

SERIE STORICA DI DATI DELL'OSSERVATORIO BIOCLIMATOLOGICO - OSPEDALE AL MARE, LIDO DI VENEZIA: ANALISI CLIMATOLOGIA

FRANCESCO DE BIASIO*, MARCELLO CERASUOLO**,
PAOLO CANESTRELLI*, FRANCA PASTORE*

Nota presentata dal socio effettivo Alessandro Marani
nell'adunanza ordinaria del 26 gennaio 2008

1. *Introduzione*

La prima stazione per osservazioni meteorologiche istituita al Lido di Venezia fu installata nel 1912 presso l'Hotel Excelsior. Ebbe attività discontinua sia per gli iniziali adattamenti organizzativi, sia per gli eventi bellici. Attorno al 1920 fu trasferita nell'area dell'Ospizio Marino, dove rimase fino alla trasformazione in osservatorio bioclimatologico, costituito ed insediato nell'area dell'Ospedale al Mare nel 1939. Da allora la sua ubicazione non è mutata nemmeno dopo l'acquisizione da parte dell'Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree (ICPSM) avvenuta nel 2004 e l'attività è stata sistematica e ininterrotta fino a Giugno 2003.

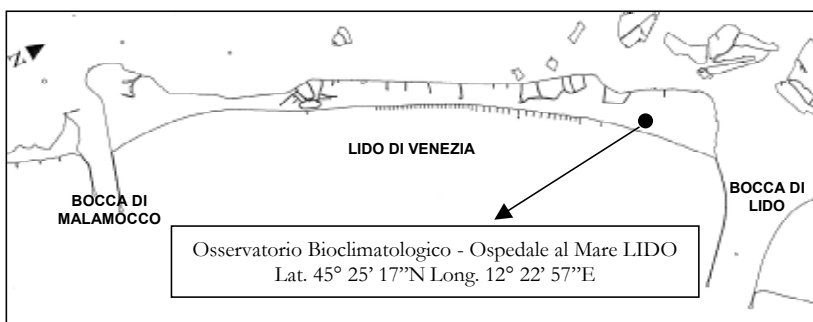
La strumentazione per le osservazioni quotidiane dei principali parametri era collocata in parte in capannine meteorologiche situate in uno spiazzo recintato sull'arenile, a 100 m circa dalla riva del mare, e in parte su un terrazzo dell'edificio retrostante – il reparto di Radiologia – ad una altezza di 21 m s.l.m. Altri strumenti erano installati in due locali adibiti a stazione-ufficio nel piano sottostante la terrazza, tra questi il barometro *Fortin*, con il pozzetto all'altezza di 11 m s.l.m. All'esterno vi erano anche una vasca evaporimetrica, un raccoglitore pluviometrico, la manica

* Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree, Comune di Venezia, Palazzo Cavalli, S. Marco 4090, Venezia.

** Università Ca' Foscari, Venezia - Serv. Meteorologico A.M.

a vento e varie attrezzature per campagne di rilevamenti sperimentali o temporanei.

Di seguito è riportata una mappa con l'ubicazione e le coordinate dell'Osservatorio.



Il Comune di Venezia, da sempre interessato ai dati dell'Osservatorio, fin dal 1960 lo ha sostenuto regolarmente con contributi economici, ottenendo il controllo diretto della struttura quando, alla fine del 2003 si manifestò per l'ente l'impossibilità di proseguire le osservazioni meteorologiche per insostenibile onerosità. L'Osservatorio, nel giugno 2004, venne quindi affidato a ICPSM che ha già provveduto ad installare un nuovo sistema di misura costituito da due Stazioni Automatiche SM3840 che hanno iniziato a funzionare nel novembre 2004.

I sensori misurano pressione atmosferica, temperatura, umidità relativa, precipitazione, radiazione solare, direzione e intensità del vento. Per consentire la continuità con il passato sono state mantenute presso la terrazza le misurazioni di vento, precipitazione e radiazione solare, mentre la temperatura e l'umidità continuano ad essere rilevate nell'area esterna. La pressione non è più misurata all'interno dei vecchi locali con il barometro a mercurio, ma con un sensore collocato insieme agli altri nell'area esterna.

Le rilevazioni relative ai principali parametri meteorologici come temperatura dell'aria, pressione barometrica, umidità, vento, nuvolosità, precipitazione, insolazione, sono state effettuate ininterrottamente per tutto il periodo dal 1940 al 2003, con cadenza oraria o bioraria. Per altre, come temperatura del mare, della sabbia, tensione di vapore, radiazione solare, evaporazione, frigorimetria, il periodo di registrazione è più breve.

Per altre ancora, come radioattività, elettricità dell'aria e scariche elettriche sono disponibili solo i diagrammi. Le osservazioni sono annotate manualmente su tre tipi di registri: il *Registro Annuale* contiene le osservazioni giornaliere dei parametri citati, lo *Specchio Mensile* contiene le stesse osservazioni, ma ordinate per parametro meteorologico e per mese, infine il *Riassunto Mensile* contiene elaborazioni statistiche.

I Registri originali, insieme con il resto dell'archivio cartaceo, compresi i diagrammi relativi a decine di anni di registrazioni, sono conservati in parte presso l'ufficio dell'Osservatorio al Lido e in parte presso ICPSM, in attesa di trovare un luogo idoneo che ne permetta la consultazione agli interessati.

L'intera serie di dati bioclimatici registrati dal 1940 su faldoni cartacei dall'Osservatorio Bioclimatologico dell'Ospedale al Mare del Lido di Venezia (OBCOM) è stata acquisita da ICPSM che ha digitalizzato i principali parametri. Ciò ha molto facilitato l'analisi, recuperando e rendendo disponibili alcune serie storiche di parametri meteorologici di rilevante interesse climatologico, soprattutto per la notevole estensione temporale delle misurazioni, destinata ad aumentare in questo secolo grazie alla installazione, presso l'OBCOM, delle citate due nuove stazioni automatiche, collegate alla rete di rilevamento meteo-mareografico dell'ICPSM.

Data l'ingente mole di dati, questo studio si concentra solo sui principali parametri: intensità orizzontale e direzione del vento, pressione atmosferica, temperatura dell'aria, umidità relativa, insolazione e precipitazione. La scelta di analizzare questi parametri, fra tutti quelli disponibili, è dovuta alla maggiore significatività che questi hanno, sugli altri, nel caratterizzare le continuità e discontinuità climatiche più rilevanti, facilitando inoltre l'eventuale confronto del presente lavoro con altri reperibili in letteratura.

Un ulteriore settimo parametro, il livello di marea a Venezia, è stato usato in questo studio, pur non essendo tra quelli registrati dalla stazione dell'Osservatorio, per la rilevanza locale del fenomeno dell'acqua alta e per mettere in luce eventuali correlazioni tra la sua variabilità e quella degli altri parametri, soprattutto nel contesto specificamente veneziano.

Le analisi, essenzialmente di tipo climatologico, sono state condotte a varie scale temporali, dai *trend* lineari su più di sessanta anni alle periodicità minori, e organizzate nel modo seguente: la sezione 2 descrive il dataset e fornisce altre informazioni sul trattamento dei dati. La sezione 3 introduce l'analisi climatologica delle frequenze, seguita dalla sezione 4,

dedicata alla presentazione dei *trend* lineari riscontrati per le sei variabili. La sezione 5 presenta i risultati dell'analisi multiscala delle serie temporali dei sei parametri più il livello di marea, condotta con la *Continuous Wavelet Transform* (CWT), ed il risultato del confronto delle periodicità riscontrate. La sezione 6 chiude infine la nota, fornendo alcune considerazioni conclusive sulle analisi svolte.

Solo le figure essenziali alla comprensione dello studio sono state riportate direttamente nel testo, mentre tutte le altre, per esigenze di spazio, sono state incluse in una appendice reperibile in rete¹.

Al numero di riferimento delle figure in appendice è anteposta la sigla «A-», perciò il riferimento «figura A-1» rimanda alla figura 1 dell'appendice.

Allo stesso indirizzo dell'appendice si può trovare il documento *foto_osservatorio.pdf*, che mostra immagini della disposizione generale della vecchia strumentazione e il *layout* della nuova stazione.

2 Descrizione del dataset

2.1 Convenzioni usate

Sono state adottate le seguenti convenzioni:

Separatore delle migliaia: virgola (“,”).

Separatore delle cifre decimali: punto (“.”).

Direzione del vento: si adotta la convenzione meteorologica, per la quale si indica la direzione di provenienza, misurata in gradi dal Nord geografico.

Nord geografico: il Nord geografico è indifferentemente indicato con le cifre 0 (zero) o 360 gradi.

Stagioni e trimestri: i periodi subannuali sono aggregati sia in stagioni che in trimestri, secondo la convenienza e la significatività delle analisi. I trimestri sono così suddivisi:

I trimestre: gennaio, febbraio, marzo;

II trimestre: aprile, maggio, giugno;

III trimestre: luglio, agosto, settembre;

¹ All'indirizzo <http://194.243.104.171/maree/DOCUMENTI/appendice.pdf> e *foto_osservatorio.pdf*

IV trimestre: ottobre, novembre, dicembre.

I trimestri sono indicati nelle figure dello studio come «quarters»: Q1, Q2, Q3 e Q4.

Le stagioni sono invece definite come:

Autunno: settembre, ottobre, novembre;

Inverno: dicembre, gennaio, febbraio;

Primavera: marzo, aprile, maggio;

Estate: giugno, luglio, agosto.

2.2 Parametri

Purtroppo non ci sono certezze riguardo alla metodologia di rilevamento usata. È probabile che i rilevamenti orari riportino il valore istantaneo dei parametri osservati.

Il periodo di osservazione dei dati è di 63 anni: dalle ore 00:00 CET del 01-01-1940 alle 23:00 CET del 31-12-2002. Il tempo è stato riferito alla coordinata GMT ove necessario, per esempio laddove è stata presa in esame la distribuzione temporale dei parametri fisici in relazione alle ore sinottiche. La frequenza temporale del dato è quasi sempre oraria, tranne che per alcuni parametri dal 1940 al 1964, dove è bioraria. In ogni caso non vi sono dati campionati più fittamente della cadenza oraria.

I parametri digitalizzati e analizzati, e le rispettive unità di misura usate, sono:

- Velocità scalare della componente orizzontale del vento (chilometri/ora);
- Direzione del vento (gradi Nord). Le direzioni di provenienza, riportate nei documenti originali dell'Osservatorio, sono suddivise secondo uno schema meteorologico classico: 16 classi di 22.5° ciascuna, centrate in 16 direzioni, a partire dal nord geografico, ruotando in senso orario.
- Pressione atmosferica (ettopascal);
- Temperatura dell'aria (gradi centigradi);
- Insolazione (ore assolute di eliofania);
- Umidità relativa (percentuale);
- Precipitazione cumulata (millimetri).

Nello stesso periodo, ma solo relativamente alla analisi multiscala condotta con la *CWT*, è stato considerato anche il livello del mare a Pun-

ta Salute, stazione di rilevamento storicamente convenuta per Venezia, in centimetri riferiti allo zero del medio mare sul piano fondamentale della Rete Altimetrica dello Stato 1897.

2.3 *Software utilizzati*

L'ambiente informatico in cui sono state effettuate le analisi è The Mathworks MATLAB che offre una serie di strumenti matematici e grafici per il trattamento di dati numerici. I dati sono stati importati in questo ambiente da file realizzati in Microsoft Excel e Microsoft Access, programmi usati per la registrazione digitale dei dati. Una parte dei dati è stata recuperata da digitalizzazioni effettuate da altri enti.

