

<p style="text-align: center;">ARPAL-CMIRL <i>Agenzia Regionale per l'Ambiente Ligure</i></p> <p style="text-align: center;">  Centro Meteo-Idrologico della Regione Liguria  </p>	<p style="text-align: center;">SCHEDA METEO: TROMBE D'ARIA E TROMBE MARINE a cura di Veronica Bonati</p>
<p style="text-align: center;">Revisione: 01 del 30.08.2005</p>	<p style="text-align: center;">Codice: SCH_03</p>

TROMBE D'ARIA E TROMBE MARINE (parte I)

INTRODUZIONE

La tromba d'aria può essere considerata il fenomeno meteorologico più violento che si verifica nell'area mediterranea: essa è costituita da una colonna d'aria in veloce rotazione antioraria che porta con sé polvere, detriti o altro materiale in funzione della sua violenza. Assume l'aspetto tipico di un imbuto che, dal cumulonembo da cui ha origine (FOTO 1 da www.astrogeo.va.it: cumulonembo in formazione a Berteggi), si protende al suolo dove si allarga; il suo diametro può raggiungere dimensioni anche di 100÷150 metri. E' un fenomeno meteorologico analogo al tornado, seppur con dimensioni e forza minori. Ai nostri climi ha di solito carattere moderato, anche se nei rari casi in cui si genera da violenti temporali a supercella può assumere la violenza dei tornado.



La tromba d'acqua è una tromba d'aria che si genera su specchi d'acqua, quali i mari e laghi, e



può discendere da un semplice cumulo congesto (nube a sviluppo verticale con maggiore estensione del normale cumulo e con aspetto gonfio, può annunciare l'arrivo di temporali e piccoli rovesci, in condizioni adatte i cumuli congesti possono trasformarsi in cumulonembi, FOTO 2 da www.meteoverona.it). Si parla di trombe marine quando, ovviamente, tali fenomeni si verificano in mare. Le trombe d'acqua sono fenomeni meno violenti delle trombe d'aria e difficilmente arrivano sulla terraferma, poiché si sfaldano all'incontro con la stessa o con un

rovescio d'acqua; costituiscono altresì un pericolo per le imbarcazioni che incontrano nel loro tragitto. Anche le dimensioni di tali fenomeni sono decisamente minori, avendo un diametro dell'ordine di qualche metro. Si parlerà di seguito in prevalenza di trombe marine, essendo queste più comuni di quelle che si verificano sui laghi.

<p style="text-align: center;">ARPAL-CMIRL Agenzia Regionale per l'Ambiente Ligure</p>  <p style="text-align: center;">Centro Meteo-Idrologico della Regione Liguria</p> 	<p style="text-align: center;">SCHEDA METEO: TROMBE D'ARIA E TROMBE MARINE a cura di Veronica Bonati</p>
<p style="text-align: center;">Revisione: 01 del 30.08.2005</p>	<p style="text-align: center;">Codice: SCH_03</p>

PROCESSO DI FORMAZIONE

La formazione delle trombe d'aria e marine è collegata a condizioni di forte instabilità atmosferica (strato di aria fredda sopra una massa d'aria molto calda e umida in prossimità del suolo) e al verificarsi di moti verticali e di fenomeni di richiamo dell'aria circostante verso la base della nube temporalesca, analogamente a quanto accade per l'innescarsi di forti temporali. In queste condizioni possono avere luogo fenomeni vorticosi: le particelle, invece di compiere traiettorie rettilinee compiono orbite chiuse che si conservano per un certo tempo, tali linee chiuse sono dette vortici. È abbastanza frequente che le trombe d'aria si verifichino nelle regioni del Nord-Italia, vista la presenza di quel grosso contenitore di aria rappresentato dalla Pianura Padana. Tale massa d'aria è racchiusa fra i monti in condizioni che favoriscono il ristagno di calore e umidità nei bassi strati; quando arriva aria fredda in quota, questa scorrerà al di sopra innescando un risucchio violento verso l'alto della massa d'aria calda, accompagnato da velocità verticali intense. Come già accennato tali condizioni favoriscono il verificarsi dei temporali, in corrispondenza dei quali non si può escludere la formazione di trombe d'aria, in caso di presenza di rotazione ciclonica e di *wind shear*.

