



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



RICERCA MARINA

2010:
un anno da ricordare
per l'eccezionale
crescita del livello medio mare
a Venezia e nel nord Adriatico



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale

2010:
un anno da ricordare
per l'eccezionale
crescita del livello medio mare
a Venezia e nel nord Adriatico

Informazioni legali

L'Istituto Superiore per la protezione e la ricerca ambientale (ISPRA) e le persone che agiscono per conto dell'Istituto non sono responsabili per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo Quaderno.

ISPRA – Istituto Superiore per la protezione e la ricerca ambientale

Via Vitaliano Brancati, 48 – 00144 Roma

www.isprambiente.it

ISPRA, Quaderni - Ricerca Marina n. 4/2012

ISBN 978-88-448-0546-3

Riproduzione autorizzata citando la fonte

Elaborazione grafica

ISPRA

Grafica di copertina: Franco Iozzoli

Foto di copertina: Paolo Orlandi

Coordinamento editoriale:

Daria Mazzella

ISPRA - Settore Editoria

Giugno 2012

Autori

Dott. Marco Cordella (ISPRA - Dip. Tutela delle Acque Interne e Marine - Servizio Laguna di Venezia)

Dott. Franco Crosato (ISPRA - Dip. Tutela delle Acque Interne e Marine - Servizio Laguna di Venezia)

Referee

Dott.ssa Elisa Coraci (CNR - ISMAR - Venezia)

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia il Dott. Fabio Raicich del CNR – ISMAR di Trieste, che ci ha gentilmente fornito la serie storica del medio mare rilevato presso il mareografo di Trieste – Molo Sartorio.

Gli autori desiderano inoltre ringraziare il Responsabile, Ing. Maurizio Ferla, per il sostegno e il costante incoraggiamento nello sviluppo delle attività scientifiche in seno al Servizio Laguna di Venezia.

INDICE

1. Introduzione	p. 7
2. Teleconnessioni	p. 8
3. Analisi meteorologica	p. 10
3.1. Inquadramento generale	p. 10
3.2. Analisi stagionale	p. 11
4. Analisi mareografica per il bacino di Venezia e l'alto Adriatico	p. 13
5. Conclusioni	p. 16
6. Bibliografia	p. 17

1. INTRODUZIONE

Relativamente all'Italia nord-orientale, l'anno 2010 si è contraddistinto per pressioni abbondantemente sotto la media, un'elevata piovosità e temperature complessivamente fresche, con la frequente alternanza di fasi calde e fredde assai marcate.

In particolare, l'anno 2010 appare degno di una dettagliata analisi per l'eccezionalità dei fenomeni meteo-mareografici che si sono manifestati in alto Adriatico.

Molte delle sequenze meteorologiche rilevate nel corso dell'anno sono da considerarsi la diretta conseguenza dell'andamento su macroscale di strutture circolatorie atmosferiche insistenti su aree particolari del pianeta, i cui effetti si manifestano in areali anche molto distanti tra loro.

2. TELECONNESSIONI

Già nel passato, vari autori avevano avanzato l'ipotesi che i regimi climatici del Mediterraneo fossero fortemente connessi a quelli del Nord Atlantico. Questa stretta correlazione a distanza è oggi nota nella letteratura meteorologica con il termine di "teleconnessioni" [1].