2.4 *Dati mancanti*

Le frequenze di campionamento dei parametri, orarie e biorarie, variano secondo il parametro e il periodo considerato. Vento, precipitazione e insolazione sono stati campionati, per tutto il periodo di osservazione, con cadenza oraria, con la differenza che, mentre nel caso del vento il dato veniva trascritto sui registri anche in condizioni di calma, viceversa per precipitazione e insolazione solo il verificarsi del fenomeno fisico comportava una trascrizione sui registri, lasciando quindi il dubbio, laddove non si trovi registrazione del fenomeno sulla carta, se tale assenza sia da attribuire al suo mancato verificarsi oppure ad errori, dimenticanze o malfunzionamenti.

Pressione, temperatura e umidità relativa sono state campionate ogni due ore fino al 31 maggio 1964 e successivamente con cadenza oraria. Durante il primo periodo le osservazioni avvenivano alle ore pari (00:00, 02:00, 04:00. . .), tuttavia i massimi e minimi assoluti di ogni giornata sono a volte trascritti anche nelle ore dispari, ma solo per umidità e temperatura, perché nel caso della pressione i massimi e minimi giornalieri si trovano soltanto alle ore pari. Il numero totale di ore considerato in questo studio è 552,264. Il numero di ore pari nel I periodo di osservazione (fino alle 23:00 del 31 maggio 1964) è 107,016, e altrettante sono le dispari per un totale di 214,032. Nel II periodo il numero totale di ore (pari + dispari) è uguale a 338,232.

In tabella 1 sono riportate le statistiche relative ad assenza e presenza

di dati nei tre periodi. Per precipitazione, insolazione e pressione il totale nelle due prime colonne (dati mancanti e dati presenti su tutto il periodo) è calcolato sul numero di ore pari del I periodo sommato al numero delle ore complessive del II periodo. Per i restanti parametri il totale è invece calcolato rispetto al numero complessivo di ore di tutto l'arco temporale di osservazione.

Nella terza e quarta colonna è indicato il numero di dati presenti nelle ore rispettivamente dispari e pari del I periodo. La quinta e ultima colonna infine riporta il numero di dati presenti nell'intero II periodo.

Nella tabella è stata riportata, per comodità di lettura, anche la statistica relativa al livello di marea da fonte ICPSM. Le misurazioni a disposizione partono dall'anno 1941 e la percentuale di dati mancanti è stata pertanto riferita agli anni 1941-2002.

Tabella 1 - Osservazioni - dati presenti e mancanti.

	Mancanti totale I+II periodo	Presenti totale I+II periodo	Presenti nelle ore dispari I periodo	Presenti nelle ore pari I periodo	Presenti tutte le ore II periodo
pressione	107 (0.02%)	445,141 (99.98%)	0 (0.00%)	106,909 (99.90%)	338,232 (100.00%)
temperatura	829 (0.19%)	444,419 (99.81%)	11,289 (10.55%)	107,001 (99.99%)	337,418 (99.76%)
umidità	49 (0.01%)	445,199 (99.99%)	9,404 (8.79%)	107,013 (100.00%)	338,186 (99.99%)
vento	2,011 (0.36%)	550,253 (99.64%)	106,294 (99.33%)	106,329 (99.36%)	337,630 (99.82%)
precipitazione	518,535 (93.89%)	33,729 (6.11%)	6,179 (5.77%)	6,314 (5.90%)	21,236 (6.28%)
insolazione	390,791 (70.76%)	161,473 (29.24%)	33,357 (31.17%)	32,935 (30.78%)	95,181 (28.14%)
livello di marea*	8,674 (1.60%)	534,806 (98.40%)	101,111 (98.53%)	101,115 (98.53%)	332,580 (98.33%)

* Dati orari per il periodo 1941-2002. Non vi sono dati per il 1940.

Se per vento, temperatura, pressione e umidità relativa è facile stimare le quantità di dati mancanti, potendo basare tale stima sulla cadenza desunta dai registri, non si può dire altrettanto per insolazione e precipi-

tazione, la cui mancanza, in entrambi i casi, può dare adito a due diverse interpretazioni tra cui non è possibile scegliere a priori, e cioè tanto l'assenza del fenomeno quanto la mancata quantificazione dello stesso.

Tuttavia se accettiamo l'ipotesi che anche per precipitazione e insolazione le percentuali di dati mancanti si avvicinino a quelle calcolate per il gruppo dei quattro parametri registrati con cadenze note, la stima della percentuale di dati mancanti è molto bassa, minore dello 0.4%, a parte il livello di marea, per il quale la percentuale dei dati mancanti è poco meno del 2%.

2.5 *Calme di vento*

In tabella 2 è riportata una statistica relativa alle calme di vento, con soglia di calma pari a 0 km/h. Per ciascuna osservazione relativa a questa variabile, si hanno sempre sei casi possibili, determinati dal combinarsi delle due possibilità per la direzione (rilevazione presente o assente) con le tre per l'intensità (inferiore o uguale alla soglia di calma, superiore alla soglia, rilevazione non presente). Nella tabella conveniamo di indicare con "np" l'assenza della rilevazione (sia di direzione che di intensità), con "p" la presenza della rilevazione di direzione, con "> 0" la presenza della rilevazione di intensità con valore maggiore a quello della soglia di calma, e "0" infine per le rilevazioni di intensità non superiori alla soglia. La prima colonna riporta il numero di eventi per i quali si verificano valori di velocità nulli accompagnati da direzioni determinate (0 valori, prima riga), e accompagnati da direzione indeterminata ("calma di vento", 16,758 valori, seconda riga), perlopiù registrati nel primo trentennio, essendosi evidentemente nel secondo adottati criteri diversi e più appropriati per la classificazione delle calme di vento. La seconda colonna riporta nella prima riga i valori per cui la direzione è determinata e la velocità è determinata e diversa da zero, mentre la seconda riga riporta invece il numero di eventi in cui la velocità è determinata e diversa da zero, ma la direzione, per qualche motivo, non è determinata. La terza colonna infine mostra nella prima riga il numero di eventi per i quali la velocità non è determinata, ma lo è la direzione, ed infine, nella seconda riga, il numero di eventi per i quali nessuna delle due è determinata, che corrisponde di fatto al numero di eventi per i quali il dato risulta totalmente mancante,

pari allo 0.36% mostrato nella tabella 1, percentuale che risulta la più elevata fra quelle calcolate per tutti i parametri, ma tale da testimoniare la notevole diligenza degli osservatori. Il numero delle calme, pari a 16,758, è circa 3.03% del totale, percentuale normalmente troppo bassa rispetto ai valori noti in letteratura per questa regione, secondo gli *standard* normalmente usati.

Tabella 2 - vento - numero di valori presenti, mancanti, calme. La soglia di calma è 0 km/h

		velocità		
		= 0	> 0	np
direzione	p	0	532,208	1,262
	np	16,758	25	2,011
Totali		16,758	532,233 552,264	3,273

Se si prende invece la soglia di calma di vento pari a 4 km/h (≈ 2 nodi), il numero delle calme (totale delle velocità non superiori a 4 km/h) risulta essere 101,735, pari al 18.41% del totale, come risulta dalla tabella 3, che corrisponde alla frequenza di calme di vento generalmente riscontrata nella zona in questione. Si è convenuto pertanto di adottare come soglia di calma, in tutte le analisi svolte, il valore di 4 km/h.

Tabella 3 - vento - numero di valori presenti, mancanti e calme. La soglia di calma è 4 km/h.

		velocità		
		≤ 4 km/h	> 4 km/h	np
direzione	p	84,976	447,232	1,262
	np	16,759	24	2,011
Totali		101,735	447,256 552,264	3,273

2.6 *Ulteriori considerazioni*

Spesso è stato necessario ricorrere all'esame dei registri cartacei originali per eliminare inconsistenze ed inesattezze. Ciò ha riguardato tutti i parametri in generale, ma soprattutto le serie di precipitazione, insolazione e vento. Quest'ultima, ricostruita a partire da digitalizzazioni effettuate da soggetti diversi, rispondenti a diverse logiche, era affetta da un considerevole numero di errori e inconsistenze, eliminabili solo attraverso il diretto riesame dei registri. Tra gli errori più frequenti, la mancanza del valore della mezzanotte per tutti i giorni di intere annate, e lo *shift* in avanti o indietro di un'ora, rispetto all'orario corretto, per periodi anche di mesi.

La pressione atmosferica è stata misurata in millimetri di mercurio, ma è qui espressa in hPa.

Le osservazioni di precipitazione sono 33,729, e forniscono il valore medio annuo di 901 mm. Si tratta di un valore superiore a quanto riportato in letteratura per la zona d'osservazione, pari a circa 800 mm nel periodo 1961-1990².

L'analisi della precipitazione ha evidenziato in alcuni casi inconsistenze nel modo di procedere alla codifica dei dati giornalieri, quali per esempio lo scambio di valori medi orari e valori cumulati giornalieri, e questo si è a volte tradotto in erronee interpretazioni durante la fase di digitalizzazione. Anche in questi casi è stato necessario riesaminare le fonti e apportare le opportune correzioni.

Le osservazioni di insolazione, misurata in ore di eliofania assoluta sono 161,473 (una media di 2,146 ore annue, pari a 5.8 ore giornaliere, in buon accordo con quanto la letteratura riporta per il periodo 1961-1990³).

Anche nel caso della insolazione si sono dovuti adottare criteri particolari per rendere consistenti le misurazioni registrate. In particolare, avendo riscontrato la presenza di valori positivi di insolazione anche in ore notturne, si è proceduto al calcolo delle tabelle di insolazione giornaliera alla data latitudine e longitudine, per eliminare dal dataset i valori non nulli laddove l'eliofania non poteva che essere nulla.

² On-line: www.meteotriveneto.it alla pagina [/static/ClimaVeneto.php](#) e www.eurometeo.com alla pagina [/italian/climate/city_LIPZ/meteo_Venezia-Tessera](#)

³ 5.6 ore, on-line www.eurometeo.com alla pagina [/italian/climate/city_LIPZ/meteo_Venezia-Tessera](#).

3 *Analisi climatologica delle distribuzioni dei dati*

In questa sezione vengono presentati i risultati dell'analisi climatologica delle distribuzioni, circoscritta per brevità alle aggregazioni stagionali.

3.1 *Velocità orizzontale e direzione del vento*

Una delle caratteristiche principali del regime di vento del litorale veneziano è la brezza, presente tutto l'anno.

La figura 1 mostra le medie e le deviazioni standard, relative a ciascuna ora del giorno, effettuate su tutto l'arco temporale a disposizione, della direzione (a sinistra) e dell'intensità del vento (a destra), per due periodi distinti: aprile-agosto sopra, settembre-marzo sotto. I due intervalli temporali sono volutamente disomogenei allo scopo di evidenziare meglio le differenti intensità delle brezze tra il periodo caldo, da aprile ad agosto, e quello freddo, da settembre a marzo.

Per ciascuno di essi i dati sono stati aggregati per ora solare, e sui 24 insiemi ottenuti è stata calcolata la media e la deviazione standard per l'intero periodo di osservazione. Valori medi orari e deviazioni standard sono stati riportati in funzione dell'ora solare, distintamente per il periodo caldo e per quello freddo.

Nel periodo caldo le brezze sono normalmente intense e definite, e tuttavia anche il periodo freddo evidenzia una attività caratteristica dei venti di brezza, sebbene la durata giornaliera sia effettivamente limitata, e l'intensità del fenomeno – intesa come massima escursione tra valori diurni e notturni della velocità scalare e massima rotazione della direzione di provenienza – raggiungano valori inferiori a quelli del periodo caldo.

