



Il sistema integrato RASS - SODAR



Autore

Dott. Francesca Calastrini

Direttore Scientifico

Dott. Gaetano Zipoli

15 settembre 2000

Indice

Introduzione	2
1. RASS	4
1.1 Principio di funzionamento	4
1.2 Metodo di misura	6
1.2.1 Ricerca della frequenza ottimale	6
1.2.2 Profilo	7
1.2.3 Misure in presenza di vento	7
1.3 Caratteristiche principali del RASS	8
2. SODAR	10
2.1 Principio di funzionamento	10
2.2 Metodo di misura	11
2.3 Caratteristiche principali del SODAR	12
3. Sistema integrato	14
4. Esempi di profili rilevati con il RASS e il SODAR	15
5 Installazione del sistema integrato RASS - SODAR	23
Conclusioni	25
Ringraziamenti	26

Introduzione

Nel mese di aprile 1999 è iniziata presso il Laboratorio per la Meteorologia e Modellistica Ambientale (LaMMA) l'installazione del sistema integrato RASS – SODAR.

Il RASS (Radio Acoustic Sounding System) è uno strumento con cui è possibile rilevare il profilo verticale della temperatura, fino ad una quota di circa 600 metri, il SODAR (Sound Detection And Raging) consente di misurare i profili verticali di velocità e direzione del vento, anch'esso fino ad una quota di 500-600 m.

Il dispositivo integrato, costituito da tre antenne (una acustica, due elettromagnetiche) e da una cabina di controllo, si trova all'interno di un'area aperta nello stabilimento delle Officine Galileo, confinante con il laboratorio LaMMA.

Nella seguente figura è rappresentato il bacino di Firenze, Prato, Pistoia con l'indicazione della posizione degli strumenti di misura. Osservando la morfologia del territorio, in particolare l'orografia, si comprende come le misure profilometriche di temperature e di vento effettuate presso la sede del LaMMA possano essere considerate rappresentative per un'area più vasta, che comprende le città di Firenze e di Prato¹.

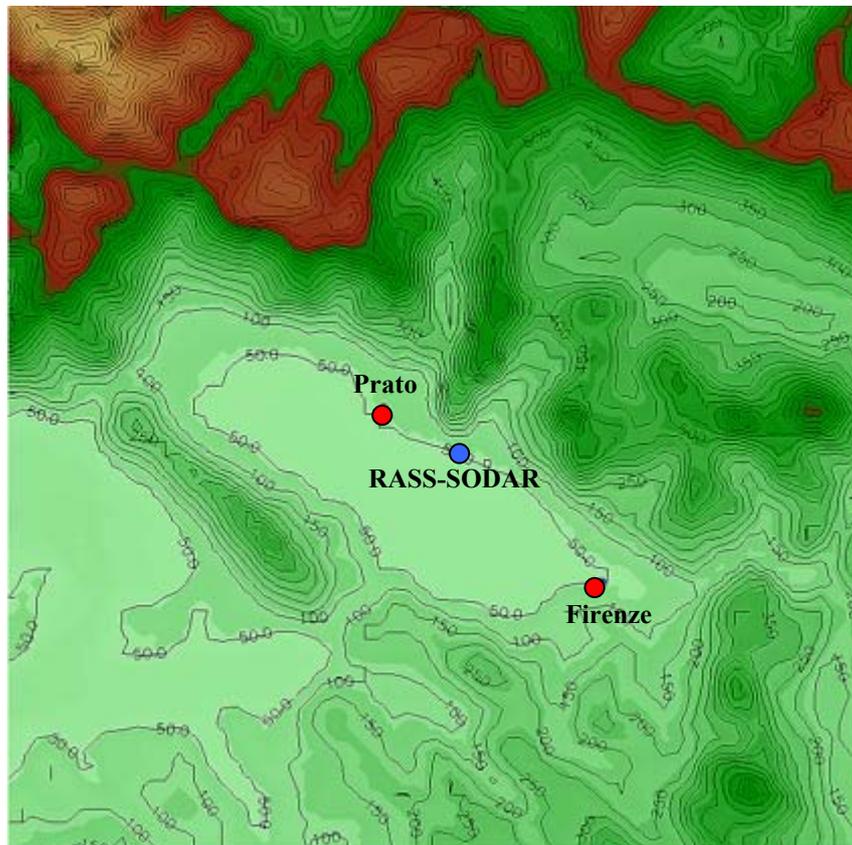


Figura 1 - Rappresentazione dell'orografia di una area di 60x60 km attorno alla valle di Firenze-Prato.

Le misure di profili di temperatura con il RASS sono iniziate il 16 aprile 1999: per la calibrazione dello strumento sono state necessarie sia modifiche della programmazione del dispositivo, sia dei cambiamenti per adattare il sistema alla particolare situazione locale. Al termine di circa due mesi di prove sono state individuate le condizioni ottimali per effettuare le misure.

La messa a punto del sistema integrato, comprensivo anche della parte SODAR per i profili di vento, è stata effettuata successivamente, nel mese di dicembre 1999. La predisposizione dello

¹ A rigore le misure rilevate in un'area aperta per essere estese alle aree urbane devono tenere conto del fenomeno "isola di calore".

strumento ha richiesto ulteriori accorgimenti, soprattutto per quanto riguarda l'insonorizzazione, resa necessaria da effetti indesiderati di eco dovuti a riflessioni su edifici vicini all'antenna acustica.

Dopo una prima parte in cui viene illustrato il principio di funzionamento su cui si basano il RASS e il SODAR, vengono descritti il metodo di misura e i risultati sperimentali ottenuti nei periodi di prova; infine viene descritta l'installazione dell'apparato strumentale.

1. RASS

1.1 Principio di funzionamento

Il principio di funzionamento del RASS si basa sull'invio in atmosfera di un pacchetto monocromatico di onde acustiche, la cui velocità dipende dalla temperatura locale dell'aria. La velocità del pacchetto acustico c_a e, conseguentemente, la temperatura locale, viene rilevata tramite un segnale elettromagnetico sinusoidale e monocromatico a radiofrequenza², che viene parzialmente riflesso a causa della variazione dell'indice di rifrazione elettromagnetico dell'aria, variazione provocata dall'onda di pressione (onda acustica).

La potenza del segnale elettromagnetico riflesso non sarebbe tuttavia apprezzabile se non fossero adottati alcuni accorgimenti; in particolare le condizioni di misura ottimali si hanno nel caso in cui:

1) il generatore acustico, il trasmettitore e il ricevitore di onde elettromagnetiche siano collocati in uno stesso punto. In tal caso le onde radio e di pressione emesse sono coincidenti, mentre le onde radio riflesse seguono il percorso inverso; in tal modo si ottimizza il trasferimento di energia elettromagnetica riflessa dall'onda sonora. In realtà, come vedremo in seguito, si tratta di una condizione ideale, non completamente rispettata;

2) la riflessione è massimizzata realizzando la condizione di risonanza di Bragg: il segnale acustico e il segnale elettromagnetico sono scelti in modo che $\lambda_r = 2\lambda_a$, cioè che la lunghezza d'onda radio λ_r sia il doppio di quella acustica λ_a . In questo caso il pacchetto di onde acustiche riflette in fase le onde radio.

Il segnale elettromagnetico riflesso, opportunamente amplificato, viene inviato ad un "mescolatore" insieme ad una frazione del segnale radio emesso dal trasmettitore. Dato che il segnale elettromagnetico viene riflesso da una superficie in movimento, cioè dal pacchetto costituito da n onde acustiche, la sua frequenza differisce da quella del segnale emesso per effetto Doppler. Se c_a è la velocità del pacchetto acustico e vale l'ipotesi 1), la frequenza di battimento f_b è:

$$f_b = 2c_a(T)/\lambda_r \quad (1)$$

Si noti che se vale l'ipotesi 2), cioè $\lambda_r = 2\lambda_a$, la frequenza di battimento coincide con quella acustica.