In Europa ed in Mediterraneo una delle teleconnessioni più rilevanti e conosciute, ma non l'unica, è rappresentata dalla North Atlantic Oscillation (NAO), anomalia pressoria del Nord Atlantico che si manifesta tra l'anticiclone subtropicale ed il ciclone subpolare [2,3]. In condizioni normali, attorno ai 60° di latitudine nord staziona una profonda zona di bassa pressione (il ciclone subpolare dell'Islanda); attorno ai 30° di latitudine nord si trova invece una zona di alta pressione in pieno Atlantico (l'anticiclone subtropicale delle Azzorre). Ciclone e anticiclone sono due figure permanenti che traggono origine da movimenti d'aria nell'alta atmosfera e sono tra loro dipendenti: quando una di queste due strutture bariche s'indebolisce, anche l'altra si indebolisce e quando una si rafforza, anche l'altra tende a rafforzarsi. L'anomalia pressoria del Nord Atlantico viene misurata tramite un indice che esprime le fluttuazioni della differenza di pressione atmosferica al livello del mare tra l'arcipelago delle Azzorre e l'Islanda. Stabilito un valore medio di riferimento, vengono misurati gli scarti che si verificano rispetto ad esso. Un indice NAO positivo è caratterizzato da un valore medio di pressione superiore a quello di riferimento con depressione d'Islanda più profonda e anticiclone delle Azzorre più potente, un indice NAO negativo è invece caratterizzato da un valore medio di pressione inferiore con depressione meno profonda e anticiclone meno potente [1].

Quando l'indice NAO è positivo, anticiclone e ciclone sono più robusti del normale. In particolare, l'anticiclone delle Azzorre diviene talmente forte da invadere il Mediterraneo e quindi anche l'Italia, assicurando condizioni di tempo stabile.

Quando l'indice NAO è negativo, anticiclone e ciclone sono più deboli del normale. L'anticiclone si ritira verso sud-ovest lasciando spazio alle perturbazioni atlantiche che, invadendo il Mediterraneo, portano nell'Europa meridionale inverni umidi e spesso molto piovosi. La debolezza dell'anticiclone delle Azzorre consente anche la ricorrente discesa di incursioni fredde da nord, comunemente chiamate correnti a getto del fronte polare ("jet stream").

Analizzando l'anno 2010 è evidente come l'indice NAO mensile si sia mantenuto sempre negativo, cosa mai avvenuta dal 1950 (fonte: NOAA). In particolare, sono stati i mesi invernali di inizio e fine anno a registrare i valori più bassi (Fig. 2.1).

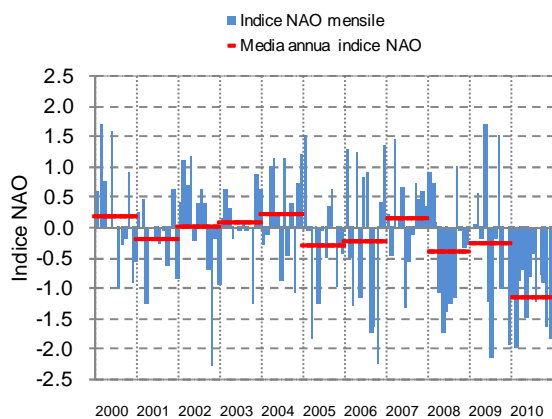


Figura 2.1 - Indice NAO (2000-2010)
Fonte: NOAA

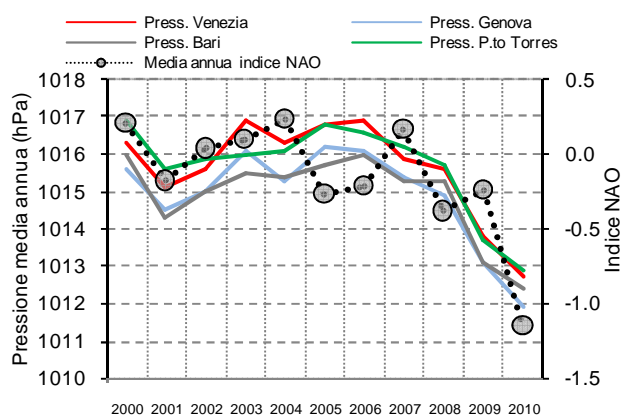


Figura 2.2 - Indice NAO e pressioni medie annue in Mediterraneo (2000 - 2010)

Un'altra anomalia degna di nota è rappresentata dai valori giornalieri dell'indice, rimasti praticamente sempre negativi negli ultimi tre mesi (dal 9 ottobre al 31 dicembre 2010).

Tale situazione ha fatto sì che il regime atlantico lasciasse spesso il posto ad una circolazione bloccata, con la conseguente alternanza in Europa di irruzioni fredde da Nord e calde da Sud, queste ultime in grado a volte di portare aria notevolmente calda e umida.