Durante quest'ultimo la direzione del vento comincia a ruotare verso Sud intorno alle 06:00 da un valore di circa 10°, per arrivare a circa 140° intorno alle 15:00. Nello stesso lasso di tempo l'intensità media della componente orizzontale del vento passa da circa 8 a 12 km/h. Nel periodo freddo la rotazione complessiva, nell'arco della giornata, è minore (da 355° a 105°), circa 110° contro i 130° estivi, e l'escursione massima dell'intensità media è di poco più di 1 km/h. La durata giornaliera del fenomeno, in questo periodo, è minore: il valore della

massima rotazione del vento viene mantenuto per circa 5-6 ore, contro le 14 del periodo caldo.

La minore durata della permanenza del sole sopra l'orizzonte ed il diverso regime di temperature nel periodo freddo rendono conto di entrambe le differenze. Le deviazioni standard, sia per la direzione che per l'intensità, mostrano due massimi in corrispondenza delle transizioni notte/giorno e giorno/notte. Dei due massimi il secondo è sempre più elevato, probabilmente a causa di un più brusco cambiamento, in questo passaggio, di tutti i parametri meteorologici, e della rapida stabilizzazione termica della parte inferiore dello strato limite atmosferico. Nei mesi primaverili ed estivi la brezza instaura un regime più dinamico nelle variazioni di intensità e direzione del vento.

Il pannello inferiore di figura 1 riporta la distribuzione percentuale mensile di eventi con intensità maggiore di 36 km/h. Essa è massima nei mesi invernali. Tali eventi sono frequenti anche nei mesi primaverili, mentre raggiungono la minima frequenza in giugno, luglio, agosto e settembre.

Le distribuzioni stagionali (figura A-1) confermano quest'ultima osservazione. I venti primaverili sono caratterizzati da una maggior frequenza di forti intensità, ed una corrispondente diminuzione delle velocità medio-basse, al di sotto dei 10 km/h. Le distribuzioni stagionali evidenziano le mode delle rispettive stagioni: 6 km/h, 5 km/h, 7 km/h e 7 km/h rispettivamente per autunno, inverno, primavera ed estate.

Le rose dei venti stagionali, riportate in figura A-2, mostrano una distribuzione bivariata. Il golfo di Venezia è infatti esposto sia ai venti da NE che da SE, nel seguito indicati rispettivamente bora e scirocco. Nei *rose plot* sono presenti due distribuzioni: quella in colore più chiaro raggruppa tutti i venti di intensità maggiore della soglia di calma (4 km/h), quella più scura solo i venti maggiori di 18 km/h. I pallini in grigio chiaro e grigio scuro, sulla circonferenza esterna della rosa, indicano rispettivamente le direzioni medie di provenienza del vento dei due set (in primavera nel grafico sono quasi coincidenti); tali quantità sono riportate anche in legenda, insieme alle rispettive deviazioni standard. Per il calcolo delle direzioni medie e delle deviazioni standard ci si è rifatti a Weber [1997], che tratta la statistica di variabili circolari in maniera rigorosa.

I venti da nord-est sono presenti in ogni stagione, come pure quelli da sud-est, che sono però meno frequenti in inverno. I venti da nord-est

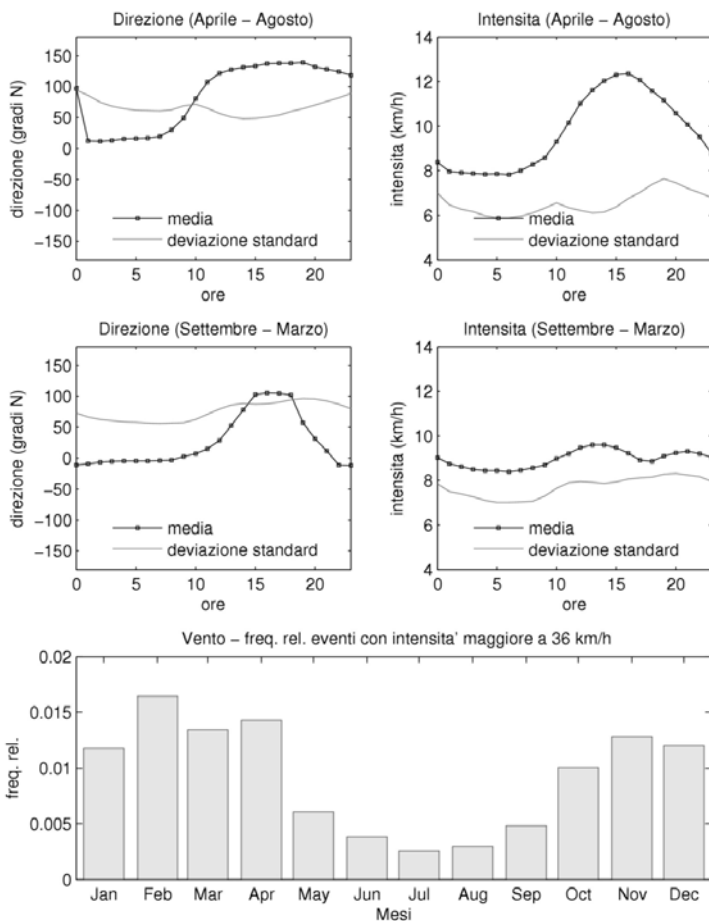


Figura 1 - Caratterizzazione del vento di brezza e distribuzione mensile dei venti con intensità maggiore di 36 km/h nel periodo 1940-2002. Pannelli superiori e centrali: caratterizzazione del vento medio rispettivamente nei periodi aprile-agosto e settembre-marzo. Pannelli superiore e centrale a sinistra: direzione media (linea continua nera con markers quadrati) e sua deviazione standard (linea continua grigia) in funzione dell'ora locale; pannelli superiore e centrale a destra: intensità orizzontale media e sua deviazione standard in funzione dell'ora locale. Pannello inferiore: distribuzione dei venti con intensità superiore a 36 km/h

prevalgono su quelli da sud-est in autunno e in inverno, tanto alle basse intensità (fino a 18 km/h) quanto alle alte (superiori a 18 km/h). In estate accade l'opposto, mentre in primavera alle basse intensità predominano i venti da sud-est e alle medio-alte sono più frequenti quelli da nord-est.

Tutto l'anno sono presenti contributi di maestrale, tramontana, ponente e libeccio, evidenti soprattutto alle basse intensità, che non trovano facile spiegazione, a parte forse la presenza di effetti di disturbo da parte degli edifici.

Ci siamo chiesti se stazioni di rilevamento vicine, di paragonabile o maggiore affidabilità, esibissero distribuzioni del vento intorno alla rosa simili a quelle rilevate all'OBCOM. Abbiamo analizzato a questo scopo le serie storiche di direzione ed intensità del vento alle stazioni di rilevamento meteorologico dell'aeroporto G. Nicelli del Lido di Venezia (a poche centinaia di metri da OBCOM) e dell'Istituto Cavanis di Venezia (situato nel centro storico di Venezia).

Della serie storica del Nicelli è stato possibile recuperare solo due periodi: il primo va dal 1951 al 1961, il secondo dal 1967 al 1977. Questa suddivisione ha imposto i limiti temporali del confronto. I dati del Nicelli sono registrati alle ore sinottiche (00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00 GMT), e sono misurati secondo la prassi WMO che prevede 36 classi di direzione di provenienza.

La serie storica dell'Istituto Cavanis, più estesa di quella del Nicelli, è stata considerata solo all'interno dei due periodi individuati da quest'ultima.

La serie Cavanis è campionata alle ore 08:00, 14:00 e 19:00 solari e i dati sono suddivisi nelle stesse 16 classi di direzione dell'OBCOM. Del primo periodo sono presenti solo dati relativi a 4 anni circa, mentre nel secondo è disponibile l'intero decennio.

Il vento è stato analizzato nell'insieme dei due periodi, senza riguardo alla stagione. Per quanto riguarda la serie Cavanis, mancano di fatto i valori notturni del vento.

Per il confronto sono stati considerati solo i venti maggiori di 4 km/h (1 m/s).

Il confronto delle tre rose ottenute è riportato in figura 2, e sembra confermare la presenza di venti di maestrale, tramontana, ponente e libeccio, sebbene con frequenza minore di quella riscontrata per OBCOM. Va comunque notato che nel caso del Nicelli vi sono, limitatamente ai venti superiori a 5 m/s, frequenze notevoli di provenienza da N,

DIREZIONE ORIZZONTALE VENTO (PERIODO 1951-1977)

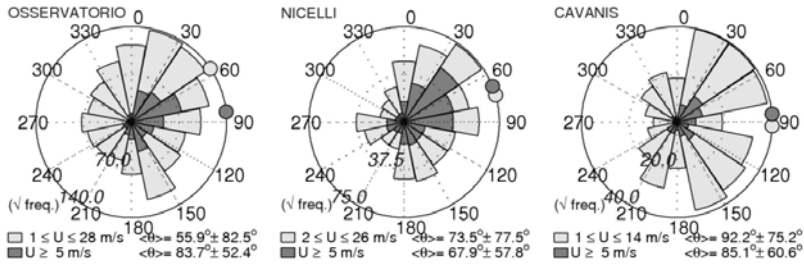


Figura 2 - Rose dei venti per le stazioni OBCOM, Nicelli e Cavanis, negli anni 1951-1977. Grigio chiaro: intensità > 4 km/h (1 m/s); grigio scuro: intensità > 18 km/h (5 m/s). "U" componente orizzontale del vento. I pallini sulla circonferenza esterna indicano le direzioni medie di provenienza del vento dei due set. In italiano, nel 3° quadrante, la scala numerica, proporzionale alla radice quadrata della frequenza assoluta. La scelta stabilisce una proporzionalità diretta tra area dei settori della rosa e numero di eventi rappresentati.

da W e da WSW (tramontana, ponente e libeccio), e che tali venti sono molto inferiori nella serie Cavanis. Le rose composte con tutte le classi di vento risultano più strutturate nel caso di Cavanis e Nicelli, mostrando contributi anche da S, WSW, NNE (Nicelli) e SSW, SW, WNW e NNW (Cavanis).

3.2 Pressione atmosferica

L'analisi delle distribuzioni aggregate per stagioni (figura A-3) mostra che durante i mesi freddi sia le medie che le mode risultano più elevate che nei mesi caldi (autunno 1019 hPa, inverno 1022, primavera ed estate 1015), e gli intervalli di variabilità sono più ampi. Ciò conferma sia le analoghe medie riportate in letteratura sia l'estrema variabilità climatica che contraddistingue, alle nostre latitudini, il periodo autunnale ed invernale. Viceversa nei mesi caldi le distribuzioni si stringono intorno alle mode, ed hanno code meno estese. Le distribuzioni non sono in generale simmetriche, ma allungate di norma più verso i bassi che gli alti valori.

Gli istogrammi presentano, in ascissa, valori non interi della

pressione: ciò è dovuto al fatto che la pressione, inizialmente misurata e riportata nei faldoni in millimetri di mercurio, è stata poi trasformata in hPa per le elaborazioni e la presentazione dei risultati. I valori non interi di pressione in hPa qui riportati, coincidono infatti con valori interi di pressione espressi in mm Hg.

Le medie alle ore sinottiche delle aggregazioni stagionali (figura A-4) evidenziano l'andamento giornaliero tipico esaorario con due massimi e due minimi. Il massimo delle 09:00 GMT è più alto di quello delle 21:00; il minimo pomeridiano intorno alle 15-18:00 è più profondo di quello notturno, circa alle 03:00. L'escursione massima tra le medie stagionali è di circa 3 hPa (pannello inferiore della figura A-4) con i valori più alti nel semestre freddo e più bassi in quello caldo.

