

# Le “acque alte”

di Paolo Canestrelli

## Dalle alluvioni storiche alle alte maree eccezionali del '900

Il fenomeno dell'acqua alta a Venezia è di antica memoria. Numerose sono, infatti, le citazioni di storici e cronisti riportate fino ai nostri tempi. Vi sono documenti risalenti fin al Medioevo, che purtroppo non contengono riferimenti e dati precisi circa l'ampiezza e la frequenza del fenomeno. Tuttavia una certa dovizia di particolari, seppur a volte molto soggettivi, ci permette di impostare alcune ipotesi di raffronto con gli eventi di questo secolo.

Questo vale per molte citazioni come le seguenti:

- 589: “non in terra neque in aqua sumus viventes”. (Non viviamo né sull'acqua né sulla terra). È questo il più antico documento storico, riportato da Paolo Diacono nella sua “Historia Langobardorum” che ci tramanda il sentimento della popolazione veneta di quel tempo;
- 782: “C'era tanta abbondanza d'acqua che quasi tutte le isole furono sommerse”;
- 840: “Il mare attorno a Venezia aumentò talmente, che tutte le isole furono sommerse oltre misura”;
- 885: “L'acqua inondò tutta la città, penetrò nelle chiese e nelle case”;
- 23 settembre 1240: “L'acqua invase le strade più che ad altezza d'uomo”;
- 25 febbraio 1341: “L'acqua aumenta di due piedi e anche più”;
- 1386: “L'acqua sale di otto piedi più del solito”;
- 10 agosto 1410: “Acqua grande crescente per tutta la terra, che non fu mai veduto plui a questo tempo inondazione de aque. Perirono molte barche, e di quelli che venivano dalla fiera di Mestre e altri luoghi s'annegarono quasi mille persone. Caddero molti camini, il campanile di S. Fosca con rovina di molte case e quello del Corpus Domini con gran parte della chiesa”;
- 11 maggio 1428: “L'acqua salì di cinque piedi sopra la terra”;



Acqua alta in piazza San Marco, 1930 circa

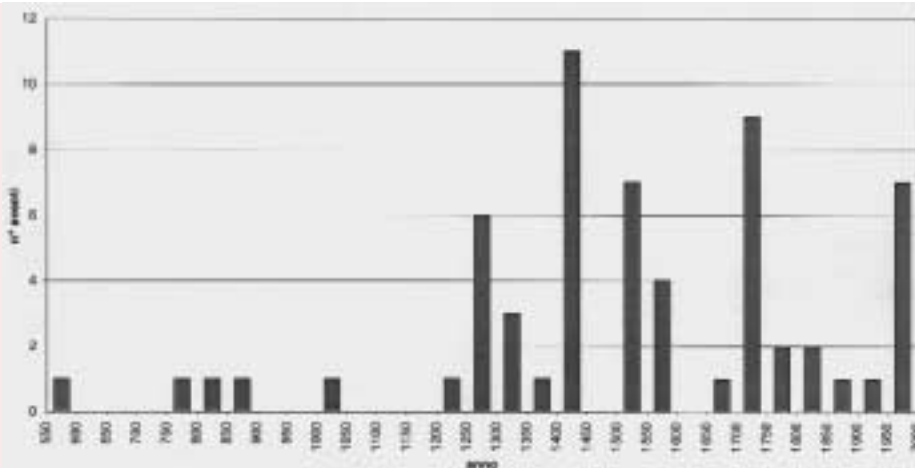


Figura 1: distribuzione alte maree eccezionali nella storia, fino al 1999.

- *2 maggio 1429*: “L’acqua per lo scirocco salì di cinque piedi”;
- *10 novembre 1442*: “L’acqua crebbe quattro passi sopra l’ordinarietà. Il danno recato alle merci fu di un milione di oro e quello causato agli edifici supera i centomila ducati. Furono nominati sei Savi per la laguna”;
- *1444*: “L’acqua causò gravissimi danni ai mercanti”;
- *1445*: “L’acqua salì causando grave danno agli abitanti”;
- *3 ottobre 1535*: “Si ebbe tanta acqua che i pozzi furono danneggiati”;
- *20 dicembre 1535*: “L’acqua salì, entrò nelle case e distrusse i pozzi”;
- *Gennaio 1536*: “L’acqua salì ad un’altezza così elevata che non se ne era mai vista di simile”;
- *21 novembre 1550*: “Il mare si alzò ad una altis-

sima altezza”;