Dalla figura 2.2 si può notare una relazione tra l'andamento medio annuo delle pressioni registrate in alcuni siti italiani che si affacciano sul Mar Mediterraneo¹ e dell'indice NAO nel corso del periodo 2000-2010. In particolare, la marcata diminuzione delle pressioni medie annue registrate nell'ultimo triennio in Mediterraneo è accompagnata da una corrispondente diminuzione dell'indice NAO medio annuo. Ciò conferma che ad oscillazioni pressorie in Nord Atlantico corrispondono cambiamenti dei regimi pressori (e quindi termometrici e pluviometrici) di gran parte dell'emisfero boreale, dall'America Settentrionale all'Europa [4,5].

Relativamente al Mar Mediterraneo, è nota anche una certa sensibilità dell'alto Adriatico alle fluttuazioni dell'indice NAO [6], a differenza di una risposta omogenea negli altri bacini del Mediterraneo [7]. Infatti, abbondanti precipitazioni registrate sull'Italia Settentrionale nel periodo autunno-invernale incrementano la quantità di acque dolci recapitate a mare dal fiume Po, innescando così correnti di densità. Viene quindi ad essere influenzata la circolazione termoalina in alto Adriatico, con conseguente alterazione delle condizioni climatiche insistenti sul nord-est d'Italia.

¹ Pressioni registrate presso le stazioni della Rete Mareografica Nazionale (ISPRA)

3. ANALISI METEOROLOGICA

3.1 Inquadramento generale

Relativamente al bacino Veneziano², l'anno 2010 risulta complessivamente più fresco in media del decennio precedente (2000-2009). La media annua delle temperature massime del 2010 si attesta infatti a 18.4 °C, contro i 19.0 °C del periodo di riferimento, mentre la media annua delle minime si attesta a 11.4 °C rispetto ai 12.0 °C. In particolare, sono i mesi invernali di inizio e fine anno a mostrarsi significativamente sotto la media.

Per quanto riguarda la pressione atmosferica, questa si attesta per la maggior parte del 2010 su valori medi abbondantemente inferiori a quelli del periodo di riferimento (Fig. 3.1). In particolare sono i mesi invernali a registrare gli scostamenti maggiori rispetto alla media, con consistenti differenze bariche negative dell'ordine dei 10 hPa. Dal grafico è evidente che i mesi con scostamento barico maggiore sono anche quelli con l'indice NAO minore.

Questi periodi, portando con sé grande instabilità, registrano precipitazioni molto abbondanti.

Le precipitazioni totali misurate nel corso del 2010 sono state di 1226.8 mm, il 39,5% sopra la media del decennio di riferimento (879.3 mm). Il 2010 è risultato essere il secondo anno più piovoso dall'inizio del XXI secolo, superato solo dal 2008 (1285.8 mm). In particolare, i mesi di febbraio, giugno, novembre e dicembre hanno fatto registrare valori pluviometrici più che doppi rispetto alla media del periodo di riferimento.

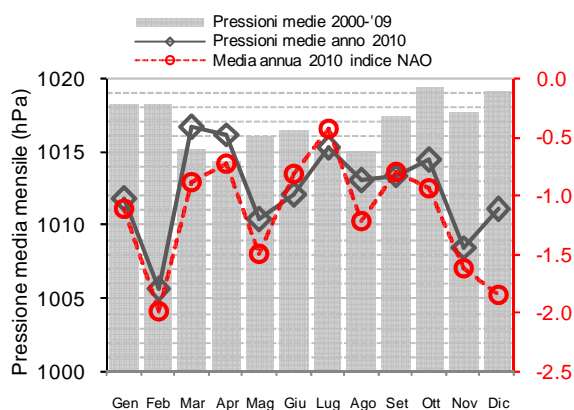


Figura 3.1 - Pressioni medie mensili ed indice NAO (anno 2010 - decennio 2000-2009)