3.3 *Temperatura dell'aria*

L'inverno e l'estate presentano distribuzioni molto concentrate intorno ai rispettivi valori medi, mentre l'autunno e la primavera, in quanto periodi di transizione, hanno distribuzioni più allargate, e di forma diversa (figura A-5).

Le temperature medie stagionali per ora sinottica sono mostrate in figura A-6. Le temperature medio-minime e massime giornaliere si hanno rispettivamente alle 06:00 GMT e 12:00 GMT in tutte le stagioni tranne l'estate, che probabilmente a causa della minor durata della notte mostra la minima alle 03:00 GMT, mentre la massima, com'era da attendersi, cade più avanti verso le 15:00 GMT.

La stagione in cui c'è il maggior divario tra la minima e la massima temperatura media è l'estate (circa 5.6 °C), seguita nell'ordine da autunno (5.0 °C), primavera (4.7 °C) e inverno (3.7 °C). Quanto alla variabilità stagionale, senza riguardo all'ora sinottica (figura A-6, pannello inferiore) risulta che la stagione a più bassa variabilità è l'inverno, seguito da estate primavera e autunno. In tabella 4 si riportano i valori numerici delle temperature medie.

Tabella 4 - temperatura - medie e deviazioni standard stagionali - media [stdev] (°C)

Autunno	Inverno	Primavera	Estate
14.53 [5.70]	4.32 [3.29]	12.97 [4.98]	22.84 [3.72]

3.4 Umidità relativa

Nelle distribuzioni di questa sezione prevalgono valori di umidità relativa corrispondenti alle decine (70, 80. . .).

La causa di questa prevalenza dei valori interi rispetto ai valori frazionari delle decine non è nota: è però plausibile che sia la tendenza dell'osservatore ad arrotondare alla decina più vicina le cifre dello strumento durante la lettura (69% e 71% diventano 70%). Ciò non influisce molto, a nostro parere, sui risultati dell'analisi, e quindi non sono state adottate misure correttive.

Le distribuzioni aggregate per stagioni (figura A-7) confermano la minima umidità relativa in estate (la moda, estrapolata visivamente per ovviare agli errori sistematici, si attesta intorno a 87%), e la massima in inverno (95%). Le estensioni delle distribuzioni non appaiono differenti, tuttavia la tabella 5, riportante le medie climatiche stagionali alle varie ore sinottiche, mostra che la variabilità risulta complessivamente più alta in inverno, con deviazioni standard dalla media da 12 a 18 punti percentuali, mentre in estate la variabilità non supera i 13 punti percentuali.

Tabella 5 - umidità relativa - medie per ore sinottiche e deviazione standard stagionali - media [stdev] (%)

Stagione/ Ora	00:00	03:00	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00
autunno	87.6 [9.4]	88.6 [8.9]	87.9 [8.6]	77.0 [13.8]	70.2 [16.4]	73.9 [15.5]	82.8 [12.2]	85.5 [10.7]
inverno	86.5 [12.3]	86.1 [12.6]	87.0 [11.7]	80.5 [15.0]	73.3 [18.6]	76.2 [17.4]	83.5 [14.2]	84.6 [13.3]
primavera	84.7 [11.6]	86.3 [10.9]	84.1 [11.2]	72.3 [15.0]	69.2 [15.8]	71.3 [16.0]	79.3 [14.4]	82.7 [12.4]
estate	84.3 [8.5]	86.4 [8.2]	81.1 [8.3]	67.6 [11.9]	64.0 [12.2]	65.0 [13.1]	74.1 [12.2]	80.9 [10.1]

I dati della tabella 5 sono graficati per maggior comodità in figura A-8, nei primi quattro pannelli dall'alto al basso. In tutte le stagioni l'ora sinottica in cui si registra, in media, la minima umidità relativa, è alle 12:00 GMT. La massima si presenta intorno alle 03:00 GMT. Le devia-

zioni standard corrispondenti alle ore più umide sono circa i due terzi di quelle delle ore meno umide. L'andamento è ciclico giornaliero. Il ciclo annuale passa da un minimo di 75.0% in estate (media giornaliera), a un massimo in inverno di 82.5% (vedi anche figura A-9).

L'aggregazione per ore sinottiche dei dati di umidità relativa mostra distribuzioni più omogenee alle 09:00, 12:00 e 15:00 GMT (figura A-9). Viceversa, le distribuzioni alle ore restanti tendono ad accumularsi nell'intorno della massima umidità relativa, presentando una minor variabilità che conferma i dati riportati per le deviazioni standard dalle medie.

3.5 *Precipitazione*

La citata impossibilità di determinare a priori se l'assenza di una rilevazione dei parametri precipitazione e insolazione, nei registri dell'Osservatorio, sia dovuta all'assenza del fenomeno o all'assenza del suo rilevamento, impone di scegliere, ai fini dell'analisi, di considerare nullo il parametro ogniqualvolta non sia riportato. La minima quantità di dati mancanti, verificata per gli altri parametri, consente di effettuare con fiducia tale scelta per entrambi i parametri. Ciò è stato fatto per rendere le statistiche riportate nei plot stagionali (figura A-11) omogenee a quelle degli altri parametri.

Viceversa gli istogrammi sono stati realizzati, per entrambe le variabili, considerando solo i valori non nulli delle rilevazioni, in quanto i valori nulli, preponderando sugli altri, ne avrebbero reso difficile la lettura.

Le distribuzioni climatologiche stagionali della precipitazione oraria (figura A-10) non mostrano caratteristiche salienti, se non una diminuzione degli eventi nella stagione calda, una ripresa graduale in autunno ed il raggiungimento del massimo in inverno⁴. L'autunno e l'estate risultano essere le stagioni a più alta variabilità, con precipitazioni abbondanti più frequenti.

In figura A-11 sono mostrati i grafici relativi alle medie per ora sinottica, aggregate su base stagionale. Essi mostrano forti differenze di intensità per la precipitazione complessiva (somma di tutte le quantità orarie registrate nei 63 anni alla medesima ora), da ora sinottica a ora sinottica, e da stagione a stagione; in autunno la massima precipitazione complessiva si ha

⁴ Si faccia riferimento all'ordinata a destra, in grigio, che si riferisce al numero assoluto di eventi; quella a sinistra, in nero, riporta invece la frequenza relativa.

alle 21:00 GMT, quando è massima anche la deviazione standard dalla media, e la minima alle ore 06:00 GMT, cui corrisponde la minima deviazione standard. La massima autunnale è anche la massima annuale.

In inverno la minima si ha alle 06:00 GMT e la massima subito dopo, alle 09:00 GMT. In primavera la massima è alle 18:00 GMT e la minima alle 06:00 GMT, e infine in estate si hanno minima relativa (ed assoluta rispetto a tutte le stagioni) alle 12:00 GMT, e la massima nelle ore serali e notturne.

3.6 *Insolazione*

L'insolazione è stata registrata in decimi orari di eliofania. Per ogni rilevamento orario viene riportata la durata dell'insolazione – espressa in decimi di ora – verificatasi durante l'ora precedente l'osservazione. Il valore 1.0 esprime quindi un'ora ininterrotta di eliofania. L'eliofania giornaliera assoluta è calcolata come somma dei valori orari rilevati. Si è ritenuto interessante elaborare una statistica dei valori orari, riportata negli istogrammi di figura A-12 e A-13. Gli istogrammi di figura A-12, mostrano le distribuzioni stagionali dei decimi di ora di insolazione. È evidente la preponderanza dei valori pari a 10/10, e non sembrano presenti altre particolarità, a parte il numero complessivo di eventi, che passa da circa 13,000 (moda 1 h, mediamente 2.3 ore giornaliere di eliofania assoluta) in inverno, a circa 42,000 (moda 1 h, mediamente 7.4 ore giornaliere di eliofania assoluta) in estate.

Le distribuzioni stagionali aggregate in ore sinottiche danno una possibile spiegazione della preponderanza dei valori pari a 10/10 negli istogrammi aggregati per stagioni. Dall'esame della figura A-13 si vede infatti come la moda 1 h sia preponderante alle ore sinottiche 09:00, 12:00 e 15:00 GMT, quando il sole è generalmente ancora alto nel cielo.

Viceversa il primo pannello e l'ultimo dall'alto, che riportano rispettivamente le distribuzioni di insolazione alle 06:00 GMT e 18:00 GMT, quando il sole è in prossimità dell'alba o del tramonto, mostrano distribuzioni più omogenee, con frequenze dei valori frazionari (<10/10h) più alte, pur se la moda resta sempre 1 h. Dunque la frequenza dei valori frazionari è da mettere in relazione alla loro prossimità agli istanti dell'alba e del tramonto, che generalmente non cadono allo scoccare delle ore dell'orologio, e perciò danno luogo a valori frazionari nella lettura

dell'eliofania. Durante le ore in cui il sole è alto l'insolazione non subisce variazioni dovute a fluttuazioni dell'intensità della radiazione solare, se non in presenza di copertura nuvolosa, come accade invece nelle ore in cui si verificano alba e tramonto, e il valore abbondantemente più frequente è 1 h.

4 *Analisi delle tendenze lineari*

Sono state calcolate tre tendenze lineari: una per le medie, una per le massime e una per le minime giornaliere.

Per la prima sono stati calcolati i valori medi mensili delle medie giornaliere, mentre per la seconda e la terza sono state calcolate le medie mensili rispettivamente delle massime e delle minime giornaliere.

Nel caso di precipitazione e insolazione il *trend* delle minime non è stato calcolato per la presenza di valori sempre nulli (nel caso di insolazione) o per lo più nulli (precipitazione).

Le medie mensili di medie ed estremali giornalieri sono state poi usate per calcolare le medie annuali sia di ciascun intero anno (mediando i 12 valori medi mensili) sia di periodi trimestrali di ciascun anno (mediando i valori medi di tre mesi).

I *trend* sono stati infine determinati tramite best fit lineari delle serie temporali dei valori medi annuali e trimestrali. I valori iniziali e finali di ciascun *trend* sono calcolati in corrispondenza dell'istante centrale di ogni periodo mediato: nel caso dei *trend* dell'intero anno, ad esempio, essi sono riferiti alle ore 12:00 del giorno 2 luglio dell'anno iniziale e finale. Data la bassa variabilità dei valori dei *trend* alla scala di tempo giornaliera, non si è tenuto conto degli anni bisestili relativamente a questo aspetto.

4.1 *Velocità orizzontale e direzione del vento*

Le distribuzioni annuali, raggruppate in blocchi decadali (figura A-14), sembrano indicare un preciso *trend* di diminuzione della frequenza di fenomeni intensi, dagli anni '40 ai giorni nostri: le distribuzioni tendono infatti a restringersi intorno ai valori più frequenti e si nota

una graduale diminuzione della popolazione delle classi più elevate. Tali conclusioni sono in accordo con quanto osservato da Pirazzoli e Tomasin, [1999].

Questo fatto viene confermato anche dall'analisi delle serie temporali delle medie e degli estremali medi per la componente orizzontale del vento. In figura A-15 sono visibili gli sviluppi temporali di tali grandezze. Le linee tratteggiate grigie indicano i valori annuali usati per il calcolo dei *trend* di massime e minime, mentre la linea tratteggiata nera con marker quadrati mostra i valori annuali usati per il *trend* delle medie. Le linee continue mostrano i *best fit* delle tre grandezze: il divario tra il *trend* delle massime e quello delle minime diminuisce con il progredire degli anni, passando da 18 km/h nel 1940 a 14 km/h nel 2002 (valori dei *best fit* estrapolati a luglio 1940 e luglio 2002), ed in generale i tre *best fit* hanno pendenze negative che indicano diminuzioni, nei 62 anni, di: -4.86 km/h, -2.26 km/h e -0.52 km/h rispettivamente per massime, medie e minime. Questo comportamento si presenta anche in ciascuno dei 4 periodi trimestrali, pressappoco coincidenti con le quattro stagioni, denotando una tendenza generale che non subisce alcuna variazione stagionale. Nella tabella 6 si riportano i risultati numerici relativi allo studio dei *trend* della velocità orizzontale del vento. Le prime due righe riportano i valori estrapolati dai *trend* all'inizio (luglio 1940) ed alla fine (luglio 2002) del periodo esaminato, per massime, medie e minime.