- *2 novembre 1559*: “Per le strade acque alte un braccio”;
- *12 ottobre 1574*: “L’acqua sale più che nel 1550. Il Lido di Chioggia si rompe in cinque punti”;
- *1600*: “Le acque salirono di sei piedi”;
- *18-19 dicembre 1600*: “Le barche percorrevano piazza S. Marco e le strade”;
- *21 dicembre 1727*: “L’acqua arrivarono agli scalini dell’Altar maggiore di S. Antonino”;
- *5 dicembre 1839*: “Acqua alta fino ai primi gradini della porta del Seminario alle Zattere.”

La prima citazione con riferimento numerico si ha nel 1848: “L’acqua raggiunse i 140 cm”.

Con la seconda metà dell’800 il Genio Civile di Venezia inizia le registrazioni sistematiche e ancora a precisi riferimenti altimetrici. Troviamo pertanto documenti del 1867: “L’acqua arriva a 153 cm”.

Successivamente tutti gli eventi significativi sono riportati con precisione.

Da una attenta lettura dei documenti riportati fino ai nostri tempi è possibile distinguere eventi catastrofici, al pari o superiori a quello verificatosi il 4 novembre 1966, da eventi meno drammatici, seppur degni di cronaca. I primi possono essere quantificati in circa una decina di casi (compreso il 4 novembre 1966) per un arco di tempo di circa 1500 anni, cioè mediamente un evento ogni



Acqua alta in Piazza San Marco, 4 novembre 1966

150 anni, in discreto accordo, quindi, con quanto recentemente affermato dalla stampa scientifica, circa i tempi di ritorno dell'evento estremo di questo secolo. Riguardo ai fenomeni meno disastrosi è possibile ipotizzare che si tratti di inondazioni di altezza paragonabile all'attuale quota di +140 cm, in quanto essendo stati oggetto di attenzione da parte di storici e cronisti deve essersi trattato sicuramente di eventi eccezionali.



L'insieme delle situazioni sopra elencate, di altre non riportate, e di quelle registrate nel '900, viene proposto in Fig. 1, con raggruppamento cinquantennale. È possibile quindi fare alcune osservazioni. Le alte maree eccezionali hanno sempre accompagnato Venezia, fin dalle sue origini. Ad eccezione del periodo antecedente il 1250, caratterizzato da scarse registrazioni, la frequenza degli eventi si dimostra abbastanza regolare e comprende anche l'ultimo secolo trascorso. Non viene evidenziata alcuna tendenza all'aumento della frequenza se non per brevi e limitati periodi (1250-1300 con 6 eventi, 1400-1450 con 11 eventi, 1500-1550 con 7 eventi, 1700-1750 con 9 eventi e 1950-1999 con 7 eventi).

Le storiche inondazioni della laguna veneta risultano però, in alcuni casi, diverse dalle alte maree eccezionali di questo secolo. Un tempo, infatti, il pericolo era costituito prevalentemente dall'acqua dei fiumi che arrivava in laguna e non trovava sboc-

co in mare, o comunque da una concomitanza di acqua di terra e acqua di mare, con la conseguente esaltazione del fenomeno. A seguito dell'estromissione dei fiumi dalla laguna avvenuta nei secoli scorsi, il pericolo delle inondazioni derivava prevalentemente dalle maree.

**La marea: una perfetta ciclicità alterata soltanto da fattori meteorologici**

La ciclica oscillazione del livello del mare, presente in tutti gli oceani, costituisce il movimento mareale, o marea. Esso non è costante ma varia in funzione della posizione geografica, della forma geometrica del bacino e della profondità. Per restare "vicini a casa nostra" si ricorda che il Mar Mediterraneo ha una oscillazione di marea contenuta in ampiezza in un paio di decimetri, mentre il Mare Adriatico, a causa della posizione obliqua, esteso da nord ovest a sud est, e per la sua geometria allungata, lungo e