La velocità del pacchetto acustico c_a dipende dalla temperatura secondo la:

$$c_a = (\gamma R T(h)/M_o)^{1/2} (1 + 0,14 w(h)/p(h)) \quad (2)$$

dove:

$T(h)$ è la temperatura in K;

γ è il rapporto dei calori specifici a pressione e a volume costante;

R è la costante dei gas perfetti;

M_o è la massa molecolare dell'aria;

$w(h)$ è la pressione di vapor d'acqua,

$p(h)$ è la pressione atmosferica

Da misure di f_b si può ricavare la T nella regione in cui si trova il pacchetto acustico.

In pratica si ricava la temperatura dell'aria a varie quote campionando il segnale riflesso in istanti successivi: alla quota h corrisponde il ritardo Δt tra la partenza del segnale acustico e l'istante di misura del segnale radio riflesso. La temperatura $T(h)$, ottenuta dal segnale misurato dopo un

²Nel nostro caso la frequenza radio è pari a 439.725 MHz.

ritardo Δt , è la temperatura media della zona in cui si trova il pacchetto acustico, h è la quota corrispondente al centro del pacchetto acustico.

In pratica l'ipotesi 1) non viene realizzata: il trasmettitore e il ricevitore di onde radio sono equidistanti dal generatore di segnale acustico. In figura 2 è riportata una rappresentazione schematica delle tre antenne, mentre in figura 3 la loro posizione relativa.

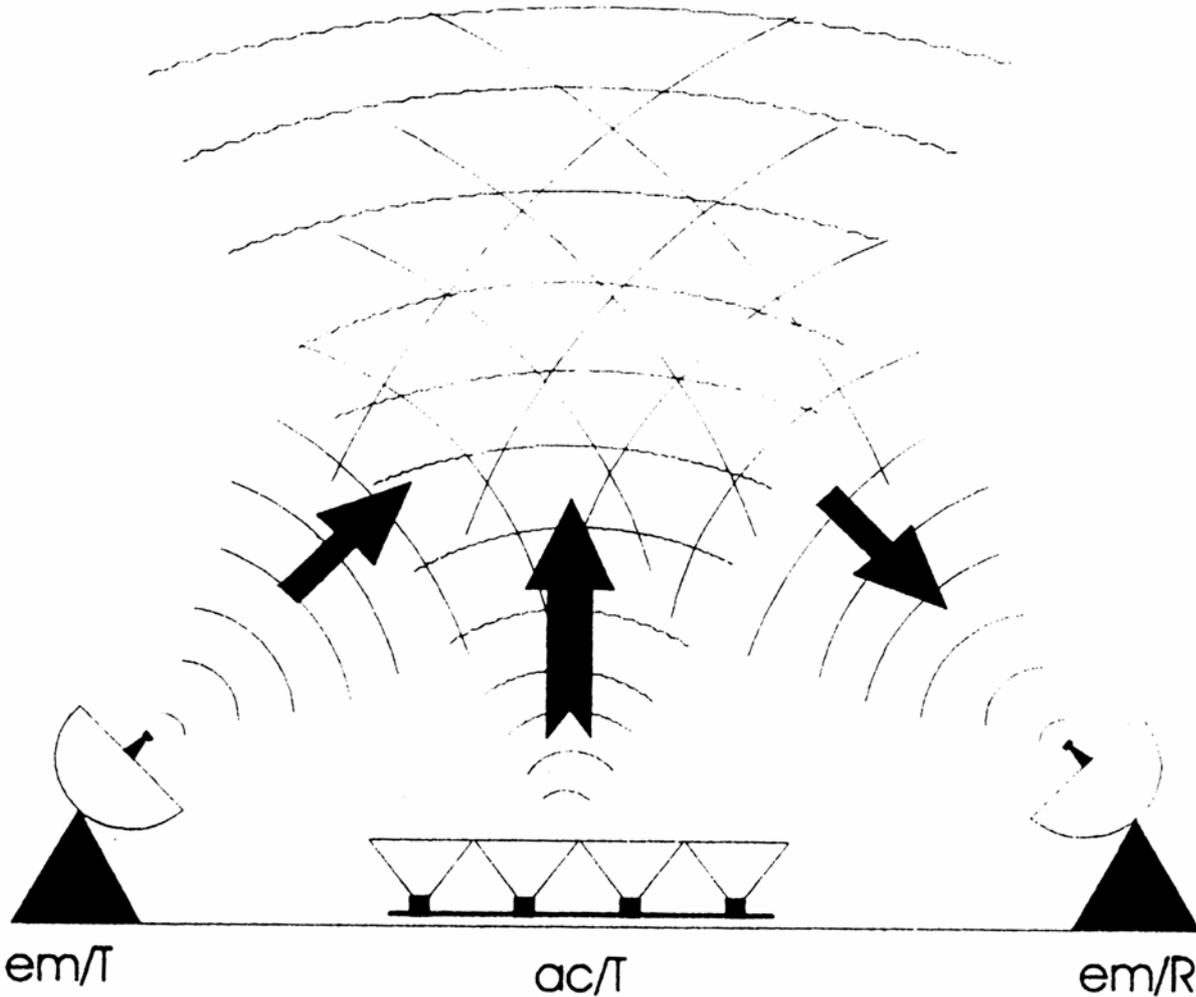


Figura 2 - Schema di funzionamento del RASS.

In questo caso la regione in cui si realizza la condizione geometrica ottimale per la misura, cioè l'intersezione dei lobi delle tre antenne, si trova a circa 40 metri di altezza; la prima quota di misura, tenendo conto della lunghezza del pacchetto acustico, si trova più in alto di un tratto pari a $n\lambda_a/2$, dove n è il numero di cicli del pacchetto.

$$h_1 = h_{\text{eff}} + n\lambda_a/2 \tag{3}$$

Ad esempio, se il pacchetto acustico ($\lambda_a=0.345$ m circa) è costituito da 120 cicli, il baricentro si trova a circa 20 m (corrispondenti a 60 cicli); otteniamo una prima quota di misura a 60 m.

Inoltre la formula (1), che vale nel caso di antenne radio e generatore acustico coincidenti, viene corretta dalla:

$$f_b = (2c_a(T)/\lambda_r)\cos(\arctg(d/h)) \quad (4)$$

dove d è la distanza tra le antenne radio e il generatore acustico .
Anche la quota h viene calcolata a partire da f_b :

$$h = \int_{\Delta t} c_a dt = (\lambda_r/2) \int_{\Delta t} f_b dt \quad (5)$$

Il valore della temperatura alla quota h si ricava dalla (2) e dalla (4):

$$T(h) = (f_b\lambda_r)^2/(\gamma R /Mo)[2\cos(\arctg(d/h))(1 + 4.714*10^{-5}(U - 30))]^2 \quad (6)$$

Il termine $0,14 w(h)/p(h)$ dell'equazione (4) è stato sostituito con $4.714*10^{-5}(U - 30)$, dove U è l'umidità relativa.

La misura della frequenza di battimento f_b , da cui si ricava anche la quota h dalla (5), viene effettuata contando il numero di periodi di un orologio quarzato contenuti nell'intervallo tra due passaggi attraverso lo zero del segnale di battimento. La precisione di questo metodo, detto di zero crossing, può essere aumentata valutando la frequenza su più cicli. Il valore dell'umidità relativa U (espressa in percentuale) è misurata da un sensore collocato in prossimità delle antenne.