Le righe successive riportano gli incrementi complessivo e annuo calcolati a partire dai *trend*.

Tabella 6 - vento - riepilogo dei *trend* - valori in km/h

	massime	medie	minime	max-min
1940	20.34	10.10	2.11	+18.24
2002	15.48	7.84	1.59	+13.89
1940-2002	-4.86	-2.26	-0.52	
annuo	-0.08	-0.04	-0.01	

I dati di direzione del vento sono stati aggregati in decenni (l'ultima composta di dodici anni per farvi rientrare anche gli anni 2000-2002) e ne sono state calcolate le distribuzioni.

Questa aggregazione mette in evidenza una particolare evoluzione nella distribuzione dei venti registrati all'Osservatorio: negli anni '40 la distribuzione risultava popolare tutte le classi, con una maggiore frequenza per i venti da nord-est e sud-est. Successivamente la proporzione tra i venti di bora/scirocco e quelli delle altre direzioni è aumentata di decade in decade, fino a sfiorare, negli anni '80 e '90, valori pressoché doppi dei precedenti, rendendo evidente il predominio dei venti di bora e scirocco, ed una parziale soppressione delle frequenze dei venti provenienti da direzioni intermedie (figura A-16). La tendenza appena descritta non dipende dalla soglia di calma considerata.

4.2 Pressione atmosferica

Le distribuzioni dei valori di pressione atmosferica calcolate aggregando i dati in decenni (1940-1949, 1950-1959, . . . , 1990-2002, figura A-17) non presentano grandi differenze tra una decade e l'altra, se non per una maggior estensione nelle decadi 1940-1949 e 1970-1979, peraltro molto lieve, e fanno pensare a un sostanziale equilibrio di questo parametro durante i 63 anni di rilevamento.

I *trend* stagionali, mostrati in figura A-18, mostrano invece comportamenti anche molto diversi da una stagione all'altra: inverno e autunno sono positivi (marcatamente l'inverno), mentre sono negativi in primavera ed estate. Questo sia con riferimento alle medie dei valori medi mensili, sia alle medie degli estremali medi mensili.

L'escursione tra i *trend* degli estremali aumenta leggermente (+0.27 hPa) nell'arco dei 63 anni, e il bilancio fra le tendenze stagionali determina un aumento complessivo della pressione media di circa mezzo hPa.

Tabella 7 - pressione - riepilogo dei *trend* - valori in hPa

	massime	medie	minime	max-min
1940	1018.08	1015.95	1013.89	+4.19
2002	1018.73	1016.46	1014.27	+4.46
1940-2002	+0.65	+0.52	+0.38	
annuo	+0.01	+0.01	+0.01	

4.3 Temperatura dell'aria

I decenni '40-'49 e '60-'69 sono stati caratterizzati da una frequenza di alte temperature maggiore di quella delle basse, mentre gli altri decenni presentano andamenti invertiti (v. i massimi delle distribuzioni in figura A-19). Le distribuzioni risultano bivariate a causa dell'alternanza estate-inverno.

I *trend* ad aggregazione stagionale della temperatura sono positivi per gennaio-marzo, negativi da aprile a settembre. I *trend* per ottobre-dicembre sono quasi nulli, ma il calcolo fornisce un leggerissimo aumento delle massime, e una debole tendenza negativa per le medie e le minime. Il divario tra media delle massime e media delle minime diminuisce di circa 0.18°C dal 1940 al 2002.

Tabella 8 - temperatura - riepilogo dei *trend* - valori in °C

	massime	medie	minime	max-min
1940	17.21	13.90	10.90	+6.31
2002	16.77	13.60	10.65	+6.12
1940-2002	-0.44	-0.29	-0.26	
annuo	-0.01	-0.00	-0.00	

Globalmente il *trend* risulta negativo, con una differenza di temperatura tra luglio 1940 e luglio 2002 di -0.29°C, e mostra localmente un comportamento significativamente opposto a quello che caratterizza la scala globale, che viene quantificato da Brohan e altri [2006] pari a circa +0.40°C nello stesso periodo. Molti sono i fattori che possono aver contribuito a questo inatteso risultato, e sembra quindi importante effettuare un confronto con dati registrati, nello stesso periodo, da stazioni limitrofe.

Anche in questo caso, come per il vento, abbiamo fatto ricorso al confronto con le serie storiche di dati registrati al Nicelli e al Cavanis.

Sono state confrontate le serie storiche di temperatura delle tre stazioni prese a coppie. Per ciascun confronto sono stati considerati solo i dati registrati al medesimo orario. Data la struttura temporale dei campionamenti, il confronto tra le serie del Nicelli e del Cavanis avviene per

un solo dato giornaliero, quello delle 19:00 solari. Per le altre coppie si può contare invece su almeno 3 e 8 valori giornalieri rispettivamente nel caso OBCOM-Cavanis e OBCOM-Nicelli.

In ogni caso la procedura seguita garantisce il confronto fra serie temporalmente omogenee, anche se non identiche nei tre casi.

I confronti relativi al periodo 1951-61 sono mostrati in figura 3. Quelli relativi al periodo 1967-77 in figura 4. Sopra sono visibili i tre *scatter plot* delle serie prese a coppie, per verificarne l'accordo globale; le linee continue identificano il perfetto accordo. Sotto sono riportate le deviazioni delle differenze fra i valori delle serie in funzione dei loro valori medi, per identificare possibili dipendenze delle serie dalla temperatura. Le linee continue identificano l'assenza di dipendenza, le linee tratteggiate individuano i *best fit* delle serie sia nei pannelli superiori che in quelli inferiori.

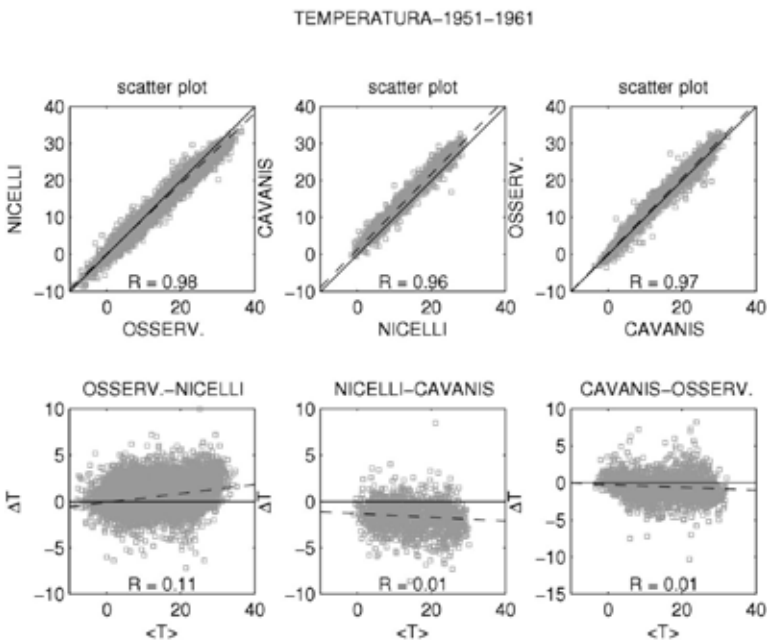


Figura 3 - Confronto delle serie di temperature negli anni 1951-1961. Sopra: *scatter plot* delle tre serie, prese a coppie. Sotto: deviazioni delle differenze fra i valori della serie in funzione dei loro valori medi. Le linee continue identificano il perfetto accordo sopra e l'assenza di dipendenza sotto. Le linee tratteggiate individuano i *best fit* delle serie. OBCOM è indicato come OSSERV.

Lo *scatter plot* OBCOM-Nicelli del primo periodo mostra una leggera sovrastima ($R = 0.98$) della serie OBCOM rispetto a quella del Nicelli. La differenza tra le due serie mostra una dipendenza lineare dalla temperatura ($R = 0.11$), che rivela come OBCOM la sovrastimi, rispetto a Nicelli, per valori crescenti al crescere della stessa. L'accordo tra le due serie migliora nel secondo periodo ($R = 0.99$), e anche la differenza tra i valori delle due serie non mostra più alcuna tendenza ($R = 0.00$).

Il confronto tra OBCOM e Cavanis mostra una leggera sovrastima della temperatura, all'OBCOM, durante il primo periodo. Nel secondo, viceversa, la temperatura ad OBCOM è in media minore.

Entrambi i confronti mostrano una tendenza di OBCOM a sovrastimare la temperatura nel primo periodo, e a sottostimarla nel secondo.

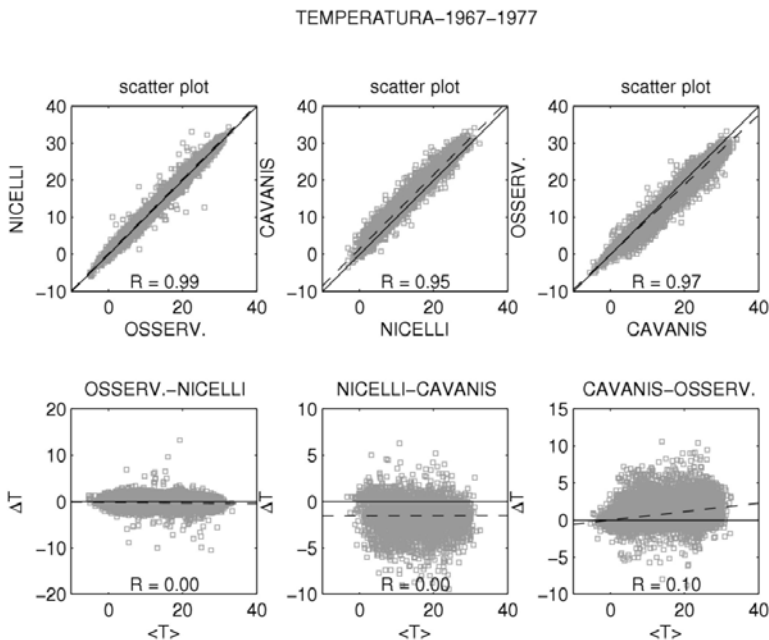


Figura 4 - Confronto delle serie di temperature negli anni 1967-1977. Sopra: *scatter plot* delle tre serie, prese a coppie. Sotto: deviazioni delle differenze fra i valori della serie in funzione dei loro valori medi. Le linee continue identificano il perfetto accordo sopra e l'assenza di dipendenza sotto. Le linee tratteggiate individuano i *best fit* delle serie. OBCOM è indicato come OSSERV.

Il confronto diretto tra la serie Nicelli e la serie Cavanis mostra che la serie di temperatura nella seconda stazione – forse a causa della posizione della stazione dentro la città, al contrario delle altre due che si trovano in zone aperte – è in media più alta di un grado, rispetto alla prima.