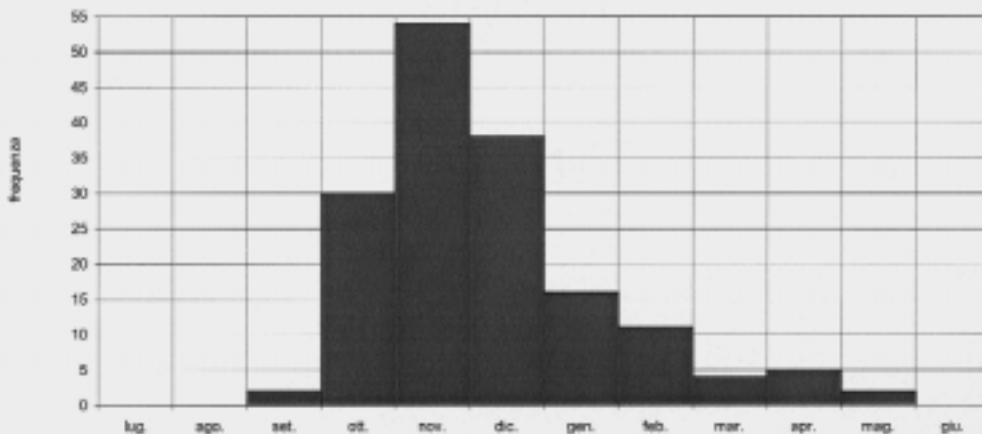
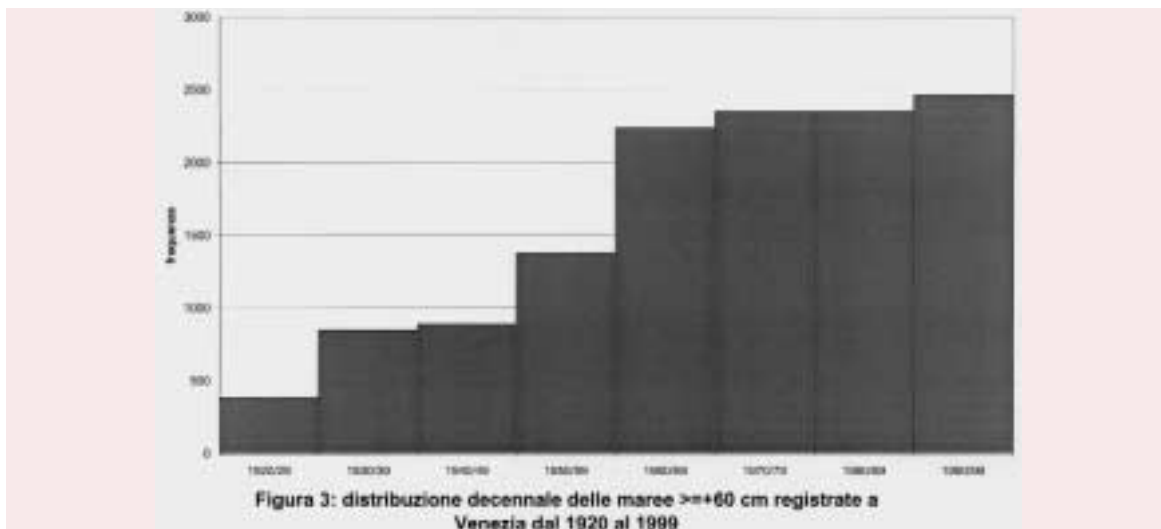
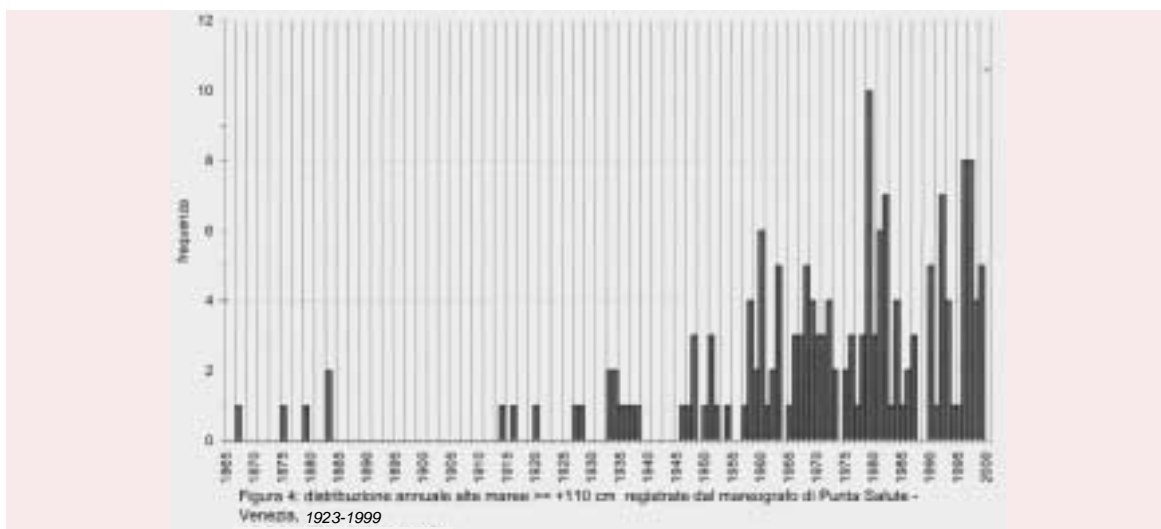


