

UNITÀ DIDATTICA 9

3. STRUMENTAZIONE PER LA MISURA DEI PARAMETRI FISICI

3.1 STRUMENTI PER LA MISURA DELLA TEMPERATURA

Gli strumenti usati per la misura della temperatura sono i termometri. I principi di funzionamento su cui sono fondati possono essere diversi, i più diffusi sono quelli che si basano su:

- Variazioni di volume subite dai corpi (gas, liquido, metallo) causate da variazioni di temperatura;
- Variazioni della resistenza elettrica prodotte in alcuni corpi dalle variazioni di temperatura;
- Deformazioni prodotte in alcuni corpi dalla variazione di temperatura;
- Trasformazione dell'energia termica in energia elettrica (pinze termoelettriche).

Vengono utilizzati anche i termografi, strumenti che permettono di registrare con continuità la variazione di temperatura in funzione del tempo. Le variazioni di temperatura vengono registrate su un foglio graduato avvolto su un tamburo che ha al suo interno un apparato ad orologeria che gli fa compiere un giro completo in 24 ore, oppure in una settimana.

Le stazioni meteorologiche nella misura della temperatura determinano, tra l'altro, il valore massimo ed il valore minimo assunto nel corso delle 24 ore attraverso due particolari termometri detti a massima e a minima. Essi sono del tutto simili ai comuni termometri ma in aggiunta hanno particolari caratteristiche che permettono di leggere le temperature estreme che si sono registrate nelle 24 ore.

Il **termometro a massima** usa generalmente come elemento sensibile il mercurio. Serve a determinare la temperatura massima registrata in un arco di tempo, che normalmente è l'arco delle 24 ore. Di questi termometri ve ne sono di vari tipi. Quello più usato presenta una strozzatura tra il bulbo ed il tubicino "capillare". Un aumento di temperatura determina un'espansione del mercurio il quale, a causa della pressione esercitata sulle pareti del bulbo, riesce a superare la strozzatura ed a spostarsi nel tubicino. Quando la temperatura diminuisce il mercurio non torna nel bulbo poiché la forza di coesione molecolare non è sufficiente a fargli superare la

strozzatura; deve essere azzerato ogni mattina e per azzerarlo occorre scuoterlo dall'alto verso il basso (*fiondata*).

Il termometro usato per la misura della febbre (termometro clinico) è forse il più comune termometro a massima.

Il **termometro a minima** serve per misurare il valore di temperatura più basso verificatosi in un certo arco di tempo (generalmente 24 ore). È costituito da un bulbo di superficie abbastanza grande, spesso a forma di forcina o di corona, contenente alcool etilico o metilico nel quale è immerso un piccolo "*indice*", spesso di smalto colorato. Quando la temperatura diminuisce l'indice viene trascinato dal menisco (superficie del liquido avente forma concava a causa della natura del liquido termometrico che aderisce alle pareti della canna) e lasciato nella posizione raggiunta, quando l'aumento di temperatura riporta in avanti la colonna di liquido. La temperatura minima si legge sulla scala graduata in corrispondenza dell'estremità dell'indice che era a contatto col menisco.

3.2 STRUMENTI PER LA MISURA DELL'UMIDITÀ

La misura dell'umidità dell'aria viene effettuata con strumenti chiamati **igrometri**.

Esistono diversi tipi di igrometri, i più diffusi sono:

- igrometri a capelli
- igrometri psicrometrici (o psicrometri)
- igrometri a condensazione.

L'igrometro a capelli si basa sulla proprietà che hanno i capelli di allungarsi all'aumentare dell'umidità relativa dell'aria e di accorciarsi al diminuire della stessa. Dal punto di vista costruttivo l'igrometro a capelli è costituito da un fascio di capelli della lunghezza di circa 30 cm e preferibilmente biondi fissati ad una estremità, mentre l'altra estremità è collegata ad un sistema di amplificazione terminante con un indice che si muove sopra una scala graduata da 0% a 100% (fig. 1).



