 cm.

Un altro aspetto riguarda l'aumento delle frequenze dei casi di alta marea a Venezia ed in particolare le cosiddette maree medio alte (90/110) cm ZMPS); nel recente decennio 1996-2005 si sono registrati oltre 170 casi compresi tra i 90 e i 100 cm e circa 90 casi tra i 100 e i 110 cm con un aumento medio di circa il 35/40% rispetto al precedente decennio 1975-1984.

Per quanto riguarda le maree eccezionali (> 110 cm ZMPS) va sottolineato che il 2002 è stato in assoluto l'anno con il maggior numero di casi: 12 eventi (contro i 10 del 1979) di cui 6 superiori ai 120 cm ZMPS (contro i 5 del 1979). Stabili invece i casi di maree superiori ai 140 cm che dal 1965 si attestano intorno al valore medio di 2 casi a decennio.

Situazione lievemente migliore si registra nella città do Chioggia, localizzata nella parte meridionale della laguna, dove il numero dei casi annuali di alta marea sopra i 90 cm registrati tra il 1991 e il 2005 risultano lievemente inferiori rispetto a Venezia.

L'analisi dei dati raccolti in tutta la laguna nel corso di alcuni fra i più singolari eventi di marea eccezionale ha ancora una volta confermato l'incidenza degli effetti dovuti al vento locale in prossimità delle parti estreme del perimetro lagunare che quindi introducono significativi elementi di differenza sulla statistica dei livelli massimi fra i vari punti della laguna ed in elementi di differenza sulla statistica dei livelli massimi fra i vari punti della laguna ed in particolare fra Venezia e Chioggia.
In definitiva, se il proseguimento delle osservazioni e l'affinamento dei metodi di analisi sugli ipotizzati scenari di crescita del 1.m.m., dovessero offrire ulteriori elementi di conferma e di maggior dettaglio sul trend di crescita osservato nell'ultimo decennio, è evidente che il rapporto tra laguna e i suoi centri abitati sarà destinato a cambiare. In questa prospettiva è altresì destinato a cambiare il rapporto con il mare di tutta l'ampia fascia estuariale che va dal delta del Po fino alla foce dell'Isonzo composta da litorali, superfici lagunari e ampie aree pianeggianti localizzate la di sotto del livello medio del mare. Per assicurarne la difesa idraulica, e quindi la sostenibilità delle numerose attività antropiche, anche ad elevato valore economico, che insistono in questa particolare area del nostro Paese, dovrà quindi essere intrapreso uno sforzo non meno impegnativo di quello già profuso per Venezia e la sua laguna.

RINGRAZIAMENTI

La stesura del presente volume è stata resa possibile grazie al quotidiano lavoro di tutto il personale APAT del Servizio Laguna di Venezia impegnato nelle attività di organizzazione e gestione della Rete Telemareografica della Laguna di Venezia e dell'Arco Costiero Nord-Adriatico.

Si ringrazia inoltre il Dott. Fabio Raicich del CNR-ISMAR di Trieste per la messa a disposizione dei dati mareografici raccolti presso la stazione di osservazione di Molo Sartorio e il Geom. Giuseppe Zambon del CNR-ISMAR di Venezia per la collaborazione portata nelle operazioni di livellazione finalizzata alla verifica della stabilità della piastrina mareografica di Punta della Salute.

BIBLIOGRAFIA

Bonato N., Egiatti G., Ferla M., Filippi M, 2001 Tidal Observations in the Venetian Lagoon. Update on sea level change from 1872 to 2000. "*Proceedings of final workshop on "Sea level in Europe: Observation, Interpretation and Exploitation*". Dubrovnik (HR).

Co.Ri.La., 1999. Scenari di crescita del livello del mare per la Laguna di Venezia, vol. 1 Novembre 1999.

Dorigo L.,1961. Le osservazioni mareografiche in laguna di Venezia. *Rapporti preliminari della Commissione di studio dei provvedimenti per la conservazione e difesa della laguna e della città di Venezia, vol*. I. Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti. Venezia.

Ferla, M, Castagna, M., Cordella, M., Umgiesser, G. 2005. Discussions on the exceptional tide level in the Venice lagoon in November 2002. *WAVES 2005 - Fifth International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis - Madrid, Spain, 3rd – 7th July 2005;*

Frassetto R., 2005. Sollevamento relativo del Mare a Venezia. Una rassegna sintetica di fatti e prospettive future. *Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Magistrato alle Acque. Quaderni Trimestrali Consorzio Venezia Nuova*, anno XIII, nn. 1/2, gennaio/giugno 2005.

Intergovernmental Oceanographic Commission. *Manual on sea level measurements and interpretations, vol. I – Basic procedures*. UNESCO 1985.

Intergovernmental Oceanographic Commission. *Manual on sea level measurements and interpretations, vol. III – Reappraisals and Recommendations as of the year 2000*. UNESCO 2002.

IPCC, 2001. Climate Change 2001. *The scientific basis*. Cambridge University Press.

Pirazzoli P. A., Umgiesser G., 2006. *The projected "MOSE" barriers against flooding in Venice (Italy) and the expected global sea-level rise*. Journal of Marine Environmental Engeneering, vol. 8.

- Rusconi A., 2006. Studio generale della marea lagunare e adriatica attraverso l'analisi dei dati dell'archivio del Lido di Venezia in 133 anni di osservazione (1872 – 2005)

APAT-Rapporto interno.