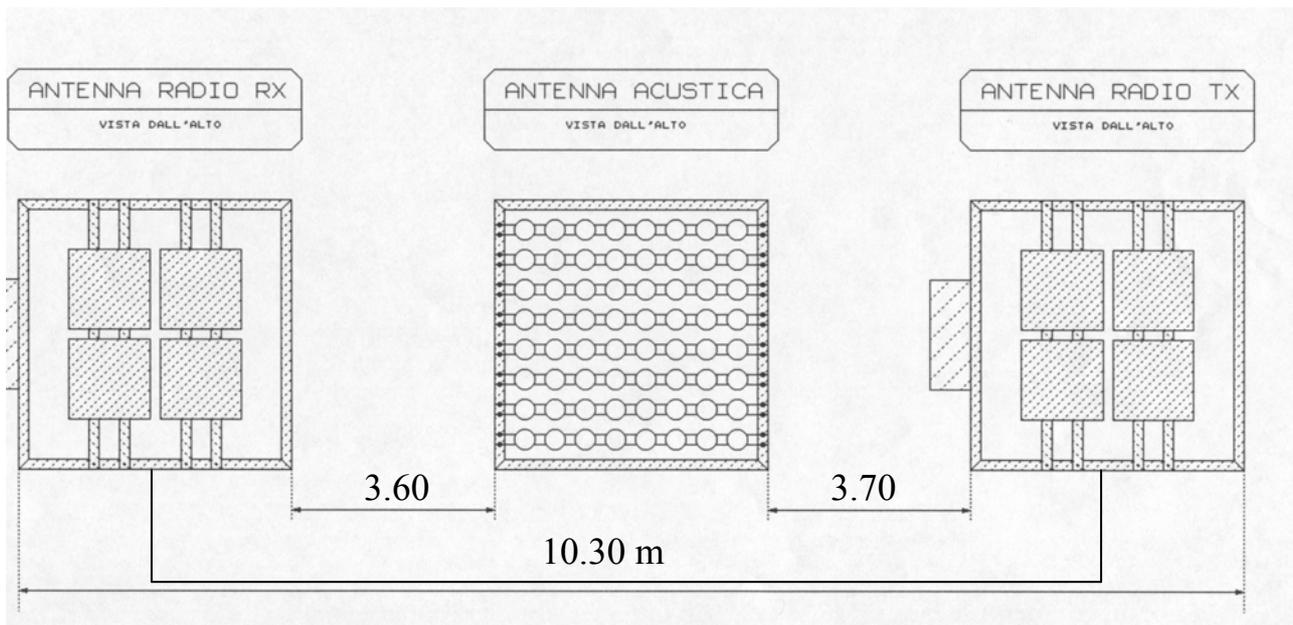


Figura 3 – Posizione relativa delle tre antenne.

1.2 Metodo di misura

1.2.1 Ricerca della frequenza ottimale

Per ricevere un segnale sufficientemente potente, come abbiamo visto, devono essere rispettate le condizioni 1) e 2). In particolare, perché valga la condizione 2), una volta fissata la frequenza radio e quindi la λ_r , si deve dare una stima della frequenza acustica con cui iniziare il sondaggio. Infatti, per avere un buon segnale di eco, la lunghezza d'onda acustica deve essere la metà di quella radio; dato che λ_a è legata alla frequenza acustica tramite $c_a(T)$ e quindi dipende dalla

temperatura locale, si rende necessario valutare la f_a di partenza considerando la temperatura e l'umidità relativa misurata a terra da due sensori collocati in prossimità del RASS, in base alla formula:

$$f_a = 2c_a(T)/\lambda_r = 2(\gamma R T / M_o)^{1/2}(1 + 4.714 \cdot 10^{-5}(U - 30))/\lambda_r \quad (7)$$

Una volta calcolata la frequenza acustica iniziale, viene effettuato un primo sondaggio, ad esempio con l'emissione di 5 bursts, e viene valutata l'intensità del segnale radio riflesso tramite l'integrale del segnale in uscita dal ricevitore. L'operazione viene ripetuta variando la frequenza di un valore impostato (es. ± 2 Hz): se l'integrale del segnale ottenuto in questi due casi è inferiore a quello relativo alla frequenza iniziale, la ricerca prosegue considerando una variazione di frequenza inferiore (es. $\pm 0,2$ Hz), altrimenti vengono effettuati sondaggi variando la frequenza con cui è stato ottenuto l'integrale maggiore. Dopo che è stato effettuato il primo profilo, è possibile scegliere come frequenza iniziale quella che è stata determinata per il profilo precedente.

La ricerca della frequenza ottimale può essere differenziata suddividendo la regione in esame in due o tre parti (ad esempio, zona bassa, tra 60 e 300 m, zona media, tra 300 e 600 m, zona alta, superiore ai 600 m): per ciascuna di queste zone viene effettuata la ricerca della frequenza ottimale, in modo da rispettare la condizione di Bragg anche in presenza di una marcata variazione della temperatura con la quota.

1.2.2 Profilo

Una volta trovata la frequenza, o le frequenze ottimali, si procede alla determinazione del profilo di temperatura al variare della quota. E' possibile impostare una serie di parametri con cui effettuare i sondaggi: questa flessibilità è vantaggiosa perché permette di adattare il metodo di misura alla particolare situazione in esame. Come abbiamo visto, è possibile suddividere la regione di studio in tre zone, in modo da differenziare la frequenza, il numero di cicli e il numero di sondaggi per misura; esiste poi una "zona di aggancio" tra una zona e la successiva (es. 200 m), nella quale viene effettuata una media tra i valori di temperatura trovati con sondaggi a frequenza diversa (es. frequenza ottimale per la zona bassa e quella relativa alla zona media).

Terminati i sondaggi, il profilo può venire archiviato o tenuto provvisoriamente in memoria per effettuare la media con altri profili rilevati successivamente: in questo caso il profilo archiviato sarà ottenuto come media di un certo numero di profili. Questa procedura può essere utile quando la condizioni meteorologiche sono instabili (forte vento) e una singola misura potrebbe risultare poco rappresentativa della situazione o soggetta a errore.

E' infine possibile programmare in modo differente le misure relative alle ore notturne e quelle diurne, in modo da adattarle a condizioni ambientali o esigenze diverse.

1.2.3 Misure in presenza di vento

In presenza di vento il metodo di misura RASS può subire forti limitazioni. Il vento infatti influisce sulla propagazione del pacchetto acustico, sia modificandone la velocità, sia "rompendo" il pacchetto stesso.

Consideriamo separatamente l'effetto della componente orizzontale e verticale del vento.

La componente orizzontale, se ha un profilo pressoché costante per una quota dell'ordine delle dimensioni del pacchetto acustico³, sposta lateralmente il fronte acustico senza deformarlo. D'altra parte nessun cambiamento avviene per l'onda radio e quindi ne consegue una perdita di cofocalità. Per compensare la perdita di cofocalità può risultare conveniente inviare pacchetti acustici con un numero di cicli piuttosto elevato, in modo da aumentare il segnale di eco; ovviamente, aumentando il numero di cicli la regione a cui corrisponde la temperatura attribuita alla quota del centro del

³ es. 80 cicli corrispondono a circa 30 m

pacchetto aumenta, rendendo la misura meno precisa. Inoltre la condizione di Bragg sull'intero pacchetto può venire compromessa, dando come risultato addirittura una riduzione del segnale per interferenza distruttiva. Si deve quindi raggiungere un compromesso tra le due esigenze per decidere il numero di cicli ottimale.

La componente verticale del vento, agendo nella stessa direzione di c_a , produce una variazione della velocità del pacchetto acustico:

$$c_{av} = c_a \pm vv \tag{9}$$

L'errore sulla misura della temperatura è:

$$\Delta T = \pm 1,6vv \tag{10}$$

dove T è in °K e vv in m/s.

Questo errore può essere eliminato misurando il profilo della componente verticale del vento con il SODAR, oppure notevolmente ridotto mediando su più profili ottenuti dopo un intervallo temporale di circa 10 - 15 minuti.