Una situazione di *wind shear* verticale è verificata quando in strati sovrapposti di atmosfera si hanno venti caratterizzati da un diverso orientamento e da una diversa intensità. Questo porta alla formazione di ideali figure cilindriche orizzontali di aria ruotanti intorno al proprio asse, i cosiddetti "tubi di vortice". Nella fase di formazione della nube temporalesca, quando si creano i processi di sollevamento forzato dell'aria, essi vengono sollevati verso l'alto, disponendosi a forma di ferro di cavallo; la parte di tale figura dove lo *shear* era inizialmente più marcato sarà dotata di una rotazione più decisa. Proprio in corrispondenza di questi tubi di vortice, per attrito, anche l'aria circostante assume un moto rotatorio, ora attorno a un asse verticale; in questo modo tutta la nube che nel frattempo si è andata formando si mette in rotazione. Quando l'energia è sufficiente la rotazione si intensifica e si concentra verso la base della nube con la formazione di un mesociclone, ossia una nube ruotante indipendentemente dalla rotazione terrestre, da cui può svilupparsi una tromba d'aria o un tornado.

Un'ulteriore condizione che può favorire la formazione dei fenomeni vorticosi è la presenza in quota di correnti a curvatura ciclonica provenienti da SW; alle correnti ascensionali, in queste condizioni, si sommano infatti quelle dinamiche presenti nella parte avanzata della depressione atlantica.

Come già accennato, le trombe d'aria hanno origine dalle nubi temporalesche (i cumulonembi) dalle quali scendono verso il suolo. Nel centro della colonna d'aria in rotazione si forma una profonda depressione che provoca un forte gradiente barico fra il centro e la periferia, pari a circa 20÷30 hPa; viene pertanto risucchiata verso l'interno l'aria che gira attorno al centro della bassa pressione con una velocità che arriva a 100÷150 km/h mentre la pressione dinamica esercitata può arrivare a 100 kg/m². Durante tali fenomeni vorticosi il vento può assumere per intervalli molto brevi (dell'ordine dei minuti), velocità di 100, 150 o anche 200 km/h.

In ultimo, è da tener presente che non sempre le dimensioni istantanee del fenomeno sono un chiaro indice della sua intensità: esse, oltre alla tipologia e alla violenza del vortice, possono anche essere legate al suo stadio evolutivo. Per esempio, ciò che viene riconosciuto come una piccola

<p style="text-align: center;">ARPAL-CMIRL Agenzia Regionale per l'Ambiente Ligure</p> <p style="text-align: center;">  Centro Meteo-Idrologico della Regione Liguria  </p> <p style="text-align: center;">  </p>	<p style="text-align: center;">SCHEDA METEO:</p> <p style="text-align: center;">TROMBE D'ARIA E TROMBE MARINE</p> <p style="text-align: center;">a cura di Veronica Bonati</p>
<p style="text-align: center;">Revisione: 01 del 30.08.2005</p>	<p style="text-align: center;">Codice: SCH_03</p>

tromba d'aria può essere ciò che rimane di una più grossa, e conservare per questo parte della sua energia distruttrice.

CARATTERISTICHE

La durata delle trombe d'aria è compresa fra i 10 e i 30 minuti e il loro diametro assume valori che vanno da poche decine a 150 metri nei casi più rari e intensi; in questi ultimi i venti possono raggiungere i 500 km/h in prossimità della colonna d'aria. I venti sono quasi ciclostrofici, poiché le uniche forze che intervengono in maniera significativa sono quella di gradiente e la forza centrifuga, entrambe notevolmente alte a causa dei raggi limitati delle trombe. La tromba d'aria rimane collegata alla base del cumulonembo da cui ha origine, della cui cella temporalesca mantiene la stessa velocità di traslazione, di solito maggiore di 30 km/h con direzione ed intensità variabili. Anche per quanto riguarda la sua durata, nella quale percorre in genere qualche decina di



FOTO 3

km, la tromba d'aria è legata alla cella madre. Le altezze di tali fenomeni variano dai 100 ai 1000 metri e in genere coincidono con l'altezza della base dei cumulonembi da cui hanno origine. Oltre alla già citata e più comune forma a imbuto a volte le trombe d'aria assumono un aspetto più sinuoso o serpentino. Infine, si ricorda che la tromba ha rotazione antioraria nel nostro emisfero settentrionale e oraria in quello meridionale.