Figura 2: distribuzione mensile alte maree  $\geq +110$ cm, registrate a Venezia, durante il secolo '900.



stretto, chiuso all'estremo superiore e ristretto a quello inferiore, assai simile ad un canale chiuso, presenta un'ampiezza progressivamente amplificata verso la parte settentrionale. Da una escursione di circa 20 centimetri nel Canale di Otranto, si passa intorno ai 120 cm nel Golfo di Venezia e Trieste. Il valore massimo di questo fenomeno, di origine astronomica, si raggiunge in concomitanza con le fasi di plenilunio e novilunio, quando cioè la Luna si presenta in allineamento (congiunzione o opposizione) con il Sole ed è noto come marea sizigiale. A Venezia, il valore massimo registrato all'inizio del secolo era di circa 55 cm, mentre ora tocca valori di poco inferiori agli 80 cm a causa dell'aumento del livello del mare di circa 23 cm. Tuttavia questa altezza non costituisce un problema per la città, né dal punto di vista della viabilità pedonale, in quanto le aree allagate a questa quota rappresentano circa lo 0.5% della superficie urbana, né per quanto concerne la navigazione in quanto sotto i ponti rimane un franco sufficiente al passaggio delle imbarcazio-

ni veneziane. Se a questo fenomeno, comunemente noto come marea astronomica (o componente astronomica), si aggiungono eventi di carattere meteorologico, avviene una alterazione del livello (in più o in meno), tanto che l'andamento armonico regolare può essere completamente stravolto. Si parla in tal caso di "acqua alta" (per componente meteorologica positiva) e di "acqua bassa" (componente meteorologica negativa). Si possono registrare pertanto livelli superiori agli 80 cm (maree sostenute o medio alte) oppure superiori a +110 cm (maree molto sostenute) che interessano in questo caso oltre l'11% del territorio, oppure addirittura maree oltre +140 cm (alte maree eccezionali) che inonda poco più del 90% del centro storico e durante le quali viene attivato il piano comunale di intervento di protezione civile. Il livello di +110 cm, assai meno frequente all'inizio del secolo, costituiva la soglia inferiore per definire un'alta marea eccezionale, cosa oggi evidentemente