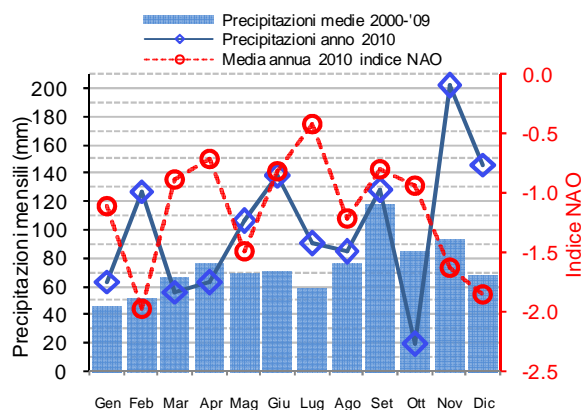


Figura 3.2 - Precipitazioni mensili ed indice NAO (anno 2010 - decennio 2000-2009)

² Dati meteorologici registrati presso la stazione di Lido Meteo della Rete Mareografica della Laguna di Venezia e del litorale nord Adriatico (ISPRA)

Marzo e aprile si sono invece contraddistinti per risultare leggermente meno piovosi rispetto alla media, rispettivamente con -15% e -18%, mentre ottobre si è caratterizzato per registrazioni notevolmente inferiori alla media (Fig. 3.2).

3.2 Analisi stagionale

Di seguito si analizza la successione temporale degli eventi meteorologici che hanno contraddistinto l'anno 2010, ponendo particolare attenzione alle misure di pressione e precipitazione.

Il primo mese dell'anno in analisi ha fatto registrare una pressione atmosferica media mensile su valori significativamente inferiori rispetto alla media del periodo (-6.5 hPa), scarto barico divenuto ancor più evidente nel successivo mese record di febbraio (-12.5 hPa). Nel decennio precedente, non si era mai assistito infatti ad un valore medio della pressione così basso in febbraio, mese generalmente caratterizzato da valori barici piuttosto alti. L'anomala instabilità meteorologica di febbraio 2010 ha determinato abbondanti precipitazioni (127.6 mm), nettamente al di sopra la media del mese (+145%). Nel corso del 2010, l'indice NAO mensile più basso si è registrato in questo mese.

I mesi di marzo e aprile hanno fatto rilevare delle medie bariche superiori ai 1015 hPa, appena sopra la media del decennio, situazione di maggiore stabilità, con valori pluviometrici appena inferiori alla media del periodo.

Nei successivi mesi di maggio e giugno si assiste ad un ritorno dell'instabilità, causata dalle pressioni medie nettamente inferiori alla media (rispettivamente -5.6 hPa e -4.3 hPa), che ha portato piogge superiori alla media (rispettivamente +54% e +89%).

Il mese di luglio si presenta perfettamente in linea con il periodo per quanto concerne i valori barometrici medi (-0.1 hPa). Le precipitazioni continuano ad essere sopra la media (+53%), mentre le temperature medie massima e minima, caso unico nel corso del 2010, si mantengono entrambe superiori alle medie del periodo (rispettivamente di +1.2°C e +0.5°C). Nell'arco del mese si sono verificati, in momenti distinti, tre evidenti risalite d'aria calda d'origine africana, responsabili di vere e proprie ondate di calore con la comparsa dell'afa nella pianura veneta.

Il mese di agosto presenta precipitazioni e pressioni medie in linea col decennio 2000-'09.

A settembre inizia ad aumentare lo scarto barico rispetto alla media (-4.0 hPa), cosa che apparirà ancora più evidente nei mesi successivi. Relativamente ai valori pluviometrici, le precipitazioni totali si mostrano appena superiori alla media del decennio precedente.

Ad ottobre aumenta ulteriormente lo scarto barico (-4.8 hPa) evidenziato a settembre, mentre le piogge nel corso del mese sono state praticamente assenti se si eccettua il 31, unico giorno piovoso (15 mm). Il totale delle precipitazioni mensili ammonta a 19.4 mm (l'1.6% del totale delle precipitazioni annue), valore che classifica ottobre come il mese meno piovoso di tutto il 2010.