1.3 Caratteristiche principali del RASS

Lo schema a blocchi del RASS, riportato in figura 4, mostra sinteticamente i principali componenti dello strumento.

Il segnale acustico, prodotto da un sintetizzatore di frequenza, viene fatto passare attraverso un generatore di “burst” che ne determina la durata e quindi il numero di cicli. Il segnale viene poi amplificato prima di essere inviato all’antenna acustica, che è costituita da un “phased-array” di 64 celle a tromba. Come riportato in tabella 1, la potenza acustica emessa è pari a 100 W, distribuita su un angolo di circa 10°, ad una frequenza di circa 1000 Hz ed una λ_a di 0.34089 m.

	ACUSTICO	RADIO
Frequenza	~1000 Hz	439.725 MHz
Lunghezza d'onda	0.34089 m	0.68177 m
Potenza acustica	100 W	

Tabella 1 - caratteristiche del sistema RASS.

Le antenne radio (trasmettitore e ricevitore) sono un array di 8 dipoli, raggruppati in coppie su 4 pannelli, con l’asse di radiazione rivolto verso lo zenit.

Il trasmettitore emette su di un angolo sufficientemente ampio da garantire condizioni di lavoro anche in presenza di vento. La potenza emessa è pari a 25 W, la frequenza del segnale è di 439.725 MHz (e la corrispondente λ_r è di 0.68177 m). Una frazione del segnale trasmesso viene inviato, con la funzione di oscillatore locale, al ricevitore, per il battimento con il segnale ricevuto, in modo da ottenere la frequenza Doppler.

Il ricevitore radio comprende un filtro a larga banda centrato su una frequenza di 439 MHz per l’individuazione della componente spettrale di interesse, uno stadio di amplificazione e un mixer per il battimento.

Il segnale in uscita, prima di essere digitalizzato, viene ulteriormente filtrato da un filtro ad inseguimento a banda stretta, programmabile da computer.

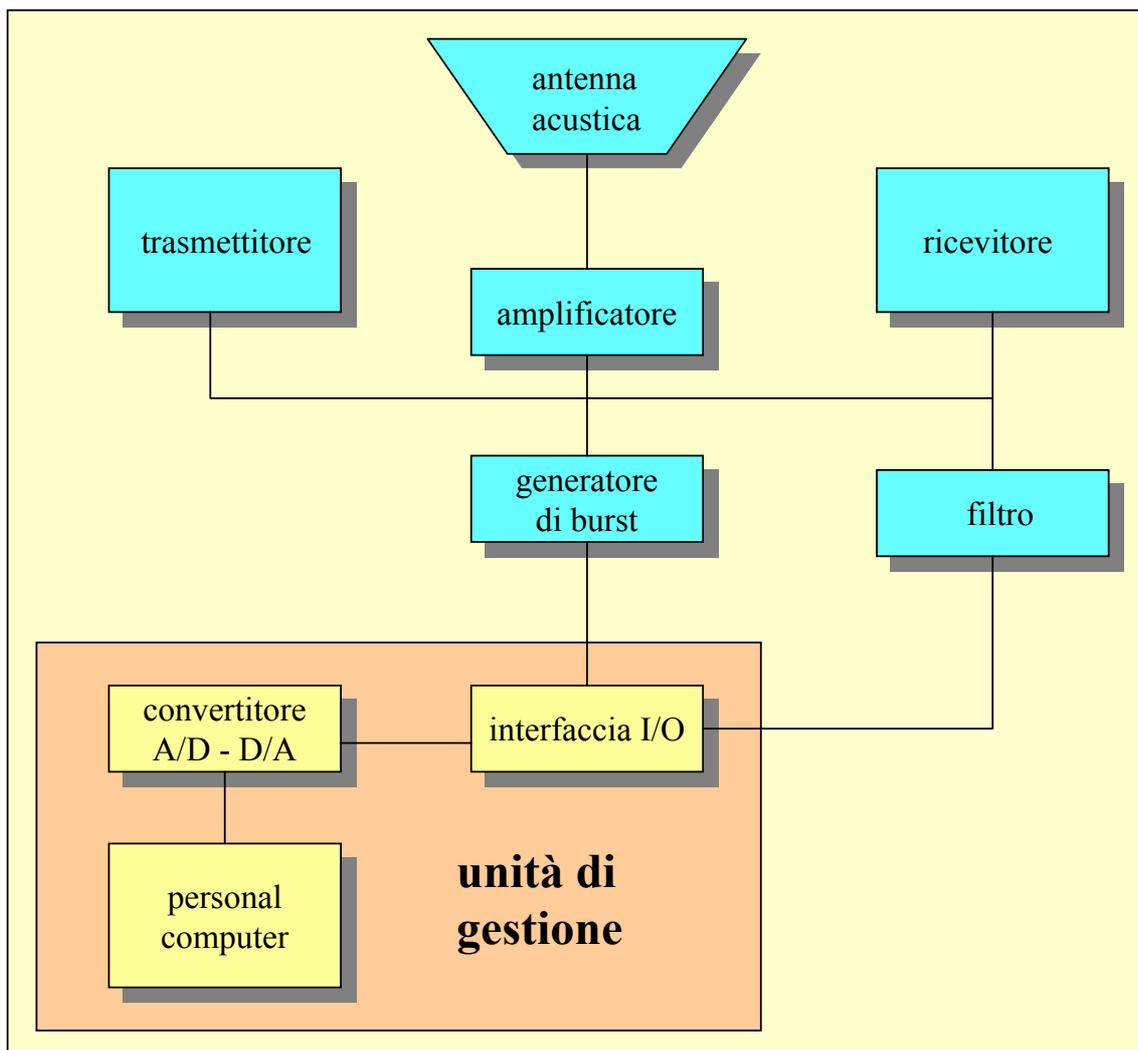


Figura 4 – Schema a blocchi dei principali componenti del RASS.

L'unità di gestione ed elaborazione dati è costituita da un personal computer e da un modulo di interfaccia verso la strumentazione, entrambi inseriti in un rack all'interno della cabina di controllo.

Come sistema operativo di supporto per il RASS è stato scelto UNIX, in quanto particolarmente flessibile e adatto a questa applicazione, che richiede un software di gestione per l'acquisizione di segnali analogici e digitali, oltre che la possibilità di elaborare in tempo reale i dati acquisiti, di rappresentare graficamente i risultati, di archiviare i dati e di trasmetterli.

Tutte le funzioni del RASS sono così gestibili dal personal computer, attraverso un'interfaccia grafica organizzata a finestre da cui è possibile accedere sia a funzioni di programmazione che di elaborazione. E' inoltre possibile visualizzare l'ultimo profilo ottenuto o altri registrati precedentemente, seguire la misura in corso osservando il segnale con una apposita finestra che visualizza lo schermo di un oscillografo, accedere all'archivio storico ed eventualmente trasferire i files corrispondenti a misure passate su floppy o CD.

2. SODAR

2.1 Principio di funzionamento

Il SODAR è un sistema di misura che si basa sull'emissione in atmosfera di una serie di impulsi acustici (in particolare di un pacchetto monocromatico di onde acustiche) che vengono diffusi dalle disomogeneità termiche, rappresentate dalle masse di aria in movimento. La frazione di segnale che viene retrodiffusa torna al sensore con una frequenza che differisce dalla frequenza del segnale emesso per effetto Doppler, dato che la riflessione è stata causata da superfici in moto. Dalla misura della frequenza Doppler, cioè dalla frequenza dell'eco, si ottiene la velocità del vento, o meglio, la componente della velocità del vento lungo la direzione di propagazione del pacchetto acustico, in base all'equazione 11.

$$v = c_a f_d / 2f_a \quad (11)$$

dove:

v = componente della velocità del vento

c_a = velocità del suono nell'aria

f_d = frequenza Doppler

f_a = frequenza del pacchetto di onde acustiche emesso

La scelta della frequenza del segnale emesso deriva da un compromesso tra due condizioni contrastanti, gli effetti assorbenti dell'atmosfera ed il rumore ambientale, sia di natura antropica che naturale. Infatti l'attenuazione atmosferica aumenta all'aumentare della frequenza, mentre un limite inferiore è posto dalla presenza del rumore ambientale, particolarmente penalizzante per basse frequenze: i risultati sperimentali mostrano che il range di frequenze ottimali è compreso tra 1500 e 2000 Hz.