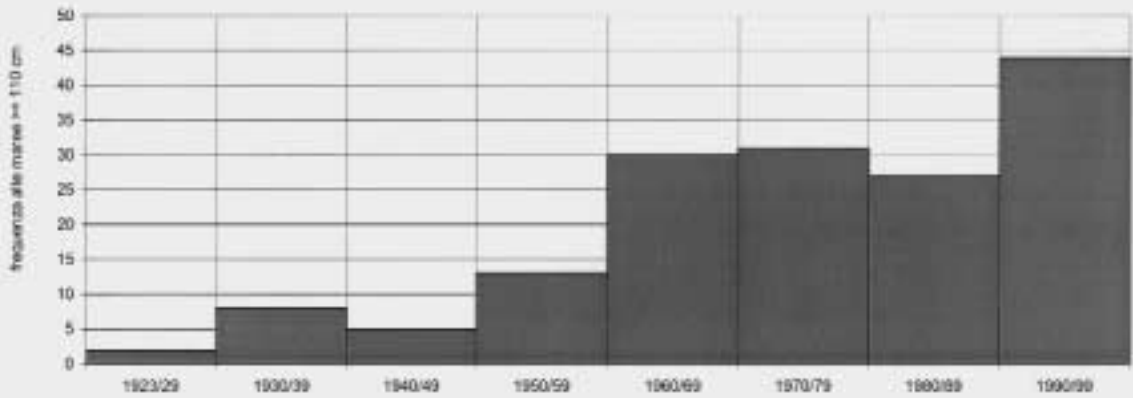


Figura 5: distribuzione decennale delle alte maree >+110 cm, registrate dal mareografo di Punta della Salute - Venezia, dal 1923 al 1999.

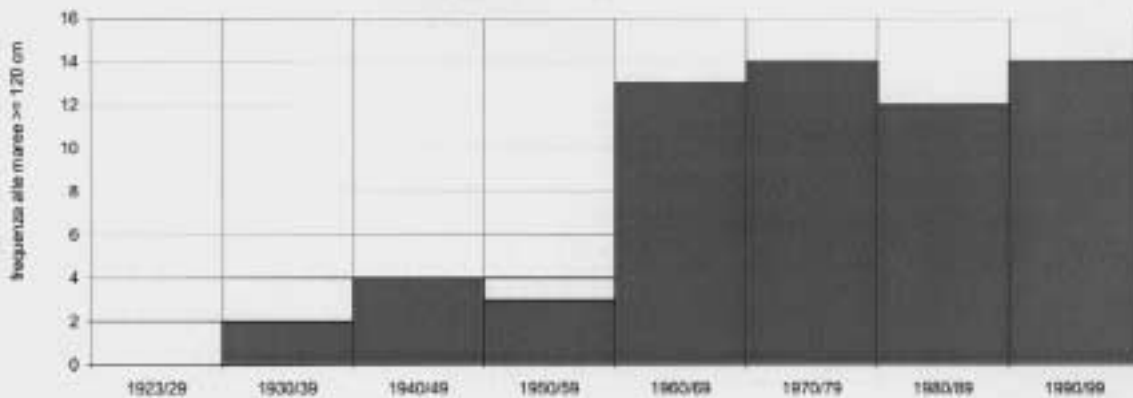


Figura 6: distribuzione decennale delle alte maree >+120cm registrate dal mareografo di Punta della Salute - Venezia, dal 1923 al 1999.

superata dalla più elevata frequenza di questo fenomeno (circa 4 volte l'anno). Tuttavia esso costituisce ancor oggi un riferimento importante per la città di Venezia, in quanto in previsione di tale quota viene attivato un sistema di segnalazione a mezzo sirene per avvisare i cittadini e vengono predisposti i percorsi per la viabilità pedonale alternativa su passerelle.

Per raggiungere livelli significativi è necessario che la componente meteorologica sia notevolmente elevata e in fase con la componente astronomica. Le situazioni meteorologiche che provocano un incremento della componente meteorologica della marea sono da tempo note. Esse hanno origine prevalentemente nell'azione del vento sul Mare Adriatico, che qualora proveniente da sud est (scirocco), produce, per attrito sulla superficie, una spinta di masse d'acqua verso l'estremo chiuso settentrionale; una sorta cioè di ingolfamento che viene meno solo qualora la spinta idrostatica di riequilibrio prevale su quella esercitata dal vento. Anche la pressione atmosferica agisce sulla superficie del mare

comprimendola tanto più quanto più elevato è il valore barico. Così, quando sono presenti sull'Adriatico configurazioni anticicloniche, si possono spesso osservare maree inferiori ai valori normali, mentre con pressioni basse si ha la tendenza a registrare maree sostenute.

In via teorica si deduce che per un gradiente di 1 hPa (o millibar) di pressione si ha una variazione di livello delle acque di circa 1 cm. Il massimo contributo dovuto al gradiente di pressione difficilmente supera i 20 cm, mentre il contributo dovuto al vento può abbondantemente superare i 100 cm. La concomitanza di elevati valori astronomici, di venti sciroccali sull'Adriatico e il passaggio di una depressione sull'Italia sono gli ingredienti che determinano un fenomeno di acqua alta o addirittura un'alta marea eccezionale.