Le trombe marine (e le trombe d'acqua in genere, in inglese *waterspouts*) sono di solito meno intense e, formatesi sul mare, non riescono a raggiungere la terraferma. Ci sono però eccezioni quali la tromba marina tornadica che ha caratteristiche ben diverse e una notevole pericolosità: essa infatti riesce ad arrivare sulla terraferma con una potenza che arriva fino al 3° grado della scala Fujita (TABELLA 2). Un esempio di tale raro fenomeno si può osservare in FOTO 3 (tromba d'aria tornadica verificatasi a Terracina, da www.tornadoit.org).

Il diametro raggiunge di solito dimensioni pari a qualche metro e nel vortice della tromba i venti ruotano con una velocità di circa 80 km/h, solo in casi molto rari superano i 100 km/h. Le trombe marine spesso si presentano a famiglie, non di rado a gruppi di 4 o 5, anche se la letteratura parla di gruppi composti da ben 20 trombe. In questo caso hanno una vita più breve, dai 3 ai 5 minuti, e si dissipano velocemente avvitandosi su se stesse.

<p style="text-align: center;">ARPAL-CMIRL <i>Agenzia Regionale per l'Ambiente Ligure</i></p> <p style="text-align: center;">  Centro Meteo-Idrologico della Regione Liguria  </p>	<p style="text-align: center;">SCHEDA METEO: TROMBE D'ARIA E TROMBE MARINE a cura di Veronica Bonati</p>
<p style="text-align: center;">Revisione: 01 del 30.08.2005</p>	<p style="text-align: center;">Codice: SCH_03</p>

La loro minor violenza rispetto alle trombe d'aria sta nel fatto che le situazioni di instabilità sul mare sono meno intense rispetto a quelle che si verificano sulla terra, la quale si riscalda più dell'acqua; il medesimo discorso vale, a maggior ragione, per i fenomeni che si hanno sui laghi. L'energia delle trombe d'acqua deriva da una temperatura superficiale abbastanza elevata e dalla trasformazione del vapore acqueo in goccioline (ossia dal calore latente di condensazione). La stessa dinamica si ha nella formazione dei cicloni tropicali, uragani e tifoni, ovviamente su scala decisamente maggiore e con tutt'altra intensità.

Tra le trombe d'acqua originatesi su uno specchio d'acqua lacustre si può citare il caso del 4 luglio 2000, sul Lago maggiore (FOTO 4, del Sig. Ulisse Dozio da <http://www.astrogeo.va.it>).



QUANDO E DOVE

Le aree più colpite da tale fenomeno sono i mari caldi, quali il Mediterraneo, e le zone di calma equatoriale, dove si riscontra la maggior probabilità di formazione di sistemi nuvolosi temporaleschi. Suddividendo secondo la latitudine, si ha:

- fra 10° e 20°: frequenza minima;
- fra 30° e 40°: frequenza media;
- latitudini superiori a 40°: frequenza molto bassa o quasi nulla.

Dal punto di vista della stagione più favorevole, nella zona temperata si ha la frequenza massima in estate, mentre nell'area tropicale ciò accade nei mesi fra il termine dell'estate e l'inizio dell'autunno.

Un esempio di valutazione della probabilità che una tromba d'aria colpisca un determinato punto è dato dalla relazione:

$$P = a n/S$$

nella quale:

- **P** è la probabilità annuale che un punto nella regione di area **S** sia colpito da una tromba d'aria;
- **a** è la frequenza annuale di trombe sulla regione di area **S**;
- **n** è la frequenza annuale di trombe di trombe sulla regione **S**.