Frequenze più alte offrono il vantaggio di una maggiore direttività, o di un maggior guadagno, ma ciò comporta anche un aumento dei lobi laterali, che possono recepire rumore ambientale. D'altra parte un cono di antenna troppo ampio provoca una perdita di risoluzione spaziale ed un allargamento dello spettro del segnale di ritorno causato dalla maggiore scorrelazione dei moti turbolenti dell'aria corrispondente ad un volume maggiore. I valori ottimali di angolo di apertura sono compresi tra 5° e 10° .

Analizzando il segnale di ritorno in funzione del tempo è possibile ricavare la componente v del vento a varie quote.

Per ottenere informazioni sul vettore vento è indispensabile effettuare sondaggi in tre diverse direzioni, in modo da ricavare tre componenti.

Dall'analisi nel tempo del segnale e da tre sondaggi in tre differenti direzioni è così possibile effettuare misure profilometriche di velocità e direzione del vento.

Il periodo di ripetizione degli impulsi emessi definisce la portata dello strumento, in quanto determina il tempo massimo dell'eco di ritorno e quindi la quota massima raggiungibile.

La durata dell'impulso acustico è invece direttamente correlata alla quota minima di rilevamento, nel caso in cui l'antenna sia di tipo monostatico, dato che nel periodo di trasmissione è disabilitata la funzione di ricezione. Anche la risoluzione in quota dipende dalla durata dell'impulso, in particolare si considera la metà della lunghezza spaziale del treno di onde ($n\lambda_a/2$).

La risoluzione dipende inoltre dalle caratteristiche spettrali del ricevitore (banda passante, campionamento della FFT, etc.), mentre l'accuratezza, oltre che dai precedenti fattori, dipende soprattutto dal rapporto segnale/rumore.

Nella seguente tabella sono riportate le prestazioni del sistema SODAR installato presso il LaMMA.

Prestazioni	
Portata	40-600 m
Risoluzione verticale	8-33 m
Accuratezza	± 0.25 m/s
Risoluzione	0.15 m/s
Vento misurabile	Orizzontale: 0-30 m/s Verticale: 0-10 m/s

Tabella 2 – Prestazioni del sistema SODAR.

2.2 Metodo di misura

Il sistema integrato RASS-SODAR prevede l'uso di una sola antenna acustica. Questa è di tipo monostatico, funziona quindi sia in trasmissione che in ricezione; durante le misure il SODAR alterna treni acustici nella direzione verticale e lungo altre due direzioni, ortogonali tra loro, in modo da determinare tre componenti, per la ricostruzione del profilo del vettore vento.

Si tratta di un sistema innovativo, in quanto generalmente per la determinazione delle tre componenti del vento vengono utilizzate tre antenne distinte, ciascuna orientata secondo la direzione di misura. In questo caso le tre antenne, che emettono in contemporanea, utilizzano tre frequenze diverse, per evitare che gli echi di ritorno interferiscano. Viceversa, questo sistema opera con una sola frequenza, alternando le direzioni di misura. Il vantaggio principale consiste nel minor ingombro dell'apparato, mentre le prestazioni sono sostanzialmente analoghe.

L'antenna acustica, costituita da un array di 64 celle, è gestita in modo tale da sfasare le emissioni acustiche di ciascuna cella, così da realizzare un fronte d'onda che si muove in direzione verticale (nessuno sfasamento), in una direzione angolata rispetto alla verticale (operando un opportuno ritardo lungo le "righe", costituite da 8 celle) e in una direzione ortogonale alla precedente (operando lo stesso ritardo lungo le "colonne", costituite sempre da 8 celle).

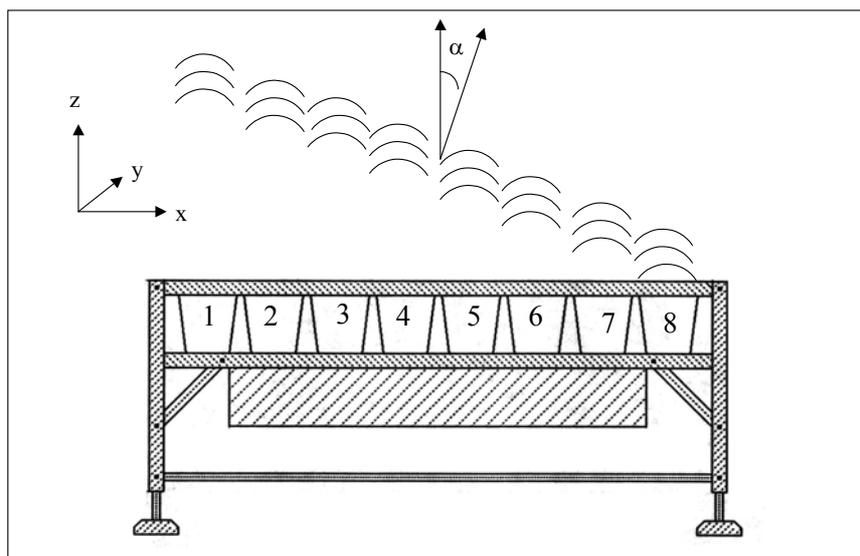


Figura 5 – Schema dell'emissione di bursts con ritardi progressivi.

Nella precedente figura è rappresentata la situazione che si ottiene operando uno sfasamento nell'emissione: la prima riga di 8 celle acustiche (direzione asse y) non ha nessun ritardo, la seconda riga ha un ritardo Δt , la terza $2\Delta t$, e così via fino all'ottava riga. Il fronte d'onda risultante sarà quindi inclinato, la direzione di propagazione formerà un angolo α rispetto alla direzione verticale; aumentando il ritardo Δt l'angolo α , e quindi l'inclinazione del fronte d'onda rispetto alla direzione verticale, aumenta.

Analogo risultato si ottiene effettuando i ritardi lungo le 8 "colonne", cioè lungo la direzione x : se il ritardo Δt è lo stesso, il fronte d'onda si propaga con la stessa inclinazione rispetto alla verticale, a 90° rispetto al fronte individuato introducendo i ritardi lungo la direzione y .

Il ritardo Δt può variare da un minimo di $50 \mu s$ ad un massimo di $200 \mu s$.

In fase di ricezione la situazione si inverte, l'ultima "riga", o "colonna", a cui era stato attribuito il ritardo maggiore, sarà la prima a ricevere il segnale retrodiffuso, mentre le altre righe riceveranno successivamente, dopo un ritardo programmato, via via crescente.

2.3 Caratteristiche principali del SODAR

Le principali caratteristiche del SODAR sono riassunte in tabella 3.

Caratteristiche tecniche	
Frequenza	2000 Hz
Angolo di osservazione	20°
Durata dell'impulso	50-200 m/s
Potenza acustica	100 W

Tabella 3 - caratteristiche del sistema SODAR.

Lo schema a blocchi del SODAR, riportato in figura 5, rappresenta i principali componenti dello strumento.