Fig.1 Igrometro a capelli

Lo **psicrometro** permette di determinare le temperature di rugiada e di brina e la tensione di vapore attraverso l'uso dello psicrometro stesso e di apposite tabelle (*tabelle psicrometriche*). Lo psicrometro è costituito da una coppia di termometri a mercurio identici, disposti verticalmente e affiancati l'uno all'altro. Uno dei due termometri ha il bulbo rivestito da una guaina di mussolina (garza). Inoltre lo strumento è corredato di un aspiratore d'aria funzionante elettricamente o a carica manuale che aspira aria ad una velocità costante compresa tra 2,5 e 10 m/sec.

Per effettuare la misura si bagna la garza con acqua distillata e quindi si mette in azione l'aspiratore. I due termometri subiscono una ventilazione uniforme e di conseguenza il termometro con "bulbo bagnato" subisce una diminuzione di temperatura dovuta all'evaporazione dell'acqua di cui è intrisa la garza che avvolge il bulbo stesso. Quando la colonnina di mercurio del termometro bagnato si stabilizza viene fatta la misura della temperatura. Dalla differenza di temperatura tra termometro "asciutto" e termometro "bagnato" si ricava per mezzo di apposite tabelle il valore dell'umidità relativa e della temperatura di rugiada. La differenza di temperatura registrata attraverso i due termometri sarà tanto minore quanto più l'aria è vicina alla saturazione; se le due temperature risultano uguali si avrà $U_r = 100\%$.

Gli **igrometri a condensazione**, detti anche "igrometri a punto di rugiada", si basano sulla misura della temperatura alla quale viene fatto condensare, per raffreddamento, del vapore acqueo sopra una superficie speculare.

Conoscendo la temperatura di rugiada, da apposite tabelle si ricava la tensione di vapore "e". Essendo nota t si ricava anche la tensione di vapore saturo $e_s(t)$ e si può quindi calcolare l'umidità relativa U_r :

$$U_r = \frac{e}{e_s} 100$$

Uno strumento molto usato per la misura dell'umidità relativa dell'aria è l'**igrografo**. Esso ha come elemento sensibile un fascetto di capelli, la cui variazione di lunghezza, causata dalla variazione di umidità relativa dell'aria, viene trasmessa ad un pennino scrivente su una cartina, opportunamente graduata, avvolta su di un tamburo ruotante munito di un sistema ad orologeria.

Normalmente nella capannina meteorologica viene posto il **termoigrografo**; questo strumento accoppia l'igrografo e il termografo e quindi permette la registrazione contemporanea, null'unità di tempo, della temperatura e dell'umidità relativa. L'elemento sensibile per la misura della temperatura è generalmente costituito dal "*Tube di Bourdon*" (tubo metallico a sezione ellittica ricurvo quasi ad anello, contenente generalmente alcool amilico) ma si possono anche avere strumenti il cui elemento sensibile è una "*lamina bimetallica*". Il sensore dell'umidità è un fascetto di capelli.

3.3 STRUMENTI PER LA MISURA DELLA PRESSIONE

La misura della pressione atmosferica viene fatta utilizzando il barometro o l'ipsometro.

I barometri basano il loro principio di funzionamento su:

- Calcolo della forza (peso) che equilibra la pressione atmosferica (barometri a mercurio);
- deformazione di un corpo elastico per effetto della pressione atmosferica (barometro aneroidale);
- rilevamento della temperatura di ebollizione di un liquido (ipsometro).

I barometri a mercurio sono basati sull'esperimento di Torricelli. Quelli che trovano maggiore impiego sono:

- barometri a pozzetto mobile o Fortin;
- barometri a pozzetto fisso o a scala compensata.

Nei **barometri Fortin** il mercurio è contenuto in un pozzetto mobile, sul fondo del quale è fissata una guaina di pelle di camoscio o di daino che fa da base di appoggio per il mercurio. La guaina può essere innalzata o abbassata agendo su una vite posta alla base dello strumento, facendo così variare il livello del mercurio nel pozzetto. Per la misura della pressione si porta il livello del mercurio in corrispondenza dello zero della scala agendo sulla vite, si legge quindi l'altezza

della colonna di mercurio sulla scala apportando, se necessario, le correzioni descritte in precedenza.

I **barometri a pozzetto fisso** o da stazione, presentano il fondo fisso. La lettura della pressione atmosferica viene fatta rilevando l'altezza della colonnina di mercurio nella canna barometrica, sulla quale è incisa una scala compensata.