La valutazione della superficie coinvolta dalla tromba d'aria è estremamente difficoltosa: gli autori Palmieri e Pulcini, per le regioni italiane, hanno valutato un'area media pari a 4 km², mentre negli USA si considera che un tornado "spazzi" una superficie pari a 7,3 km². Gli stessi Palmieri e Pulcini hanno inoltre classificato le regioni italiane secondo la probabilità di accadimento di trombe

<p style="text-align: center;">ARPAL-CMIRL <i>Agenzia Regionale per l'Ambiente Ligure</i></p> <p style="text-align: center;">  Centro Meteo-Idrologico della Regione Liguria  </p>	<p style="text-align: center;">SCHEDA METEO: TROMBE D'ARIA E TROMBE MARINE a cura di Veronica Bonati</p>
<p style="text-align: center;">Revisione: 01 del 30.08.2005</p>	<p style="text-align: center;">Codice: SCH_03</p>

d'aria: le regioni con la più alta probabilità sono risultate, nell'ordine, Lazio, Toscana, Campania Calabria, seguite da Piemonte, Lombardia e Liguria.

Secondo alcune statistiche a larga scala, pare che i temporali siano aumentati nell'ultimo decennio a causa del surriscaldamento del pianeta, e sulle grandi città si ha l'incremento maggiore; in queste aree si localizzerebbe infatti il calore fornito dalla bolla d'aria calda gravante sopra le metropoli, detta "isola di calore". Si crea quindi una situazione favorevole al verificarsi delle trombe d'aria, specialmente alla periferia delle città dove l'umidità è più abbondante per l'apporto dell'aria che arriva dalle aree verdi. Una minore probabilità si ha invece nel centro cittadino dove l'aria è meno umida – si ritiene circa il 20% in meno della campagna -, quindi non si ha sufficiente quantità di vapore acqueo.

IN ITALIA

In Italia il fenomeno delle trombe d'aria, anche se in costante aumento, rimane comunque abbastanza raro; le aree più colpite sono quelle pedemontane alpine, il Friuli, la Liguria, l'alta Toscana (Versilia), l'alto Lazio e la Sicilia, oltre ovviamente la Pianura Padana. Dalle statistiche si ha che negli anni '70 si verificava un caso circa ogni due anni, mentre la frequenza attuale è decisamente più elevata. Tuttavia, uno studio del 1999 del Servizio Meteorologico dell'ARPA Emilia Romagna ha esaminato i dati relativi alla suddetta regione, delineando un quadro dal quale pare non possa trarsi la conclusione che la frequenza del fenomeno delle trombe d'aria sia aumentata negli ultimi anni. È stata individuata comunque una certa ricorrenza nella regione Emilia Romagna per i fenomeni osservati dal 1984 al 1998, attribuendola alla tipicità della zona e facendola rientrare nella variabilità naturale.

I periodi in cui è più probabile il verificarsi di tali fenomeni sono quelli compresi fra la primavera e l'autunno; la fine dell'estate per le regioni settentrionali è uno dei momenti più critici, poiché il passaggio di fronti freddi spesso si manifesta con intense perturbazioni e violenti temporali, che possono essere accompagnati da grandine e trombe d'aria. Anche per la nostra regione, questa

situazione è confermata da una raccolta di osservazioni, effettuate dal 1970 ad oggi (come in seguito illustrato nelle Figure 1,2 e 3), attraverso la quale si riconosce in agosto il mese più colpito.

Per il periodo estivo si può appunto citare un fenomeno di notevole entità ed impatto: la violenta tromba d'aria verificatasi in Brianza il 7 luglio 2001, che ha causato danni ingenti, feriti ed evacuati. Essa ha avuto origine dalle condizioni meteo ideali precedentemente descritte: un nucleo di aria fredda in arrivo dall'Europa Nord-Occidentale arriva e stanza sopra l'aria calda (oltre i 30°) che da giorni ristagna al suolo.