L'antenna acustica è un phased-array di 64 altoparlanti, o celle, indipendenti; ciascuna cella è gestita da una scheda che contiene una propria circuiteria, costituita da uno stadio di amplificazione di potenza per l'emissione dei bursts, da un generatore di bursts, da uno stadio di amplificazione con guadagno variabile per il segnale Doppler, da uno stadio di diagnostica, il tutto gestito da un microprocessore.

Le otto schede corrispondenti a una riga sono collocate in un cestello, dotato di un proprio alimentatore. Le uscite delle otto schede di un cestello fanno capo separatamente ad una nona scheda, o mixer, che ha la possibilità di introdurre i ritardi e contiene uno stadio per la miscelazione del segnale ricevuto ed un filtro del 5° ordine.

Il segnale miscelato e filtrato, proveniente dai cestelli, fa capo ad un ultimo mixer da cui esce un unico segnale.

Le 73 schede sono collegate ad una CPU che ha la funzione di gestire tutti i segnali con gli opportuni ritardi, sia in trasmissione sia in ricezione, e di garantire il colloquio con il computer che gestisce il sistema SODAR.

Tutta l'elettronica è alloggiata in un rack fissato sotto l'antenna acustica, mentre il personal computer si trova all'interno della cabina di controllo.

I programmi di analisi del SODAR sono gestiti da un PC Pentium II; il sistema operativo utilizzato è DOS.

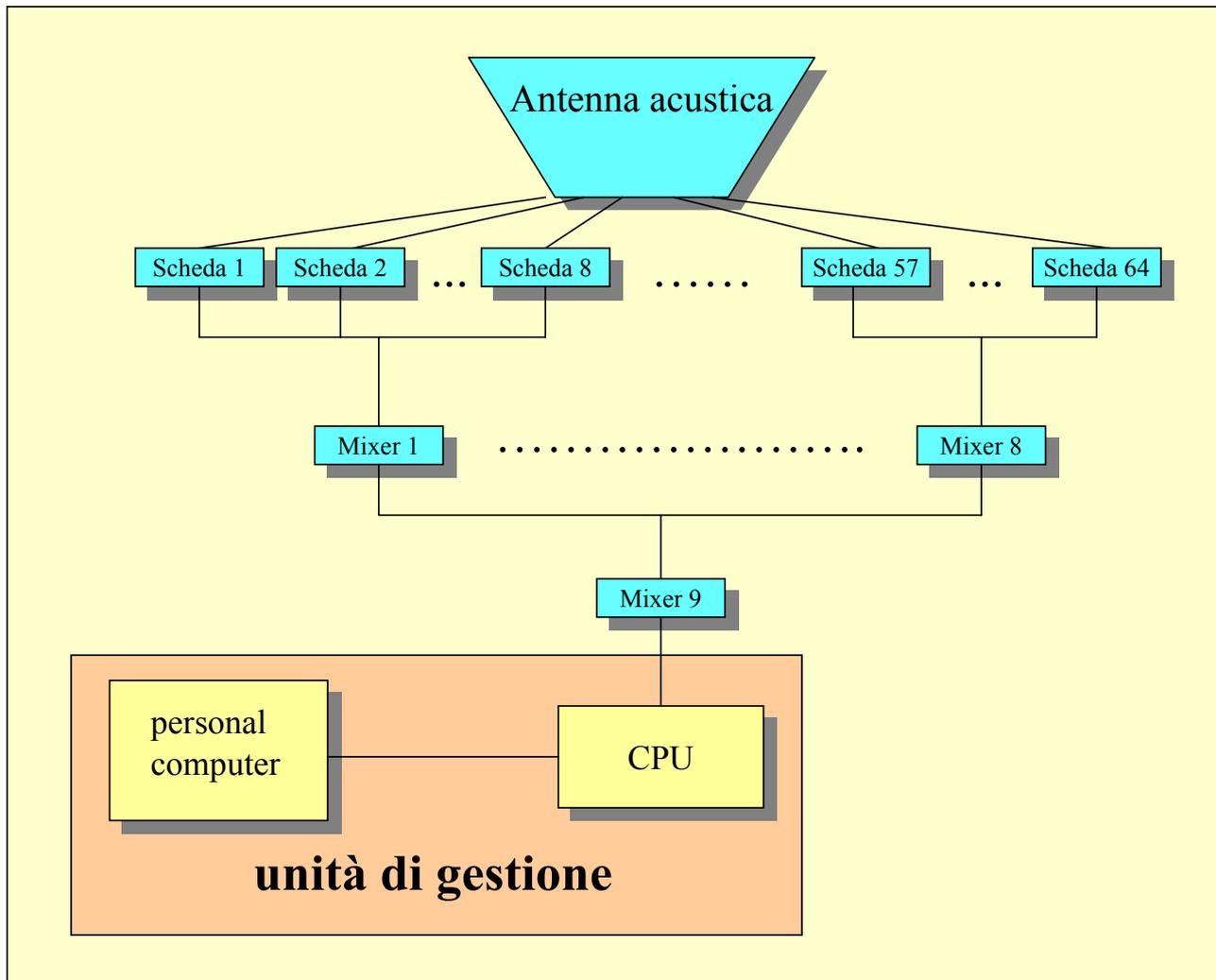


Figura 6 - Schema a blocchi del SODAR.

3. Sistema integrato

Il sistema integrato effettua alternativamente misure di temperatura, tramite il RASS e di velocità e direzione del vento, tramite il SODAR.

Dato che l'antenna acustica è utilizzata in entrambe le modalità, lo stadio di amplificazione di ogni altoparlante è preceduto da un mixer a due vie: attraverso la prima via passano i bursts emessi dal RASS, mentre attraverso la seconda via arrivano i segnali generati dalle schede che costituiscono l'elettronica di gestione del SODAR.

Il RASS esegue profili di temperatura ogni ora, impiegando per i sondaggi circa 15 minuti; successivamente vengono effettuate le misure, anche queste orarie, con il SODAR che impiega circa 30 minuti per ottenere un profilo di velocità e direzione del vento.