È con l'arrivo di novembre che vi è l'inizio vero e proprio dell'autunno, caratterizzato da perturbazioni e abbondanti precipitazioni. Su larga scala infatti, la circolazione scandita da un indice NAO fortemente negativo ha consentito l'alternanza di avvezioni meridionali d'aria calda, a volte accompagnate da eccezionali ondate sciroccali responsabili anche di precipitazioni a carattere alluvionale, seguite da intense discese d'aria polare associate ad ondate di freddo, in anticipo rispetto alla stagione. Infatti, tra inizio novembre e fine dicembre, si registrano più episodi perturbati, caratterizzati dalla continua alternanza di periodi miti e periodi di freddo anomalo.

La situazione meteorologica creatasi nel periodo autunnale appare ancora più evidente se si analizza l'andamento barico nel periodo, specie se confrontato con quello del decennio 2000-'09 (Fig. 3.1). Infatti, novembre e dicembre registrano pressioni medie che si attestano sotto la media del decennio precedente di quasi 10 hPa (rispettivamente di -9.3 hPa e -8.0 hPa). Gli ultimi due mesi del 2010, proprio a causa di un indice NAO fortemente negativo, si sono contraddistinti per la forte instabilità, tanto da essere stati i mesi con i valori pluviometrici più alti dell'intero anno, con totali più che doppi rispetto alla media (quasi +120% di precipitazioni).

4. ANALISI MAREOGRAFICA PER IL BACINO DI VENEZIA E L'ALTO ADRIATICO

L'analisi mareografica è stata effettuata sulla base dei valori registrati presso la stazione di Venezia - Punta della Salute, stazione di cui si possiede la serie storica del livello medio mare annuale a partire dal 1872³. Si tratta di una delle poche serie storiche ultracentenarie per il bacino del Mediterraneo, oltre a quelle riferite ai siti di Trieste (Molo Sartorio), Genova e Marsiglia.

Nell'anno 2010, la marea a Venezia-Punta della Salute ha raggiunto la quota massima di +144 cm il 24 dicembre alle ore 1:30 (unico caso di "marea eccezionale") e la quota minima di -38 cm il 27 gennaio alle ore 16:00, valori riferiti allo Zero Mareografico di Punta della Salute (ZMPS).

Nell'arco dell'anno in analisi, la marea ha raggiunto una quota ≥ 100 cm in 45 casi e una quota ≥ 110 cm (evento definito con il termine di "acqua alta") ben 18 volte, registrazioni queste che costituiscono un record assoluto. I precedenti primati erano stati registrati nel 2009 con 33 casi di marea ≥ 100 cm, e 16 casi di "acqua alta" (≥ 110 cm).

Come si può vedere in figura 4.1, la curva che rappresenta il livello medio mare nel 2010 è inversamente correlata all'andamento della pressione atmosferica. Questa, infatti, governa il livello del mare con "effetto barometrico inverso": ad una diminuzione della pressione corrisponde un aumento del livello e viceversa.