FOTO 5

<p style="text-align: center;">ARPAL-CMIRL <i>Agenzia Regionale per l'Ambiente Ligure</i></p> <p style="text-align: center;">  Centro Meteo-Idrologico della Regione Liguria  </p>	<p style="text-align: center;">SCHEDA METEO: TROMBE D'ARIA E TROMBE MARINE a cura di Veronica Bonati</p>
<p style="text-align: center;">Revisione: 01 del 30.08.2005</p>	<p style="text-align: center;">Codice: SCH_03</p>



FOTO 6

Le FOTO 5, 6, 7 (Giovanni Zardoni – Osservatorio Meteo Cernusco Lombardone di Lecco www.centrometeolombardo.com) e 8 (da TG5) testimoniano il nascere del temporale, accompagnato da precipitazioni intense e grandine, nonché l'evolversi della tromba d'aria.



FOTO 7



FOTO 8

<p style="text-align: center;">ARPAL-CMIRL <i>Agenzia Regionale per l'Ambiente Ligure</i></p> <p style="text-align: center;">  Centro Meteo-Idrologico della Regione Liguria  </p>	<p style="text-align: center;">SCHEDA METEO: TROMBE D'ARIA E TROMBE MARINE a cura di Veronica Bonati</p>
Revisione: 01 del 30.08.2005	Codice: SCH_03

Nelle FOTO 9 e 10 si possono osservare rispettivamente la tromba d'aria in pieno sviluppo e l'intensa pioggia che ha accompagnato il temporale in questione (foto di Giovanni Tardone, Centro Meteorologico Lombardo, da <http://www.gevcurone.it/meteo>).



Tale intenso fenomeno meteorologico ha lasciato numerose testimonianze del suo passaggio, alcuni esempi degli ingenti danni provocati sono riportati in FOTO 11 e 12 (Giovanni Tardone, Centro Meteorologico Lombardo, da <http://www.gevcurone.it/meteo>).



<p style="text-align: center;">ARPAL-CMIRL <i>Agenzia Regionale per l'Ambiente Ligure</i></p> <p style="text-align: center;">  Centro Meteo-Idrologico della Regione Liguria  </p>	<p style="text-align: center;">SCHEDA METEO: TROMBE D'ARIA E TROMBE MARINE a cura di Veronica Bonati</p>
Revisione: 01 del 30.08.2005	Codice: SCH_03

IN LIGURIA

Un evento particolarmente singolare è avvenuto nel periodo compreso fra gli ultimi giorni di agosto e i primi di settembre del 1994: un elevato numero di trombe, sia d'aria che marine, hanno coinvolto le regioni centro-settentrionali, compresa la Liguria. In 15 giorni tale area è stata colpita da 23 trombe, evento eccezionale se confrontato con la media annuale della fine degli anni '80, stimata attorno alle 10÷15 trombe d'aria. Per quanto riguarda la regione Liguria, si segnala la tromba marina che il 2 settembre 1994 si è verificata sulla costa di Genova a Pegli (FOTO 13, da <http://www.tornadoit.org/>). La durata del fenomeno è stata di 3 minuti, dopodiché si è spostato sulla terraferma, senza provocare grossi danni.



FOTO 13

Un altro avvenimento da menzionare è la tromba marina verificatasi il 30 agosto 2001 sul tratto di mare prospiciente il capoluogo ligure: nelle foto che seguono è documentata la sua formazione (FOTO 14, 15 e 16).



FOTO 14



FOTO 15

<p style="text-align: center;">ARPAL-CMIRL <i>Agenzia Regionale per l'Ambiente Ligure</i></p> <p style="text-align: center;">  Centro Meteo-Idrologico della Regione Liguria  </p>	<p style="text-align: center;">SCHEDA METEO: TROMBE D'ARIA E TROMBE MARINE a cura di Veronica Bonati</p>
<p style="text-align: center;">Revisione: 01 del 30.08.2005</p>	<p style="text-align: center;">Codice: SCH_03</p>



FOTO 16



Un altro evento significativo verificatosi davanti al porto di Genova nell'estate 2003, è quello ripreso nelle FOTO 17 e 18 (a cura del Prof. Ugo Valbusa, Dipartimento di Fisica).