### Una spiccata stagionalità che non lascia spazio ad eccezioni

L'impatto dell'acqua alta sul contesto socio economico della città di Venezia è strettamente legato,





Figura 7: distribuzione livello medio del mare a Venezia dal 1896 al 1999.

oltre che all'altezza massima raggiunta, alla distribuzione temporale (periodo dell'anno e fascia oraria) con cui si presenta. Nel '900 gli eventi con acqua alta superiore o uguale a +110 cm hanno presentato una elevata concentrazione in particolari mesi dell'anno e la completa assenza in altri mesi. Dall'esame della Fig.2 risulta evidente l'esistenza di una spiccata stagionalità data dalla concentrazione del 75% del fenomeno nei mesi di ottobre, novembre e dicembre, nessun evento nel periodo estivo da giugno ad agosto e una scarsa frequenza pari al 25% negli altri mesi. La concentrazione massima, come è noto, avviene nel mese di novembre.

**L'acqua alta, l'alta marea eccezionale e l'acqua bassa: evoluzione e tendenza nel secolo '900**

Dallo scorso secolo ad oggi si è verificato un solo evento di alta marea paragonabile a quelli riportati nelle cronache medioevali: quello del 4 novembre 1966, nel corso del quale il livello delle acque raggiunse l'altezza di 194 cm sopra il livello del mare di

riferimento. Ma la statistica ci informa che la frequenza delle alte maree in questo secolo è in progressivo aumento. Se si considerano, infatti, le maree superiori o uguali a +60 cm, quelle che dovrebbero rappresentare le normali maree sizigiali con frequenza 3-4 al mese, esse hanno subito un notevolissimo incremento. Dai 385 casi del decennio 1920-'29 si è passati ai 2.464 del decennio 1990-'99, con un fattore di moltiplicazione pari a 6.4. La distribuzione della frequenza decennale è riportata in Fig. 3.

Per fare un esempio concreto, ciò significa che l'entrata della Basilica di S. Marco, che giace alla quota di +60 circa, viene allagata in questi ultimi anni, mediamente due giorni su tre con una concentrazione quasi giornaliera del fenomeno nei mesi di ottobre, novembre e dicembre. Leggermente migliore si presenta la situazione per le alte maree maggiori o uguali a +110 cm, le maree che attualmente vengono preventivamente annunciate dal suono delle sirene, che sono passate da una frequenza

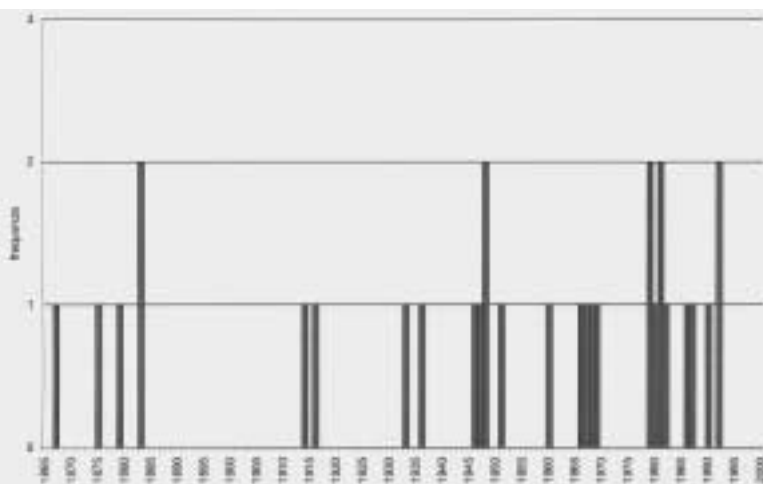


Figura 8: frequenza annuale delle alte maree  $\geq +110$  cm verificatesi a Venezia dal 1867 al 2000, riferite al livello medio del mare.

inferiore ad una all'anno, nei primi decenni del secolo, ad oltre 4 all'anno, nell'ultimo decennio 1990-'99. Anche per queste maree viene riportato l'andamento del secolo per anno (Fig. 4) e con accorpamento decennale (Fig. 5): l'aumento di frequenza è evidente, in modo particolare nei decenni 1960-'69 e 1990-'99.