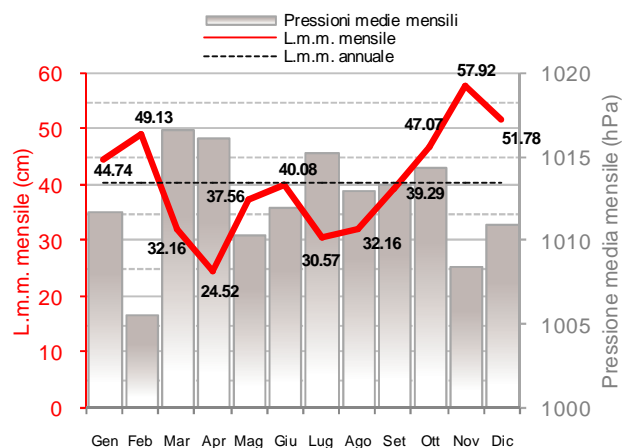


Figura 4.1 - Livello medio mare mensile e pressioni medie mensili - Anno 2010

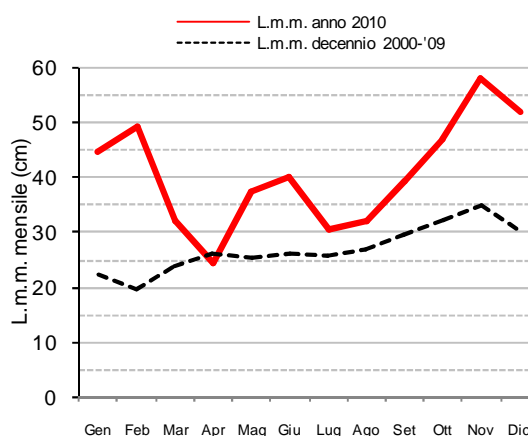


Figura 4.2 - Confronto livello medio mare (anno 2010 - decennio 2000-2009)

³ Dati mareografici registrati presso la stazione di Venezia - Punta Salute della Rete Mareografica della Laguna di Venezia e del litorale nord Adriatico (ISPRA)

Come già accennato, durante quasi tutto il 2010 la pressione media si è mantenuta costantemente al di sotto della media del decennio precedente, con uno scarto maggiore nel corso dei mesi invernali di inizio e fine anno (Fig. 3.1). Sono infatti novembre e dicembre a far registrare i valori di medio mare più alti di sempre, rispettivamente con 57.92 cm e 51.78 cm.

Tutto l'anno 2010 ha registrato valori del medio mare particolarmente elevati rispetto alla media (Fig. 4.2). Inoltre, ben 9 mesi su 12 hanno registrato i massimi mensili assoluti dell'intera serie storica, ad eccezione dei soli mesi di marzo, aprile ed agosto. Particolarmente eclatante appare la situazione verificatasi a febbraio, mese noto per registrare solitamente valori barici piuttosto alti, causa del fenomeno conosciuto dai veneziani come "magra d'acqua". Al contrario, a seguito di valori barici eccezionalmente bassi per il periodo, febbraio 2010 si è contraddistinto per registrare il quarto livello medio mare mensile della serie storica ultracentenaria (49.13 cm), ben 29.33 cm sopra la media del decennio precedente (Fig. 4.2).

Il livello medio mare (l.m.m.) annuale a Venezia-Punta della Salute nel 2010 risulta pari a 40.51 cm sullo ZMPS, valore medio annuo più elevato in oltre 120 anni di osservazione, superiore al precedente valore medio record dell'anno 2009 (33.39 cm). L'aumento del livello medio del mare sembra essere confermato anche da analoghi rialzi registrati nel medesimo periodo a Trieste-Molo Sartorio⁴ (Fig. 4.3).