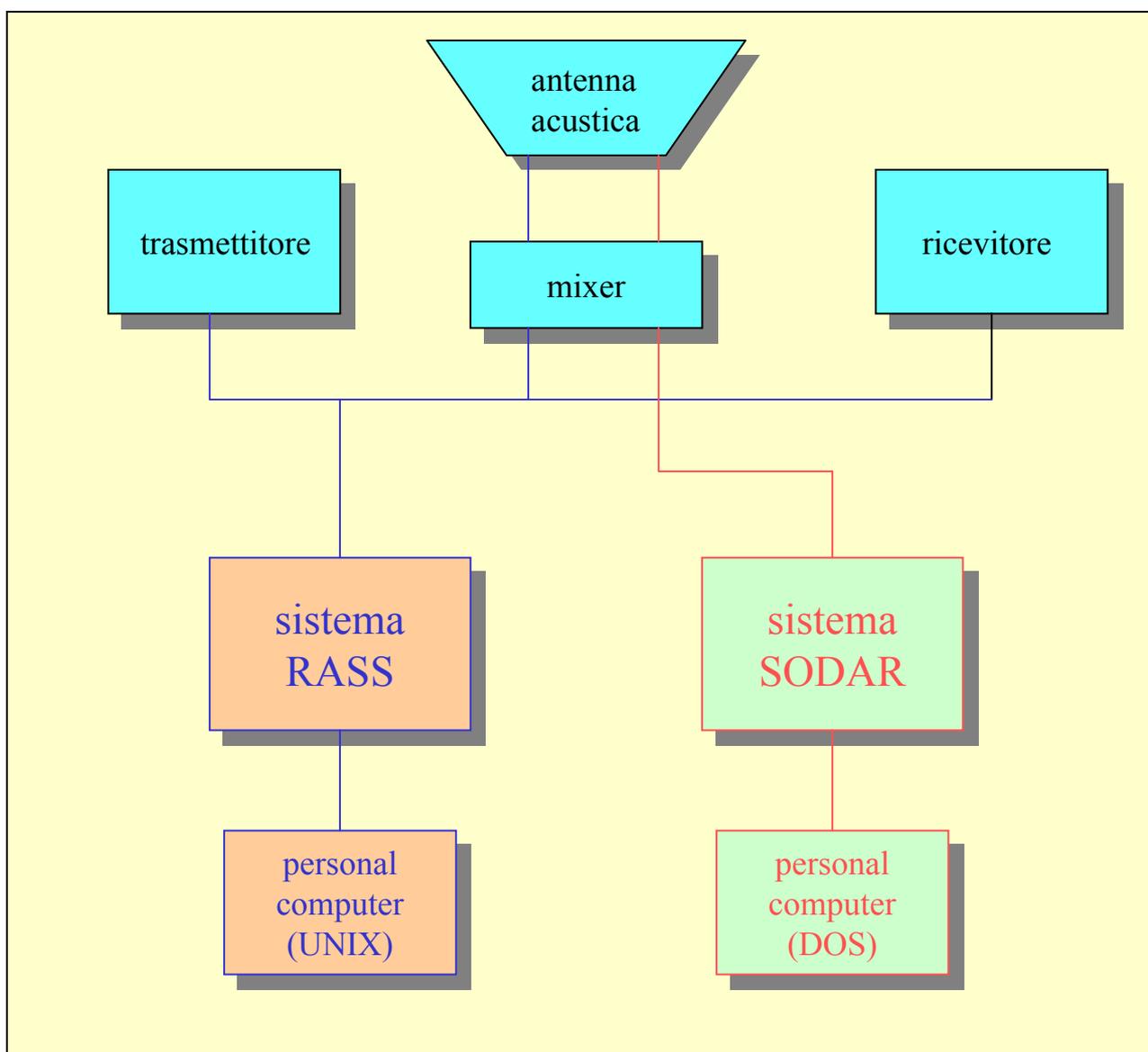


Figura 7 - Schema a blocchi del sistema integrato.

4. Esempi di profili rilevati con il RASS e il SODAR

Nelle pagine successive è riportato un esempio di profilo di temperatura con le relative misure a varie quote (fig. 8), il riepilogo giornaliero dei profili (figg. 9-10) ed il riassunto dei parametri impostati per il RASS (fig. 11); le uscite SODAR sono rappresentate nelle figg. 12-15.

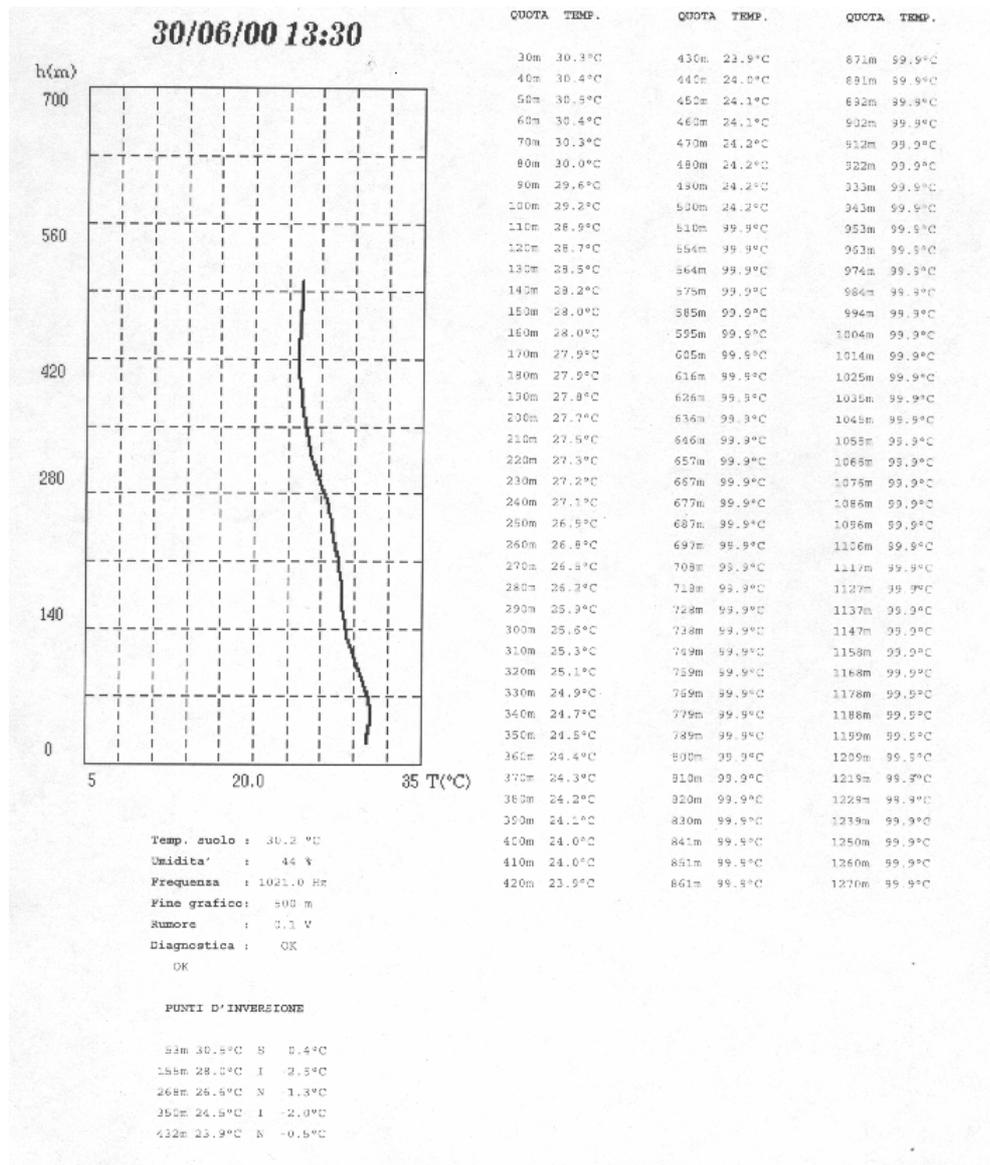


Figura 8 Profilo di temperatura con le relative quote e temperature.