Il notevole incremento registrato da queste alte maree non è fortunatamente confermato per le alte maree eccezionali (Fig. 1) e per quelle superiori a +120 cm (Fig. 6), queste ultime aumentate in modo drastico nel decennio 1960-69, ma con tendenza stazionaria fino ad oggi (frequenza di poco superiore ad un evento l'anno).

Per una maggior conoscenza delle frequenze relative agli eventi di marea più significativi viene presentata la Tab. 1, la quale, per una maggior aderenza alla realtà odierna, è stata stimata su un dominio temporale variabile da 150 anni (valori più elevati) all'ultimo decennio (valori meno elevati).

**Tab. 1:** TEMPI DI RITORNO MEDI PER ALTEZZA DI MAREA SUPERIORE A + 110 CM, STIMATI SULLA BASE DELLE REGISTRAZIONI DI MAREA A VENEZIA.

<i>Livello di marea</i>	<i>Frequenza media annua</i>	<i>Data ultimo evento</i>
>= +110 cm	3,5	5 apr. 2000
>= +120 cm	1,5	21 nov. 1999
>= +130 cm	1/1,5 anni	18 nov. 1996
>= +140 cm	1/5,5 anni	8 dic. 1992
>= +150 cm	1/12-13 anni	1 feb. 1986
>= +160 cm	> 1/25 anni	22 dic. 1979
>= +170 cm	> 1/50 anni	4 nov. 1966
>= +180 cm	> 1/100 anni	4 nov. 1966
>= +190 cm	> 1/150 anni	4 nov. 1966

Dai dati contenuti nella tabella si evince che i livelli di +130 cm e +140 cm, che presentano rispettivamente tempi di ritorno di 1 evento ogni 1,5 anni e 1 evento ogni 5,5 anni, non si presentano da 3,5 anni e 7,5 anni rispettivamente. Attenendosi alla statistica, eventi di questo livello sono pertanto attesi con elevata probabilità.

Anche le basse maree, se inferiori al valore di -50 cm, possono provocare disagi alla navigazione lungo alcuni rii e canali che presentano un elevato accumulo di fanghi e quindi risultano poco profondi. La maggior frequenza delle basse maree si registra prevalentemente nei mesi di gennaio e febbraio, talvolta anche nel mese di marzo. Un secondo periodo favorevole alle basse maree, seppur di minore intensità, si verifica in giugno e luglio. Durante il secolo XX le basse maree hanno presentato una frequenza più accentuata nei primi decenni, intorno ad 80 eventi al decennio, in progressiva diminuzione fino ad attestarsi intorno a 20-30 eventi nell'ultimo decennio. La frequenza degli eventi del secolo presenta quindi una tendenza opposta a quella delle alte maree che invece risulta crescente, a causa

del progressivo aumento del livello medio del mare.

### **Subsidenza ed eustatismo, cause principali dell'aumento di frequenza dell'acqua alta**

Il motivo dell'aumento di frequenza delle alte maree di questo secolo è attribuito al fenomeno della subsidenza, cioè allo sprofondamento del suolo a seguito di cause naturali ed antropiche. Studi recenti hanno confermato che la subsidenza naturale prosegue con andamento costante attestato mediamente su 0.4 mm l'anno (4 cm al secolo). La subsidenza di attribuzione antropica, dovuta principalmente all'emungimento di acqua e gas dal sottosuolo, ha subito degli incrementi notevoli soprattutto nei periodi di elevata attività industriale. Questa, pur non riportando un andamento regolare, si è prodotta in misura di circa 10 cm nell'ultimo secolo (v. avanti, pag. 77).

Anche il fenomeno dell'eustatismo, innalzamento del livello medio del mare causato dallo scioglimento delle calotte glaciali a seguito dell'aumento della temperatura media della Terra, ha contribuito all'aumento di frequenza delle alte maree. Nel corso di un secolo il livello complessivo del mare (subsidenza ed eustatismo) si è elevato di circa 23 cm, dei quali 14 cm attribuibili alla subsidenza, naturale ed antropica, circa 11 cm all'eustatismo e -2 cm dovuti ad un recupero elastico dei terreni a seguito della regolamentazione degli approvvigionamenti idrici e conseguente ripressurizzazione delle falde. In Fig. 7 è rappresentato l'andamento del livello medio del mare, registrato durante tutto il '900, riferito allo zero mareografico di Punta della Salute (Rete altimetrica dello Stato del 1897), al quale ancor oggi si fa riferimento.