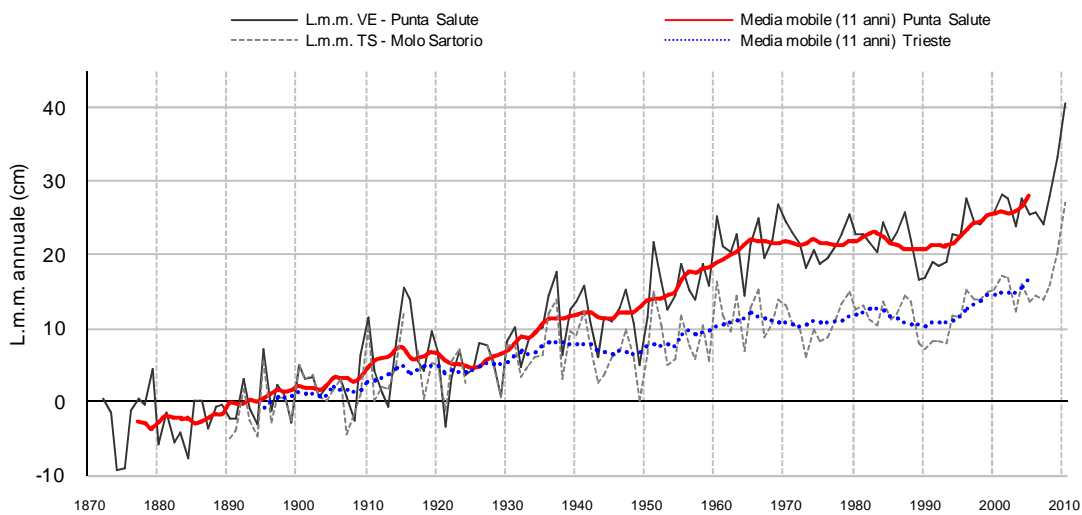


Figura 4.3 - Livello medio mare annuale nel periodo 1872-2010
(Venezia - Punta della Salute e Trieste - Molo Sartorio)

⁴ Dati mareografici registrati presso la stazione di Trieste – Molo Sartorio (CNR ISMAR)

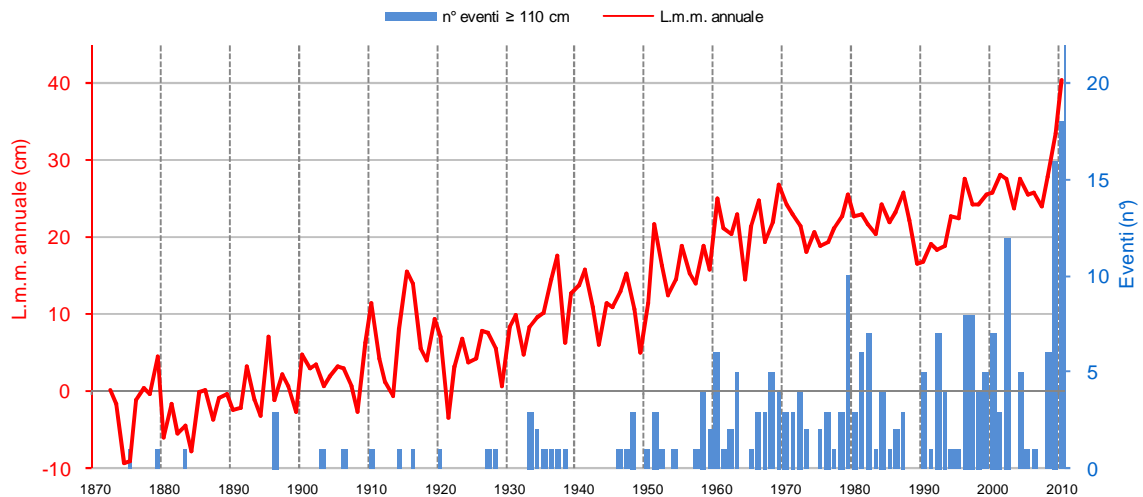


Figura 4.4 - Livello medio mare e frequenza eventi di "acqua alta" (1872 - 2010)

La figura 4.4 pone l'attenzione su di un fenomeno di primaria importanza per una città come Venezia, cioè il significativo aumento, dall'inizio del XXI secolo, della frequenza dei casi di "acqua alta". In particolare, sembra opportuno porre l'accento sull'improvvisa pendenza positiva della curva negli ultimi tre anni, specie dopo un triennio (2005-2007) in cui si erano complessivamente registrati due soli eventi di "acqua alta". Nel 2008 si è poi assistito ad un aumento nella frequenza di questi eventi (6), incrementati a 16 nel 2009 e addirittura a 18 nel 2010. La stessa tendenza viene inoltre rispettata anche dai casi in cui la marea raggiunge quote ≥ 100 cm.

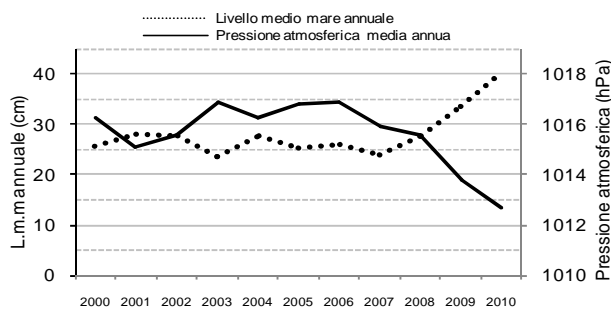


Figura 4.5 - Livello medio mare e pressione atmosferica a Venezia (2000-2010)

anch'essa repentina, della pressione atmosferica (Fig. 4.5).