FOTO 17



FOTO 18

<p style="text-align: center;">ARPAL-CMIRL <i>Agenzia Regionale per l'Ambiente Ligure</i></p> <p style="text-align: center;">  Centro Meteo-Idrologico della Regione Liguria  </p>	<p style="text-align: center;">SCHEDA METEO: <i>TROMBE D'ARIA E TROMBE MARINE</i> a cura di Veronica Bonati</p>
<p style="text-align: center;">Revisione: 01 del 30.08.2005</p>	<p style="text-align: center;">Codice: SCH_03</p>

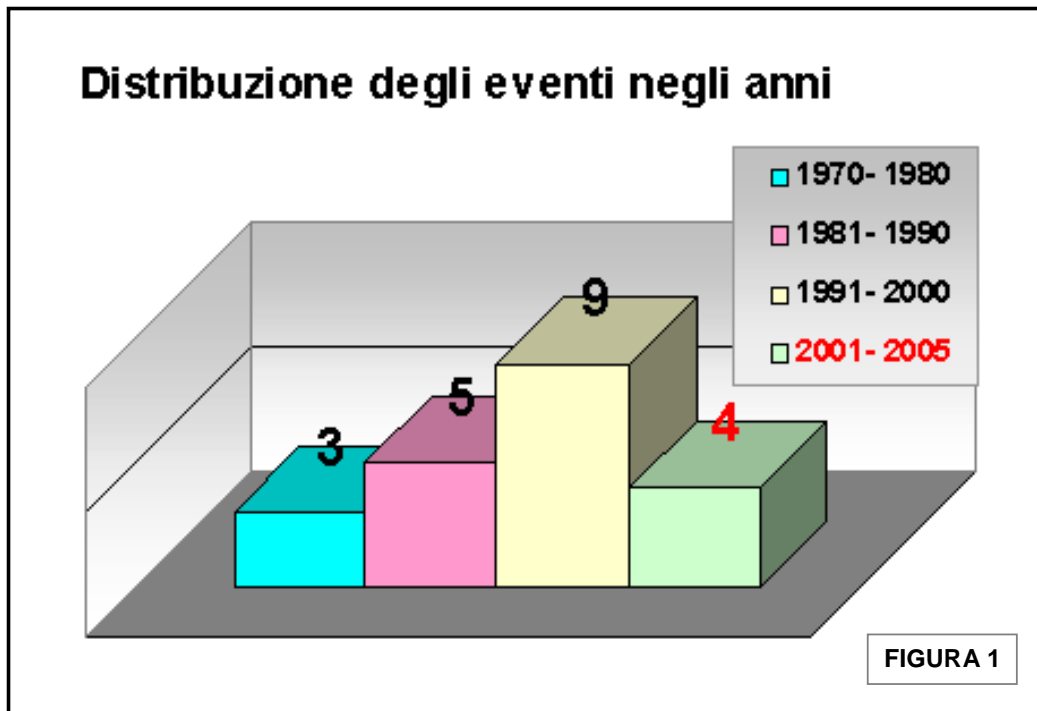
Infine, per la riviera di Levante, si segnalano due “classiche” trombe marine: la prima verificatasi il 7 luglio 1997 nel tratto di mare prospiciente la costa di Bonassola (FOTO 19), la seconda osservata davanti a Levanto nell'agosto 1994 (FOTO 20).