Se si ipotizza che tale differenza fra le temperature delle due serie Nicelli e Cavanis, abbastanza costante nei due periodi, corrisponda ad una reale diversa temperatura media nelle due zone, peraltro confermata dall'esperienza degli abitanti che nella stagione calda si recano al Lido per trarre giovamento dal caldo afoso della città, allora i due confronti svolti tra OBCOM-Nicelli e OBCOM-Cavanis sembrano essere compatibili e suggerire la possibilità che OBCOM osservasse, nel primo periodo, una temperatura più alta del normale, e che tale differenza sia poi scomparsa tra il primo e il secondo periodo. La discussione sul confronto delle tre serie a nostro parere contribuisce a spiegare il *trend* negativo per la temperatura osservata ad OBCOM, dato che le temperature registrate nel primo periodo risultano in media più alte che al Nicelli, mentre tale differenza si annulla nel secondo periodo, e d'altra parte il confronto della serie Nicelli con una terza serie indipendente (Cavanis) mostra un offset costante tra le due serie da un periodo all'altro.

I *trend* sono mostrati in figura A-20, mentre i dati sono riportati in tabella 8.

4.4 Umidità relativa

L'aggregazione per decenni mette in evidenza una distribuzione diversa per il decennio 1950-1959 (figura A-21, secondo pannello dall'alto). L'istogramma infatti non è arrotondato intorno alla moda, che si trova invece a coincidere con il valore massimo (100%). Questo risultato potrebbe attribuirsi tanto a un malfunzionamento degli strumenti quanto ad una decade contraddistinta da particolari condizioni meteorologiche. Un'analisi più approfondita mostra che il passaggio della moda da valori intermedi al valore massimo avviene in più anni e si conclude nel 1946, ed il passaggio opposto è parimenti graduale, concludendosi nel 1956. La gradualità dei due passaggi sembra quindi indicare più una specifica caratteristica meteorologica della decade 1946-1956 che un problema strumentale.

Tabella 9 - umidità - riepilogo dei *trend* - valori in %

	massime	medie	minime	max-min
1940	91.12	77.12	59.25	+31.87
2002	92.46	81.36	65.45	+27.01
1940-2002	+1.34	+4.25	+6.20	
annuo	+0.02	+0.07	+0.10	

Gli andamenti stagionali mostrano complessivamente *trend* positivi, e quindi opposti a quelli del vento (figura A-22).

Le medie mensili aumentano complessivamente di circa 4 punti percentuali dal 1940 al 2002 (da 77.12 a 81.36%). Le minime aumentano con maggior velocità delle massime, cosicché l'intervallo di variabilità tra le medie degli estremali si riduce nei 63 anni dal 31.87% al 27.01%.

Il comportamento dei *trend* di vento e umidità relativa mostra delle analogie fra le due variabili, dal momento che l'aumento di quest'ultima può essere legato alla diminuzione dell'intensità media del vento: la diminuzione della componente orizzontale del vento allunga infatti i tempi di residenza dell'aria umida in uno stesso luogo, influenzando positivamente sulla percentuale di umidità relativa. Questo trova riscontro sia alla più grande scala disponibile – i *trend* lineari sui 63 anni –, che nell'analisi multiscale condotta nella sezione 5 alla scala di 40 anni (correlazione -0.70), mentre non sembra incoraggiare la validità di tale ipotesi alle scale minori.

4.5 Precipitazione

Gli istogrammi delle distribuzioni di precipitazione media aggregata su base decennale, visibili in figura A-23, non mostrano variazioni significative da decade a decade, a parte lo spostamento della moda dalla prima classe (0 mm) alla seconda (1 mm) negli anni 1990-2002.

Gli andamenti stagionali (figura A-24) mostrano *trend* concordi al vento: negativi in tutte le stagioni. Le medie orarie complessive, calcolate su base mensile, passano da 0.11 mm a 0.10 mm in 63 anni, dando luogo ad una variazione percentuale pari a -10. La riduzione dei fenomeni intensi (medie mensili delle massime giornaliere) risulta ancor più importante complessivamente, anche se per quanto concerne le estati (terzo pannello dall'alto di figura A-24) il *trend* è solo debolmente negativo.

Tabella 10 - precipitazione - riepilogo dei *trend* - valori in mm/h

	massime	medie
1940	1.09	0.11
2002	0.88	0.10
1940-2002	-0.21	-0.01
annuo	-0.00	-0.00

4.6 Insolazione

Gli istogrammi con aggregazione decennale dei valori di insolazione, riportati in figura A-25, mostrano una più uniforme distribuzione, nelle ultime due decadi (1980-1989 e 1990-2002), rispetto a quelle precedenti. Questo può essere dovuto tanto ad un più qualificato uso degli strumenti quanto ad un miglioramento degli stessi. Il totale degli eventi di insolazione per decennio è andato diminuendo, tornando a essere paragonabile a quello del primo decennio solo nell'ultimo.

Gli andamenti stagionali (figura A-26) hanno *trend* concordi al vento: negativi in tutte le stagioni. Tuttavia i grafici delle medie stagionali, come pure quello delle medie mensili, lasciano ipotizzare una inversione del *trend* negli ultimi 20 anni circa, facendo cadere il minimo della insolazione intorno al passaggio dagli anni '70 agli anni '80.

Tabella 11 - insolazione - riepilogo dei *trend* - valori in ore di eliofania

	massime	medie
1940	0.76	0.25
2002	0.71	0.24
1940-2002	-0.05	-0.01
annuo	-0.00	-0.00

5 *Analisi multiscala*

5.1 *Introduzione*

Accanto ai sei parametri meteorologici registrati dall'OBCOM, l'ICPSM dispone di diversi decenni di valori orari di livello di marea alla stazione di osservazione di Punta Salute a Venezia. È sembrato quindi opportuno confrontare fra loro tutti i parametri a disposizione, tanto quelli raccolti presso OBCOM quanto il livello di marea in possesso di ICPSM, operazione che ha consentito infatti di mettere in evidenza strette correlazioni reciproche tra i sette parametri del dataset così composto.

Per svolgere le analisi è stato usato un metodo multiscala basato sulla *Continuous Wavelet Transform*, per altre applicazioni della quale può essere utile vedere i lavori di Zecchetto e De Biasio [2000, 2001, 2002a,b].

5.2 *Le wavelets*

È noto che l'analisi di *Fourier*, pur essendo importantissima nello studio di serie temporali, rivelandone la composizione in termini di frequenze, non fornisce indicazioni sulla localizzazione temporale degli eventi che le compongono.

Un ulteriore limite della trasformata di *Fourier* è che lo spettro di eventuali segnali non periodici non può essere determinato in frequenza, poiché è necessaria l'interferenza di infiniti modi oscillatori per dare origine all'evento ed annullare il segnale all'infuori della finestra temporale in cui si presenta. L'analisi spettrale è quindi inadatta alla caratterizzazione di eventi transitori.

Per aggirare questi problemi viene a volte adottata una tecnica, la *Windowed Fourier Transform* [Kaiser, 1994], che analizza il segnale in una serie di finestre temporali successive, prese dalla serie stessa. Il metodo pone rimedio al fatto che la descrizione per frequenze avviene utilizzando onde monocromatiche che non possiedono un supporto limitato, né convergono ad un limite finito per grandi valori dell'argomento. Nonostante il metodo parta da buoni presupposti, esso risente di alcune debolezze legate al fatto che la finestra scelta ha una determinata e fissa larghezza temporale Δt ; eventi di durata $\ll \Delta t$ sono mal localizzati, mentre eventi

di durata $> \Delta t$ non subiscono un trattamento armonico consistente, in quanto all'interno della finestra vengono visti come semplici *trend*.

Una via alternativa per l'analisi di segnali non periodici è fornita dalla trasformata *wavelet*, che sostituisce al concetto di frequenza, legato allo sviluppo di funzioni periodiche, quello più generico di scala, e che fornisce la possibilità di evidenziare in modo preciso eventi transitori, intermittenti e non periodici. Ove il segnale è di tipo periodico, dall'analisi *wavelet* si possono facilmente recuperare i risultati spettrali classici, attraverso dei legami matematici tra le due rappresentazioni, mentre dove il segnale non offre periodicità dominanti, l'analisi condotta tramite la trasformata *wavelet* fornisce informazioni importanti sulla scala dei fenomeni coinvolti e sulla loro localizzazione all'interno della serie.

La CWT è in generale molto sensibile al tipo di *wavelet* usata: fra le funzioni che possiedono le caratteristiche richieste, particolare importanza rivestono quelle con determinata simmetria rispetto all'asse y : le funzioni antisimmetriche sono particolarmente sensibili ai forti gradienti del segnale, e sono quindi indicate per evidenziarne i contorni, quelle simmetriche sono invece più adatte a rivelarne gli estremi relativi [Hagelberg e Gamage, 1994].

Per l'analisi riportata in questa sezione è stata usata la *wavelet* detta *Mexican Hat*, riportata in figura A-27. La durata caratteristica degli eventi rivelati dalla *wavelet Mexican Hat*, per esempio, alla scala s , è $L \approx 2 s$. A questo proposito è bene segnalare la differenza tra *Lunghezza Caratteristica* e *Lunghezza d'Onda Caratteristica*. Non sempre ad una *Lunghezza Caratteristica* corrisponde una *Lunghezza d'Onda Caratteristica*, in quanto la *Lunghezza d'Onda* è un parametro che caratterizza i fenomeni periodici, e non è quindi applicabile in presenza di fenomeni isolati o intermittenti. Inoltre, nei casi in cui l'analogia tra *Lunghezza Caratteristica* e *Lunghezza d'Onda Caratteristica* sia applicabile, bisogna tener conto che la prima è in genere metà della seconda, in quanto ciascuna metà di un ciclo armonico completo di *Lunghezza d'Onda Caratteristica* λ viene vista dall'analisi CWT come un fenomeno isolato di *Lunghezza Caratteristica* pari a $\lambda/2$. Nel seguito si troveranno, per tutte le variabili studiate, marcate componenti *wavelet* di lunghezza caratteristica pari a 0.5 anni, dovute alla naturale periodicità annuale ($\lambda = 1$ year).

5.3 *Analisi wavelet dei parametri*

La CWT permette l'analisi delle caratteristiche globali e locali di serie temporali. In questo contesto, con il termine «caratteristiche globali» intendiamo le caratteristiche di una serie temporale che siano deducibili dall'analisi di scala indipendentemente da una particolare posizione lungo la serie temporale, come per esempio la norma e l'estensione, in contrapposizione alle «caratteristiche locali» che definiscono le relazioni tra le variazioni di un segnale e le posizioni in cui tali variazioni si verificano.

L'analisi svolta con l'aiuto della CWT ha messo in evidenza alcune variazioni dell'intensità dei fenomeni studiati a scale temporali che vanno da uno a trent'anni, completando l'esame svolto sui *trend* lineari del periodo 1940-2002 della sezione 4. Inoltre è stato possibile individuare anche le analogie del comportamento per alcuni dei parametri. Va qui detto che l'analisi *wavelet* a scale temporali superiori a metà dell'intervallo a disposizione perde di significato via via che la scala di analisi si avvicina alla lunghezza dell'intervallo stesso. Tuttavia un confronto, a scale maggiori di 40-50 anni, è ancora possibile, e l'interpretazione quantitativa che se ne può dare, pur se accompagnata da livelli di significatività decrescenti al crescere della scala, non è per questo meno interessante.

Inoltre tutte le serie temporali, prima di essere analizzate con la tecnica *wavelet*, sono state diminuite dei *trend* lineari globali, trattati a parte nella sezione 4, che avrebbero reso meno evidente l'interpretazione delle analisi sul piano qualitativo, e che possono essere comunque analizzati con strumenti meno sofisticati. È bene ribadire, prima di affrontare la lettura dei paragrafi seguenti, che i picchi degli spettri studiati tramite la trasformata *wavelet* non sempre individuano caratteristiche periodiche del segnale. Inoltre, se un picco spettrale è generato dalla presenza di una componente periodica nel segnale, questa ha comunque lunghezza d'onda pari a circa il doppio della scala temporale a cui il picco si manifesta.