Focalizzando l'attenzione sempre sull'ultimo triennio, è doveroso evidenziare anche l'andamento del livello medio mare annuale: il trend in aumento infatti si accompagna ad un incremento dei casi di "acqua alta" (Fig. 4.4). Appare dunque ragionevole collegare il brusco innalzamento del livello medio mare alla diminuzione,

5. CONCLUSIONI

Relativamente alle misure mareografiche, è lecito ipotizzare una correlazione diretta tra i livelli di marea a Venezia e l'andamento dell'indice NAO nel corso dell'eccezionale anno 2010.

Le conseguenze di un'intera annata su valori negativi dell'indice NAO hanno infatti portato sull'Italia nord-orientale la combinazione di pressioni ben al di sotto della media e precipitazioni eccezionali. È questo il motivo, assieme all'instaurarsi di un particolare regime dei venti nell'Italia Settentrionale (prevalentemente dai quadranti orientali), che consente di fornire una spiegazione plausibile della particolare sensibilità dell'alto Adriatico alle fluttuazioni dell'indice NAO, a differenza di una risposta omogenea negli altri bacini del Mediterraneo. Infatti, in presenza di precipitazioni abbondanti come quelle verificatesi nel 2010, assume un'importanza fondamentale il contributo delle acque provenienti dal Po, fiume che recapita a mare le acque dolci di gran parte dell'Italia Settentrionale. In un'annata come quella in esame, le acque dolci riversate a mare innescano correnti di densità, interagendo con l'idrodinamica dell'Adriatico Settentrionale. Viene così ad essere influenzata la circolazione termoalina, con conseguente alterazione delle condizioni climatiche insistenti sul nord-est d'Italia.

Se localmente si sono manifestate frequenti perturbazioni con abbondanti precipitazioni e ventilazione dai quadranti orientali, la spiegazione è da ricercare nelle condizioni atmosferiche a scala spaziale molto più ampia, in particolare le teleconnessioni dell'area Euro-Atlantica. È lecito quindi indicare l'andamento dell'indice NAO su macroscale come la forzante principale delle dinamiche atmosferiche e dell'andamento dei livelli di marea a scala locale.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Wallace J.M and Gutzler D.S. (1981). Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon.Weather.Rev.*, 109, 784-812.
- [2] Thompson D.W.J. and Wallace, J.M. (1998). The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geoph. Res. Let.* 25, 1297-1300.
- [3] Thompson D.W.J. and Wallace, J.M. (2000). Annular Modes in the Extratropical Circulation. Part I: Month-to-Month Variability. *Journal of Climate*, 13, 1000-1016.
- [4] Walker G.T. and Bliss E.W. (1932). World Weather V. *Mem. Roy. Meteor.Soc.* 4 (36), 53-84.
- [5] Van Loon, H. and J.C. Rogers, (1978). The Seesaw in Winter Temperatures between Greenland and Northern Europe. Part I: General Description. *Mon. Wea. Rev* 106, 296-310.
- [6] Zanchettin D., Traverso P., Tomasino M. (2006). Discussion on sea level fluctuations along the Adriatic coasts coupling to climate indices forced by solar activity: Insight into the future of Venice. *Global and Planetary Change*, 50, 226-234.
- [7] Woolf, D. and M. Tsimplis. (2003). The influence of the North Atlantic Oscillation on sea level in the Mediterranean and the Black Sea derived from satellite altimetry. *Oceanography of Eastern Mediterranean and Black Sea: Similarities and Differences of Two Interconnected Basins*, Ed. A. Yilmaz, Tübitak Publishers, Ankara, Turkey, 145-150.