La compensazione della scala è resa necessaria dalla considerazione che essendo costante la quantità totale di mercurio contenuto nel pozzetto e nella canna ogni variazione di pressione fa variare lo zero della scala. Ad esempio se la pressione aumenta, il livello del mercurio nella canna si innalza e contemporaneamente si deve abbassare il livello nel pozzetto; se la pressione diminuisce si avrà il caso inverso. In queste condizioni lo zero della scala che è rappresentato dal livello del mercurio nel pozzetto non è costante. Per ovviare a ciò, con semplici operazioni, viene costruita la scala compensata.

Molto diffusi sono anche i **barometri metallici** (o *aneroidi*) nei quali la forza esercitata dalla colonna d'aria atmosferica viene bilanciata dalla forza elastica. L'elemento sensibile è costituito da una scatola (*capsula*) cilindrica deformabile di metallo, nel cui interno è stato praticato quasi il vuoto. Una parte della scatola è a forma ondulata allo scopo di aumentare la superficie di deformazione. Sotto l'azione della pressione atmosferica le capsule tenderebbero a schiacciarsi se l'elasticità delle pareti, o una molla antagonista, non bilanciassero il peso della colonna d'aria che grava su di esse. Le variazioni subite dall'elemento sensibile vengono trasmesse, attraverso un sistema di levismi, ad un indice che segna su un quadrante opportunamente graduato, il valore della pressione atmosferica. Le capsule contengono una determinata quantità di aria per compensare l'effetto della temperatura sulle caratteristiche elastiche dello strumento, rendendolo insensibile alle variazioni di temperatura. I barometri metallici vengono tarati per confronto con un barometro a mercurio. Per la loro facilità di trasporto trovano un largo impiego, anche se non sono molto precisi. Il principio di funzionamento del barometro metallico è particolarmente sfruttato nel campo aeronautico per la costruzione degli altimetri; inoltre sono molto adatti alla registrazione della pressione.

Per la registrazione della pressione l'elemento sensibile è collegato ad un sistema di levismi che trasmette ad una asticina metallica, alla cui estremità è sistemato un pennino scrivente, le variazioni di pressione; il pennino traccia tali variazioni su una carta diagrammata avvolta ad un tamburo messo in rotazione da un sistema ad orologeria posto al suo interno. Gli strumenti che registrano la pressione sono detti **barografi** (fig. 2).

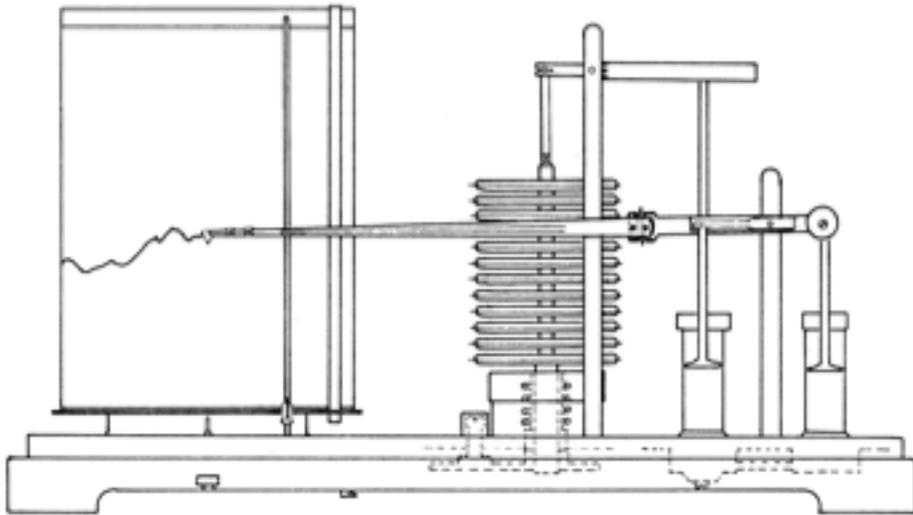


Fig. 2 Barografo

3.4 Strumenti per la misura del VENTO

Il vento è lo spostamento orizzontale di una massa d'aria rispetto alla superficie terrestre. I parametri del vento che vengono misurati sono la *direzione di provenienza* e l'*intensità*. Lo strumento che permette la misura del vento è l'**anemometro**, tra i più usati vi è l'anemografo aeroportuale IA/FMQ-12 che permette la registrazione e la visualizzazione del vento in tre distinti modi:

- *Grafico* (su una carta diagrammata)
- *Visivo* (su display digitale);
- *Nastro magnetico* (su cassetta o nastro)

L'*FMQ-12* è costituito da un sensore (sagoma di aeroplano in metallo alle cui estremità vi è una elica tripale e un timone), da un sistema di acquisizione ed elaborazione dati, da un indicatore locale, da un registratore a carta continua e da un registratore a nastro magnetico. La misura dell'**intensità** del vento, si ottiene dalla quantità di tensione prodotta da una *dinamo tachimetrica (generatore)* posta alla base dell'elica e con essa solidale che, a seconda dell'intensità di rotazione delle pale produce più o meno tensione. Un trasduttore, inserito nell'unità centrale, convertirà poi i valori di tensione in velocità del vento. Il sensore è libero di ruotare sul piano orizzontale per disporsi, con la parte anteriore, secondo la direzione di provenienza del vento. La misura della **direzione** del vento si ottiene da un potenziometro rotativo che è un dispositivo elettromeccanico che converte la

posizione angolare del suo asse rotante in segnali elettrici e numerici digitali. Il sistema di acquisizione ed elaborazione dati si compone da:

- Registratore analogico
- Indicatore digitale (display)
- Registratore a nastro magnetico
- Unità di elaborazione e ricezione segnali elettrici
- Pannello comandi
- Pannello preselettori
- Unità di alimentazione
- Unità di protezione.

Il registratore traccia il grafico del vento in modo continuo su una carta termosensibile diagrammata mediante due pennini riscaldati. Il display rende visibile in modo diretto le misure del vento e visualizza la media dei 2', la media dei 10', le direzioni e le velocità estreme.

Sempre in ambito aeroportuale viene utilizzato l'**anemografo IA/FMQ-20** che è costituito dai seguenti componenti:

- Unità di rilevamento
- Sensore velocità
- Sensore direzione
- Dispositivo di trasmissione ed alimentazione
- Unità centrale ed indicatore
- Registratore

Il vento misurato dall'anemometro viene visualizzato su un display digitale e registrato in graficamente tramite una stampante annessa al sistema. I dati visualizzati sono i valori istantanei del vento, i valori medi dei 2' e dei 10', l'intensità minima e massima se differiscono di almeno 10 Kts rispetto al vento medio calcolato sui 10', direzioni estreme se variano di almeno 60° rispetto alla media dei 10'. L'unità centrale può gestire i dati rilevati da un massimo di quattro sensori differenti e questo permette di dislocare nello stesso aeroporto quattro pali anemometrici con i rispettivi sensori e convogliare i dati in una unica unità centrale (molto utile per il rilevamento del Wind-Shear). I sensori si compongono di due parti distinte una per rilevare la direzione di provenienza l'altra per l'intensità del vento e sono installati alla sommità del palo anemometrico ad una altezza di 10 metri. Il sensore della velocità è costituito da un mulinello di Robinson a 3 coppe. Alla base dell'asse verticale è posizionato un disco forato (*ENCODER*). Al di sopra del disco si trova un *fotodiodo* mentre al di sotto vi è un fotorilevatore o fototransistor. Il fotodiodo emette una luce che arriva al corrispondente

fotorilevatore in modo intermittente, a causa della rotazione del disco solidale all'asse delle coppe e alla presenza dei *fori* posti all'esterno dell'encoder. La luce emessa agisce in modo da centrare la verticale tra i due fotosensori. La misurazione, quindi, si basa sulla frequenza degli impulsi di luce che arrivano al foto rilevatore durante la rotazione dell'encoder, che è funzione della velocità del vento.