5.3.1 *Livello di marea*

Nella figura A-28 sono visibili tre pannelli relativi alla analisi della serie temporale dei valori orari del livello di marea registrato a Punta Salute dal 1940 al 2002. Il primo pannello dall'alto mostra la serie temporale originale (in grigio) e la serie temporale filtrata per l'analisi (linea punteggiata nera e marker quadrati). Il filtraggio è un'operazione

necessaria per sfruttare la maggior parte possibile della serie temporale, e consiste nella eliminazione della media e del *trend* lineare dal segnale. Ciò consente di minimizzare la risposta del segnale trasformato alle grandi scale, e di mettere in evidenza il comportamento del parametro fisico a piccola e media scala, che è l'obbiettivo di questa sezione.

Nel pannello centrale è riportata, in toni di grigio, la matrice dei coefficienti della CWT: in ascissa la posizione temporale, in ordinata la scala a cui il segnale è stato sondato. Le scale vanno da un mese a più di 70 anni. Il valore espresso in toni di grigio quantifica la risposta del segnale alla data scala temporale e al dato istante, lungo l'asse del tempo. I toni scuri indicano valori negativi dei coefficienti, i toni chiari indicano valori positivi.

Il terzo e ultimo pannello mostra il grafico dello spettro di potenza, ottenuto integrando rispetto al tempo i quadrati degli elementi della matrice dei coefficienti *wavelet*. Lo spettro di potenza ottenuto, che risulta essere un tempo al quadrato, moltiplicato per il quadrato dell'unità di misura del parametro trasformato, è del tutto confrontabile con gli spettri di potenza dati dalla trasformata di *Fourier*, opportunamente modulati.

Lo spettro di potenza del livello di marea rivela contributi a varie scale, comuni in generale anche ad altri parametri.

Vi è un primo e facilmente identificabile contributo, comune agli spettri di tutti i parametri, alla scala semiannuale. Questo corrisponde al ciclo annuale cui tutti i parametri obbediscono.

Nello spettro è pure evidente un leggero picco alla scala di 9 anni circa, difficilmente distinguibile da un picco molto più marcato che ha il massimo a 27 anni.

5.3.2 *Pressione atmosferica*

La figura A-29 mostra l'analisi relativa alla serie temporale della pressione atmosferica, ed è strutturata come la precedente: nel pannello superiore il segnale di partenza e quello filtrato per l'analisi, nel pannello centrale il valore assoluto dei coefficienti *wavelet*, nel terzo infine lo spettro di potenza.

L'analisi rivela il contributo semiannuale, ben visibile alle basse scale, e un forte contributo centrato su 17 anni. Sono inoltre visibili due deboli contributi a 4 e 8 anni, sebbene la loro presenza non possa essere facilmente isolata per via della componente alla scala di 17 anni, che domina questa regione dello spettro.

5.3.3 *Precipitazione*

La figura A-30 mostra l'analisi relativa alla serie temporale della precipitazione. In questo caso il contributo alle scale più grandi è più debole rispetto a quello a scale piccole, ma è comunque ben individuabile un picco centrato a 22.3 anni, un chiaro segnale a 10.2, un segnale anche più chiaro a 3 anni e il contributo semiannuale, dominante, a 0.5 y.

5.3.4 *Insolazione*

Per l'insolazione (figura A-31) l'analisi fornisce alcuni valori simili ai precedenti: il segnale semiannuale e un forte picco centrato a 28.5 anni. Rivela inoltre un debole picco a 1.9 anni, non evidenziato da alcuno degli altri parametri.

5.3.5 *Velocità orizzontale del vento*

La figura A-32 mostra l'analisi relativa alla serie temporale della componente orizzontale della velocità del vento, ed è strutturata come le precedenti: nel pannello superiore il segnale di partenza e quello filtrato per l'analisi, nel pannello centrale il valore assoluto dei coefficienti *wavelet*, nel terzo infine lo spettro di potenza.

L'analisi rivela il contributo semiannuale come tutti gli altri parametri, e due alti picchi a 11.2 e 27 anni, molto ben isolati.

Il segnale sembra essere tuttavia in controfase, alle grandi scale, rispetto a quelli dei parametri precedenti, che invece sembrano essere tra loro in fase.

Questa affermazione sarà verificata più avanti, nella sezione 5.5, dove sono trattate le correlazioni tra gli spettri *wavelet*, che nel caso del vento e dei precedenti quattro parametri (livello di marea, pressione atmosferica, precipitazione e insolazione) risultano compresi tra -0,45 e -0,52.

5.3.6 *Temperatura dell'aria*

L'analisi *wavelet* della temperatura dell'aria misurata all'OBCOM è riportata in figura A-33. Lo spettro di potenza rivela la presenza di un picco dominante alla scala semiannuale, un debole segnale a 6.8 anni, ed una segnatura evidente (ma non preminente come per il parametro precedente) a 28.5 anni.

Il segnale sembra essere in fase con l'insolazione, almeno per quanto concerne le grandi scale.

5.3.7 *Umidità relativa*

La figura A-34 riporta infine l'analisi *wavelet* dell'umidità relativa. Nello spettro di potenza si riconosce con chiarezza il contributo dominante di periodicità pari a 15.1 anni.

Non si individuano altri contributi rilevanti, a parte un debole segnale alla scala di circa 4 anni, e il contributo semiannuale comune a tutti.

5.4 *Spettri di potenza wavelet*

L'analisi degli spettri di potenza *wavelet* rivela la presenza di alcune scale caratteristiche riportate in tabella 12. Nel caso della scala semiannuale il picco dello spettro è comune a tutti i parametri, ed è quindi facilmente identificato con la componente periodica annuale rivelata da tutti i parametri meteorologici sensibili.

I picchi alle scale successive sono condivisi solo da alcuni dei parametri. Il picco a 27-28 anni circa è presente nel caso di livello di marea, insolazione, velocità del vento e temperatura dell'aria. Le scale identificate sono raggruppabili a coppie di 27.0 anni (livello e vento), e 28.5 anni (insolazione e temperatura), e suggeriscono l'ipotesi che si tratti di scale non necessariamente correlate fra loro. Una periodicità assimilabile a questi valori numerici è il ciclo Exeligmos (54 anni circa), pari a tre cicli Saros⁵.

Vicini alla periodicità di un ciclo Saros sono i picchi alle scale di 9.0 e 8.0 anni, mostrati dal livello di marea e pressione atmosferica, a loro volta strettamente correlati su quasi tutta l'estensione della scala di analisi.

⁵ Un ciclo Saros ha un periodo di 6,585.3 giorni (18 anni 11 giorni e 8 ore). È la periodicità con cui il ciclo delle eclissi si ripresenta con geometria simile, ed è condiviso anche del ciclo delle eclissi solari. Dopo un periodo pari ad un ciclo Saros, successivamente ad una eclissi, il Sole, la Terra e la Luna ritornano approssimativamente nelle stesse posizioni relative, e determinano il verificarsi di una identica eclissi.

Tabella 12 - massimi degli spettri di potenza *wavelet*

Livello marea	0.5	9.0		27.0
pressione atmosferica	0.5	4.8, 8.0	17.0	
precipitazione	0.5	3.0	10.2	22.3
insolazione	0.5	1.9		28.5
velocità vento	0.5		11.2	27.0
temperatura dell'aria	0.5	6.8		28.5
umidità relativa	0.5		15.1	

5.5 Correlazione degli spettri *wavelet*

È possibile paragonare numericamente le matrici dei coefficienti *wavelet*. La procedura è la seguente: indicata con $r_{x(s)}$ la serie temporale dei coefficienti *wavelet* del parametro x alla scala s , che nel caso presente si identificano con la riga della matrice dei coefficienti del parametro x individuata dalla scala s , il coefficiente di correlazione delle due righe delle matrici dei coefficienti *wavelet* alla medesima scala s , è indicato con $\rho_{r_{x(s)}, r_{y(s)}}$:

$$\rho_{r_{x(s)}, r_{y(s)}} = \frac{\text{COV}(r_{x(s)}, r_{y(s)})}{\sigma_{r_{x(s)}} \sigma_{r_{y(s)}}}$$

Al variare del parametro di scala s si ottiene $\rho(s) = \rho_{r_{x(s)}, r_{y(s)}}$, coefficiente di correlazione in funzione della scala.

La figura 5 presenta il confronto, alle varie scale, dei sette parametri, combinati in coppie senza ripetizioni. Ogni pannello illustra tre diverse combinazioni di coppie di parametri.

Un ulteriore passo nell'analisi delle correlazioni tra i segnali è la determinazione di un indice di correlazione che tenga conto di tutte le scale. Tale indice, che chiameremo globale, è ottenuto mediando $\rho(s)$ su s .

Ne risulta un coefficiente, compreso fra -1 e 1, con proprietà omogenee al coefficiente di correlazione.

La tabella 13 riporta gli indici di correlazione globale.

Tabella 13 - indici di correlazione globale

livello marea	temperatura	-0.60
precipitazione	temperatura	-0.52
pressione	velocità vento	-0.52
livello marea	velocità vento	-0.51
insolazione	velocità vento	-0.49
pressione	temperatura	-0.42
pressione	umidità relativa	-0.16
precipitazione	velocità vento	-0.45
velocità vento	umidità relativa	-0.13
livello marea	umidità relativa	-0.10
livello marea	insolazione	0.00
precipitazione	insolazione	0.07
pressione	insolazione	0.09
temperatura	umidità relativa	0.14
precipitazione	umidità relativa	0.14
velocità vento	temperatura	0.16
insolazione	umidità relativa	0.29
pressione	precipitazione	0.46
insolazione	temperatura	0.49
livello marea	precipitazione	0.59
livello marea	pressione	0.85

In figura 5 i pannelli sono ordinati dall'alto in basso, per valori crescenti dell'indice di correlazione globale, dal più basso al più alto, come riportato in tabella 13. Osservando attentamente la figura, nel pannello inferiore è ben visibile la fortissima correlazione tra livello di marea e pressione atmosferica. La correlazione diventa importante (> 0.5) in corrispondenza della scala 9 anni, per poi portarsi rapidamente verso il valore massimo, prossimo a 1.

È degno di nota il coefficiente di correlazione tra temperatura ed insolazione (primo pannello dal basso), che alle piccole scale (4 anni) risulta essere, fra tutti, il più elevato, con un valore massimo pari a circa 0.75.