Ma per avere una conferma che la subsidenza e l'eustatismo sono le cause principali dell'aumento di frequenza delle alte maree si è provveduto a sottrarre al valore massimo registrato di marea il livello medio del mare calcolato in quell'anno, attuando una sorta di perequazione delle altezze. La distribuzione degli eventi di questo ultimo secolo, così corretti, viene rappresentata in Fig. 8.

Il risultato che si ottiene è una distribuzione quasi costante, in lieve incremento negli ultimi quarant'anni, molto differente da quella rappresentata in Fig. 4. Si può quindi affermare che l'aumento di frequenza delle alte maree negli ultimi decenni è dovuto prevalentemente ai fenomeni di subsidenza e di eustatismo. Non si esclude tuttavia che cause di natura meteorologica, quali la facilità del ripetersi di situazioni definite da vento di scirocco sopra l'Adriatico, intervengano nell'aumento di frequenza delle maree.

### **Le più elevate alte maree del secolo '900: ipotesi sul massimo valore di marea possibile per la Laguna di Venezia**

Le alte maree eccezionali che durante il XX secolo hanno registrato un livello >= +140 cm sono state,

in ordine di data, le seguenti:

16 aprile 1936	ore 21.35	cm 147
12 novembre 1951	ore 8.05	cm 151
15 ottobre 1960	ore 7.55	cm 145
4 novembre 1966	ore 18.00	cm 194
3 novembre 1968	ore 7.30	cm 144
17 febbraio 1979	ore 1.15	cm 140
22 dicembre 1979	ore 9.10	cm 166
1 febbraio 1986	ore 3.45	cm 158
8 dicembre 1992	ore 10.10	cm 142

Sono 9 eventi che hanno causato, seppur in modo progressivamente più accentuato, a seconda del livello di marea raggiunta, danni notevoli al tessuto socio economico e al patrimonio storico, artistico e naturalistico della città e della laguna. In nessuno di questi però si sono registrate vittime. Questo va messo in relazione ai numerosissimi eventi accaduti anche recentemente nel nostro territorio che hanno comportato numerose morti umane a causa del dissesto idrogeologico di alcune aree. In molti casi infatti le situazioni meteorologiche producono, oltre all'alta marea nelle lagune alto adriatiche, anche inondazioni in altre parti del territorio, con conseguenze molto più tragiche che a Venezia. Ne costituiscono esempio le alluvioni del 12 novembre

1951 e del 4 novembre 1966, che hanno provocato un numero elevato di vittime al di fuori del territorio veneziano.

La marea più alta registrata in questo secolo è stata dunque quella del 4 novembre 1966; questa non è però l'altezza massima che teoricamente può essere raggiunta. La possibilità, almeno teorica, che coincidano tutti i fattori che contribuiscono a determinare un sovrizzo nell'Alto Adriatico porta a valori più elevati di quelli raggiunti nel 1966. Durante questo evento il contributo dovuto alla componente astronomica è stato molto contenuto in quanto si era prossimi alla quadratura; se la stessa situazione meteorologica si fosse verificata in sизigia (luna piena e luna nuova) il valore massimo sarebbe stato sicuramente ben superiore ai due metri. Ma anche gli altri contributi dovuti al vento di scirocco, alla pressione atmosferica, alla sessa determinata da eventi instauratisi nei giorni precedenti avrebbero potuto prodursi con contributi un po' più elevati. La perfetta coincidenza di tutti i fattori porta quindi a stimare in oltre 3 metri il valore teorico di massima marea possibile a Venezia. Questo però non deve portare ad eccessivi timori in quanto la probabilità che si verifichi una simile concomitanza di fattori è talmente bassa da stimarsi in un evento ogni circa 10.000 anni.



*Gli effetti sui Murazzi della mareggiata del novembre 1966*