Il sensore della direzione è costituito da una banderuola solidale ad un asse verticale sostenuto da cuscinetti di precisione in acciaio. La struttura è la stessa dell'intensità del vento, con un encoder che ha dei fori posizionati sulla superficie del disco, posti in modo da creare il codice Gray (codifica il valore digitale della posizione chiudendo o aprendo una serie di contatti elettrici o barriere ottiche). Al di sopra del disco sono posti 8 fotodiodi ed in corrispondenza di questi, ma al di sotto del disco, sono presenti 8 fotorilevatori. Gli 8 fotodiodi emettono una luce che non arriva a tutti i fotorilevatori corrispondenti, ma solo ad alcuni di loro in base al posizionamento dell'encoder. Avremo così tanti impulsi di illuminazione dei fototransistor ai quali corrisponderà un valore del codice "Gray" e quindi il corrispondente valore del settore angolare, in gradi sessagesimali, della direzione del vento.

Il sensore invia i dati all'unità centrale mediante un modem simplex di trasmissione, posto alla base del palo anemometrico dove sono allocate anche una batteria e un alimentatore.

L'Unità Centrale è costituita da:

- CPU
- Modem duplex
- Alimentatore
- Batteria tampone
- Pannello di Visualizzazione Digitale-Analogico

La CPU è il "*cervello*" del sistema nella quale vengono acquisiti tutti i dati dei sensori ed immediatamente diramati al ricevitore e al visualizzatore.

Il pannello di visualizzazione è composto da un display, per quanto riguarda l'intensità, e da un visualizzatore analogico per quanto riguarda la direzione. Vi sono, inoltre, dei tasti che permettono di:

- visualizzare dati degli altri sensori eventualmente collegati;
- selezionare i dati in relazione al tempo medio (istantaneo, media 2, media 10)
- selezionare unità di misura (m/s, kts)
- selezionare la luminosità dei led.

Il registratore grafico è costituito da una stampante ad aghi con carta a modulo continuo. La carta non è diagrammata e, ogni *6 minuti*, lo strumento stampa sia il diagramma che i tracciati dell'intensità e della direzione del vento sul modulo della stampante.

Uno strumento di ultima generazione utilizzato per la misura del vento è **L'anemografo sonico o a ultrasuoni**. Le caratteristiche che lo rendono molto apprezzato sono:

- comunica mediante un'ampia gamma di sistemi di acquisizione dati, utilizzando uscite digitali per interfaccia dati seriali RS-232 e RS-422;
- nessuna parte meccanica in movimento;
- ha un'ottima resistenza agli agenti atmosferici e agli elementi di contaminazione e corrosione;
- presenta facilità di installazione e allineamento al Nord vero;
- non dà problemi di inerzia dovuti all'accelerazione e alla decelerazione che possono portare ad una sottostima delle raffiche o a una sovrastima della velocità media;
- non soffre dell'effetto "bandiera" per quanto riguarda la direzione del vento.

Il sensore è costituito da *tre trasduttori* ad ultrasuoni equidistanziati su un piano orizzontale. Per calcolare la velocità del vento viene misurato il "*tempo di transito*", cioè il tempo occorrente all'ultrasuono per viaggiare da un trasduttore all'altro.

La direzione del vento viene calcolata dalla differenza di tensione che si genera all'interno dell'apparecchiatura a seconda del settore di provenienza del vento. I valori calcolati della misura del vento sono indipendenti dall'altitudine, dalla temperatura e dall'umidità poiché, grazie a questo principio di misura, gli effetti stessi di questi parametri si annullano. L'errore sulla velocità, dovuta a turbolenza, è eliminato e sia la direzione che l'intensità sono calcolati in base ai due migliori vettori registrati.

3.5 STRUMENTI PER LA MISURA DELLA VISIBILITÀ

La misura della visibilità in ambito aeroportuale, e più specificatamente la RVR, soprattutto in presenza di scarsa visibilità, è di fondamentale importanza per l'operatività o meno della pista.