Insolazione e umidità relativa risultano ugualmente avere un picco di correlazione a circa 40 anni, ma tale scala è talmente elevata da non poter essere tenuta in grande considerazione, perchè l'intervallo del confronto delle serie storiche è appena il 50% più esteso. Da segnalare comunque an-

Confronto coefficiente di correlazione

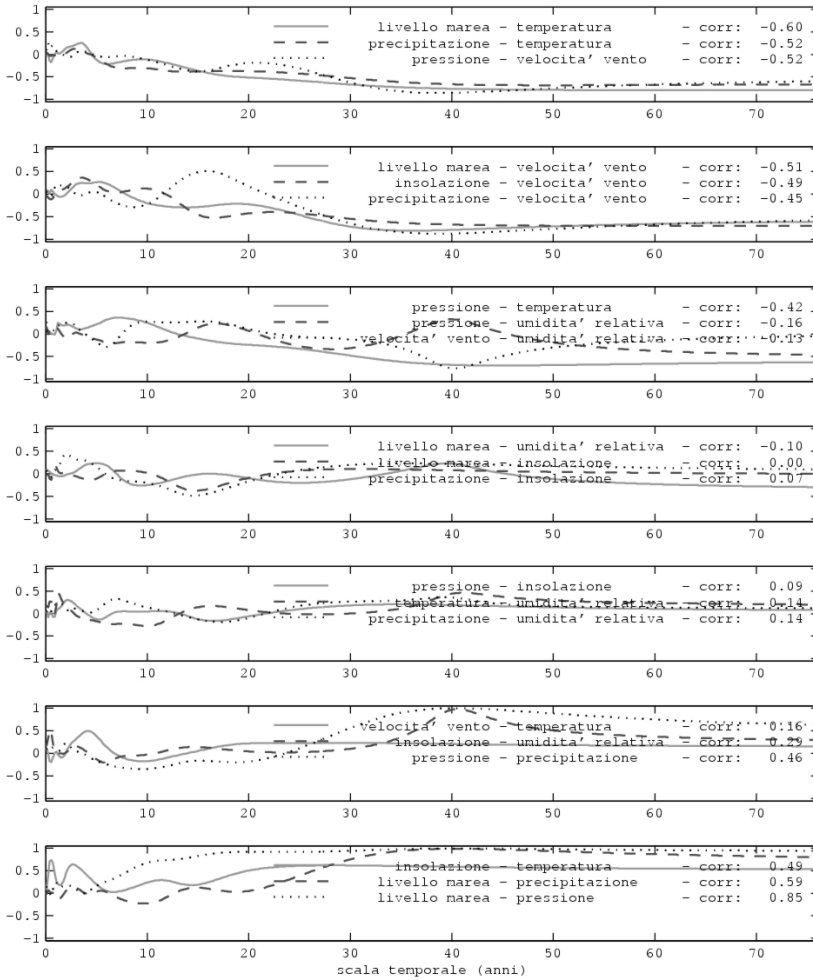


Figura 5 - *Plot* dei coefficienti di correlazione di scala per i sette parametri presi a coppie. Ogni pannello mostra tre *plot*, per un totale di 21 *plot*. I pannelli sono ordinati, dall'alto in basso, per valori crescenti dell'indice di correlazione globale.

che la correlazione negativa fra umidità relativa e velocità del vento, pari a circa -0.70 alla scala di 40 anni. Come nel caso precedente anche in questo va segnalata la bassa attendibilità del risultato, data l'ampiezza della scala.

In generale l'umidità relativa sembra poco correlata con ciascuno dei parametri analizzati, a parte la correlazione globale mostrata con l'insolazione, che anche se di bassa entità (0.29), non deve lasciar supporre che la correlazione alle singole scale sia in generale bassa, avendosi ad esempio un coefficiente pari a circa 0.50 alla scala di 4-5 anni.

È da notare che, globalmente, la correlazione tra livello di marea e pressione atmosferica è molto alta (0.85), come pure tra livello e precipitazione (0.59). La precipitazione dà luogo ad un'alta correlazione anche con la pressione, confermando la stretta relazione tra questi tre parametri.

Ciascuno di questi tre ultimi parametri dà luogo a correlazioni alte, ma di segno opposto, con temperatura e velocità del vento (≈ -0.50). La parte centrale della tabella riporta correlazioni che non sono, da un punto di vista globale, significative.

L'analisi condotta sulle correlazioni globali tra i vari parametri permette di suggerire una suddivisione in tre gruppi principali: il primo è formato da livello di marea, pressione, precipitazione e velocità del vento, anche se le variazioni di quest'ultimo sono di segno opposto rispetto a quelle degli altri tre. Un secondo gruppo, correlato in modo leggermente inferiore, è rappresentato da insolazione e temperatura dell'aria.

Infine umidità relativa e insolazione, che mostrano una debole ma significativa correlazione globale (0.29).

6 Conclusioni

Sono stati analizzati sessantatré anni di dati meteorologici registrati all'Osservatorio Bioclimatico dell'Ospedale al Mare del Lido di Venezia. L'analisi dei parametri meteorologici (pressione, direzione e intensità della componente orizzontale del vento, temperatura, umidità relativa, precipitazione e insolazione), svolta mediante analisi delle frequenze, *trend* lineari su tutto il periodo e analisi multiscala, ha permesso di mettere in evidenza alcune specificità del clima locale, che in due casi hanno richiesto il confronto con dati di altre stazioni vicine per essere avvalorate o smentite.

6.1 *Analisi delle distribuzioni dei dati*

Per quanto riguarda l'analisi delle frequenze vengono evidenziate le caratteristiche di brezza dei venti nel periodo caldo (aprile-agosto) e freddo (settembre-marzo). La brezza è ben marcata durante il periodo caldo, che è anche quello in cui i venti forti sono meno frequenti.

In generale la distribuzione della provenienza dei venti sembra risentire di effetti di disturbo nel 3° e 4° quadrante, che appaiono popolati con eccessiva omogeneità rispetto alle distribuzioni ottenute da alcune stazioni vicine, soprattutto per quanto riguarda i venti più deboli (dalla calma a 18 km/h). Più marcata appare invece la segnatura nel 1° e nel 2° quadrante.

L'andamento giornaliero medio della pressione atmosferica mostra con chiarezza la presenza di un massimo diurno e uno notturno, con alcune specificità stagionali, come per l'inverno, durante il quale si presenta un terzo massimo alle 18:00 GMT.

6.2 *Analisi delle tendenze*

L'analisi dei *trend* rivela alcuni risultati di difficile interpretazione. Il confronto con serie storiche di stazioni vicine della serie temporale di temperatura dell'aria – che in una prima analisi sembrava seguire un *trend* negativo, in completa controtendenza con quanto viene osservato da studi climatologici a scala globale – lascia aperta l'ipotesi che nella prima metà del periodo analizzato la temperatura rilevata fosse leggermente più alta, riallineandosi alle altre nella seconda metà di esso, e dando così l'impressione di un *trend* negativo.

La diminuzione dell'intensità media del vento in superficie sembra invece essere inequivocabile, con una diminuzione di più di 2 km/h nell'arco dei 63 anni, accompagnata da un evidente e graduale abbassamento dei venti da NE, ENE, E e ESE, ed un contemporaneo innalzamento dei venti di SE e NNE. Anche l'escursione media, intesa come differenza tra media delle massime e media delle minime, tende a ridursi (-4.5 km/h).

La pressione atmosferica mostra una leggera tendenza a salire (+0,5 hPa nei 63 anni) insieme alla variabilità del *range* fra media delle massime e media delle minime (+0,27 hPa).

Il *trend* dell'umidità relativa aumenta di 4 punti percentuali, ma il *trend* delle massime si avvicina a quello delle minime di 4,5 punti percentuali.

Precipitazione e insolazione mantengono *trend* neutri per le medie e leggermente negativi per le massime.

6.3 *Analisi multiscala*

Nell'analisi multiscala – che integra lo studio dei *trend* lineari con l'esame dei parametri alle scale intermedie – vengono quantificate le correlazioni tra le singole coppie di parametri in riferimento a diverse scale di analisi, dal mese a 70 anni. La significatività dei risultati ottenuti, pur decrescendo col crescere della scala, a partire dai 30 anni, è comunque indicativa di analogie nel comportamento alle alte scale dei parametri studiati, e per questo motivo, oltre che per mettere in evidenza la corretta chiusura degli spettri al limite superiore delle scale, abbiamo preferito estendere quest'ultimo alla lunghezza effettiva delle serie temporali.

Sono stati messi in evidenza livelli notevoli di correlazione a tutte le scale.

In sintesi si trova:

- livello marea-pressione:** correlazione positiva;
- livello marea-vento:** correlazione negativa;
- pressione-vento:** correlazione negativa;
- livello marea-temperatura:** correlazione negativa;
- precipitazione-temperatura:** correlazione negativa.

Per tutti i parametri è riscontrata la ciclicità annuale, mentre per livello di marea e pressione atmosferica viene evidenziata una debole componente alle scale di 8-9 anni, eventualmente corrispondente a ciclicità di periodo 16-18 anni. Livello di marea, precipitazione, insolazione, vento e temperatura mostrano picchi anche a scale di 22-29 anni, circa triple delle componenti a 8-9 anni. I due diversi contributi potrebbero essere messi in relazione ai cicli Saros e Exeligmos, ma una più accurata indagine, qui non condotta, dovrebbe adottare anche tecniche spettrali classiche. È anche possibile che tali componenti, presenti in più di un parametro, siano la risposta complessiva del sistema ad altre forzanti, non necessariamente periodiche.

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato reso possibile grazie alla disponibilità ed ai finanziamenti del Comune di Venezia, cui vanno i nostri ringraziamenti.

Una parte consistente delle idee e dei metodi di analisi utilizzati in questo lavoro sono eredità di anni di lavoro svolto all'interno del Consiglio Nazionale delle Ricerche, del Centro Previsioni e Segnalazioni Maree (ora Istituzione) e dell'Aeronautica Militare Italiana, a fianco di stimati ricercatori e studiosi. Fra gli altri, la nostra particolare riconoscenza va a Stefano Zecchetto e Alberto Tomasin. Infine un ringraziamento a tutti i colleghi di Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree, che pazientemente hanno condotto la digitalizzazione del dataset sul quale è stato svolto lo studio.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Brohan P. - Kennedy J. - Haris I. - Tett S. - Jones P., 2006. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: a new dataset from 1850. *J. Geophysical Research*, 111.
- Hagelberg C. - Gamage N. , 1994. Applications of structure preserving *wavelet* decompositions to intermittent turbulence: a case study. In *Wavelet in Geophysics*, pp. 45-80. Academic Press.
- Kaiser G. , 1994. A friendly guide to wavelet. Birkhäuser.
- Pirazzoli P. - Tomasin A. , 1999. RECENT ABATEMENT OF EASTERLY WINDS IN THE NORTHERN ADRIATIC. *Int. J. Climatol.*, 19, 1205-1219.
- Weber R. , 1997. Estimators for the Standard Deviation of Horizontal Wind Direction. *J. Appl. Met.*, 36, 1403-1415.
- Zecchetto S. - De Biasio F. , 2000. Techniques to extract the structure of the marine atmospheric boundary layer from SAR images. *SPIE Proceedings Series*, 4173, 153-160.
- Zecchetto S. - De Biasio F. , 2001. Wavelet analysis applied to SAR images to detect atmospheric structures. *Il Nuovo Cimento*, 24, 81-88.
- Zecchetto S. - De Biasio F. , 2002a. On shape, orientation and structure of atmospheric cells inside wind rolls in SAR images. *IEEE Trans. of Geoscience and Remote Sensing*, 40(10), 2257-2262.
- Zecchetto S. - De Biasio F. , 2002b. Wind field retrieval from SAR images using the Continuous Wavelet Transform. In *Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Toronto (Canada).

RIASSUNTO

Una prima accurata analisi condotta dall'Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree su alcuni parametri meteorologici, registrati ininterrottamente dal 1940 al 2002 presso l'Osservatorio dell'Ospedale al Mare, ha evidenziato aspetti inattesi del contesto climatologico locale: rispetto al trend globale alcuni parametri risultano in buon accordo, mentre altri se ne discostano. Il lungo periodo esaminato rivela per la prima volta interessanti periodicità che arricchiscono il paradigma interpretativo del quadro climatologico.

ABSTRACT

A first accurate analysis made by the Istituzione Centro Previsioni e Segnalazioni Maree on some meteorological parameters, registered uninterruptedly from 1940 to 2002 at the Osservatorio dell'Ospedale al Mare, has shown some unexpected aspects of the local climate. Some parameters closely follow the global trend, while others move away from it. The long period examined for the first time shows interesting recurrences that enrich the interpretative paradigm of the climate picture.