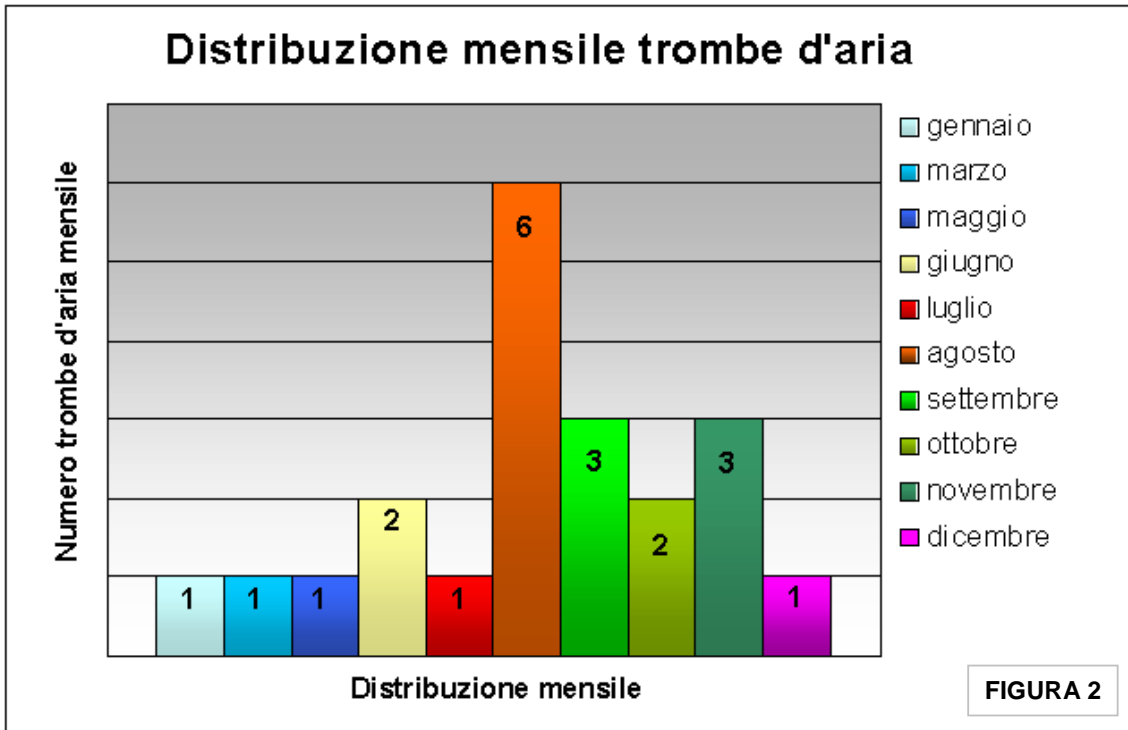
<p style="text-align: center;">ARPAL-CMIRL <i>Agenzia Regionale per l'Ambiente Ligure</i></p> <p style="text-align: center;">  Centro Meteo-Idrologico della Regione Liguria  </p>	<p style="text-align: center;">SCHEDA METEO: TROMBE D'ARIA E TROMBE MARINE a cura di Veronica Bonati</p>
Revisione: 01 del 30.08.2005	Codice: SCH_03

Per completezza sono stati raccolti i dati derivanti dalle stazioni osservative Synop presenti in Liguria, a partire dal 1970; a questi sono state aggiunte alcune osservazioni di eventi accertati occorsi nella nostra regione. Si sottolinea che tale statistica non è da considerarsi esaustiva, in quanto probabilmente il numero effettivo di eventi occorsi su tutto il territorio ligure risulta di gran lunga maggiore di quello riportato, inoltre il periodo di osservazione a nostra disposizione è decisamente limitato nel tempo.

In Figura 1 sono stati riportati gli eventi registrati distribuiti nei diversi decenni, per un totale di 20 trombe d'aria o d'acqua in circa 35 anni. Come si può osservare, il numero dei fenomeni sembra in continua crescita negli ultimi decenni; negli ultimi 5 anni è già stata raggiunta la metà degli eventi occorsi nel decennio precedente.



Nel grafico in Figura 2 si ha invece la distribuzione media degli eventi considerati nei diversi mesi dell'anno (periodo 1970-2005): il verificarsi del maggior numero degli eventi è concentrato sul finire della primavera e in particolare in estate e autunno, con un picco nei mesi di agosto e settembre, come già descritto in precedenza.



Dalla Figura 3 si può evidenziare come da giugno a settembre, complessivamente, venga superato il 50% degli eventi registrati nell'intero anno solare.

Nella statistica considerata, la nuvolosità osservata più frequentemente è in assoluto rappresentata dai *Cumulus* e dai *Cumulonimbus*; solo sporadicamente è stata registrata la presenza di *Alto cumulus*, *Stratocumulus* e *Altostratus*.