La RVR è misurata con i **Trasmissometri** che devono essere posizionati in modo tale da permettere la migliore valutazione della distanza massima alla quale il

pilota di un aeromobile, sulla linea di mezzieria della pista (*center line*), può vedere la segnaletica o le luci che la delimitano. La condizione ideale sarebbe quella di misurare la RVR lungo l'intera estensione della pista soprattutto in presenza di particolari fenomeni ma ciò richiederebbe un numero di sensori elevato lungo la pista stessa e quindi di norma vengono installati nelle parti di maggiore interesse e cioè vicino alla zona di contatto TDZ (*Touch Down Zone*), "*metà pista*" e "*fine pista*". Il sistema di rilevazione RVR è composto da un proiettore e un ricevitore posizionati sullo stesso asse ad una distanza di 25 m, l'uno di fronte all'altro. Lungo l'intera pista di volo ne vengono installati, generalmente, *tre coppie* a circa 150 m dall'asse centrale in corrispondenza dei tre punti: *punto di attacco*, *centro pista* e *fine pista*. Il ricevitore viene installato all'interno della stazione meteorologica ed è costituito da un indicatore digitale del valore della RVR e da un registratore che riporta l'andamento della RVR su carta diagrammata. Il principio di funzionamento del trasmissometro è basato sulla capacità dello strumento di misurare la *trasparenza* della massa d'aria. Una sorgente luminosa convoglia un fascio di luce ad intensità costante verso il ricevitore munito di cellula fotoelettrica. All'interno del ricevitore vengono generati impulsi elettrici ad una cadenza proporzionale all'intensità della luce che incide sulla cellula fotoelettrica. Rilevando volta per volta, opportunamente, la variazione di corrente nel circuito del ricevitore, si risale alle condizioni di visibilità tra la sorgente luminosa e il ricevitore.



Fig.3 Trasmissometro

3.6 STRUMENTI PER LA MISURA DELLE PRECIPITAZIONI

L'apparato più diffuso nel Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare è il complesso pluviometrico elettrico *IA/FMQ-11/11A* che è composto di tre parti principali:

- cabina con imbuto raccoglitore (collettore) e sistema di riscaldamento;
- trasmettitore della quantità di precipitazione;
- registratore a distanza.

La **cabina** è costituita da un cilindro con apertura di accesso in lamiera di ferro zincata verniciata e deve essere installata nei pressi della capannina meteorologica, ad una distanza sufficiente da eventuali ostacoli (edifici, alberi, manufatti ecc.), onde evitare interferenze dovute soprattutto all'azione del vento durante il fenomeno della pioggia. Sulla parte superiore della cabina è montato un imbuto raccoglitore, avente la funzione di delimitare una determinata area destinata a raccogliere l'acqua precipitata e convogliarla all'interno della cabina stessa. L'imboccatura dell'imbuto (detta "*bocca tarata*") è circolare ed ha un diametro di 356,8 mm. Il fondo della cabina è forato al centro in modo da consentire il passaggio di un tubo per lo scarico dell'acqua raccolta.

Il **trasmettitore** raccoglie l'acqua proveniente dall'imbuto e ne misura la quantità.

La parte più caratteristica dello strumento è un dispositivo ad altalena costituito da un recipiente composto da due scomparti uguali non comunicanti tra loro. Il recipiente, poggiato su un perno centrale, espone alternativamente le sue aperture al tubo di raccordo dell'imbuto raccoglitore. Quando uno degli scomparti si riempie, l'equilibrio dell'altalena diventa sempre più instabile fino a quando, raggiunto il peso 20 grammi d'acqua, l'altalena trabocca facendo posizionare in corrispondenza del tubo del collettore l'altra apertura dello scomparto. Al dispositivo ad altalena è collegato il meccanismo di conteggio dei movimenti costituito da un contatto, azionato ad ogni movimento dell'altalena, tramite un magnete permanente. Ad ogni passaggio dell'altalena il contatto viene chiuso e produce un impulso di comando che viene trasmesso, attraverso un circuito, al registratore installato all'interno della Stazione Meteorologica. Ad ogni chiusura del contatto del trasmettitore, nel **registratore**, viene azionato un elettromagnete che, per mezzo di una coppia di ingranaggi e di un cardoide comanda i movimenti del braccio scrittura che a sua volta poggia su un rullo diagrammale sul quale, ad ogni scatto, corrispondono 0,2 mm di pioggia caduta. L'assenza di pioggia sarà registrata sul diagramma mediante una riga verticale continua. Il registratore si avvale, inoltre, di un sistema meccanico ad orologeria di precisione, la cui carica ha una durata di 32 giorni.



Fig.4 Pluviografo