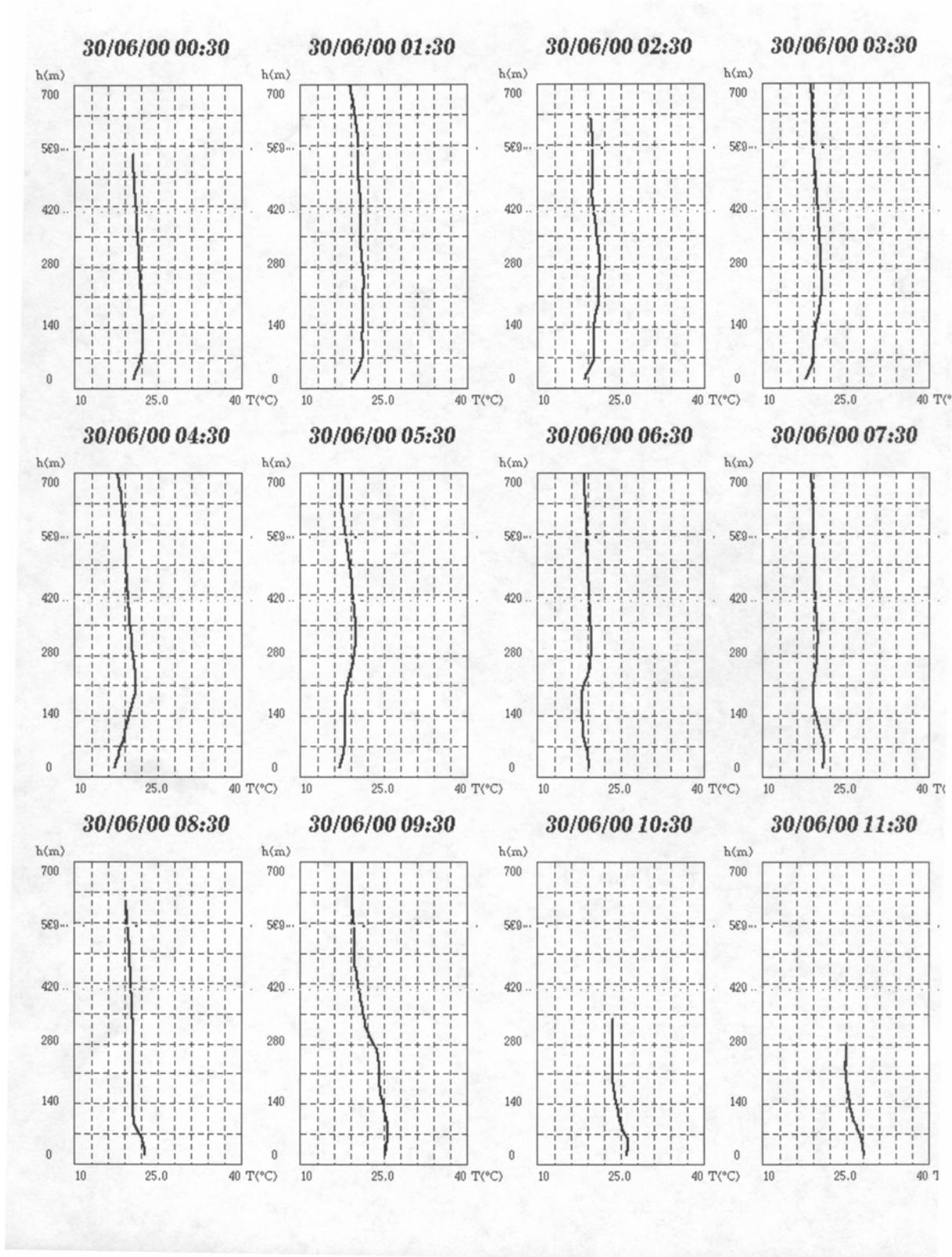


Figura 9 – Riepilogo giornaliero dei profili di temperatura effettuati.

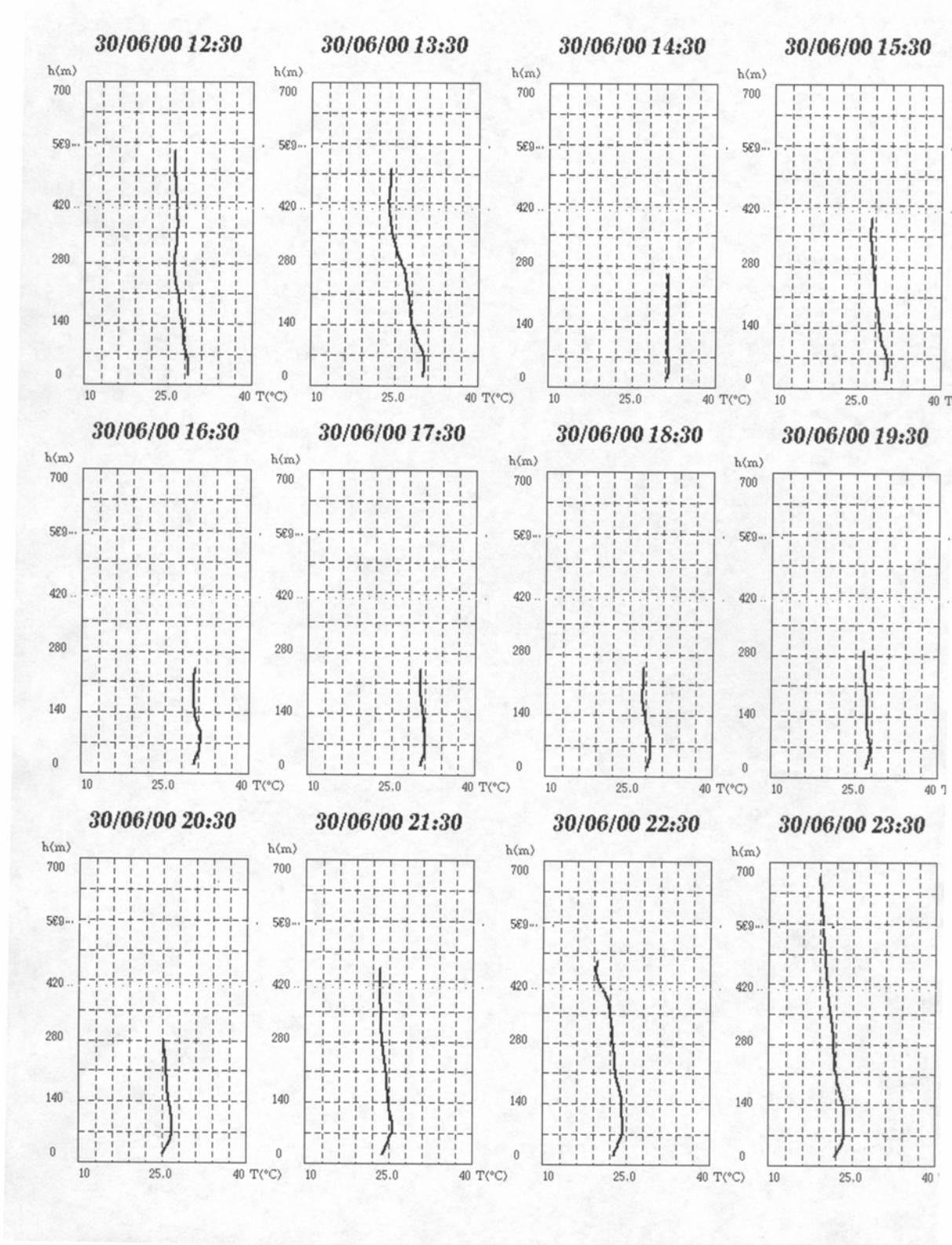


Figura 10 – Riepilogo giornaliero dei profili di temperatura effettuati.

```

Ricerca multipla abilitata: SI   Frequenza iniziale:   CALCOLATA
Numero di sondaggi:      8   Tempo di acquisizione: 3.0
Delta iniziale:         2.0  Delta finale:         0.2

PROFILO
ZONA BASSA; Frq: 1017.9  Cicli: 80   Quota max: 200  N.Sond: 25
ZONA MEDIA; Frq: 1014.9  Cicli: 160  Quota max: 500  N.Sond: 25
ZONA ALTA ; Frq: 1013.9  Cicli: 0    Quota max: 0    N.Sond: 0
Divisione per zone:     SI   Zona di aggancio: 200
Tempo di acquisizione:  4.0  N. di cicli per la media: 30
Minimo sondaggi per punto: 15  Punti inv. per fine grafico: 2
Quota inizio grafico:   0    Quota fine grafico: 700
Rapporto segnale rumore: 2.5  Banda filtro:      6

SMUSSAMENTO
Moltiplicatore RMS:    3.0  Max RMS per ripetere calcolo: 0.5
Max RMS per eliminare punto: 5.0  Minimo RMS: 0.2

GRADIENTE
Metodo gradiente:     NO
Delta temperatura:    0.0  Delta frequenza: 2.0
Inizio zona di stabilita': 0.00  Isteresi di stabilita': 0.40
Inizio zona di instabilita': -1.70  Isteresi di instabilita': 0.40

SENSORI
Sensore 1 -> 13 m
Umidita'
Lettura dal sensore: SI  valore di default: 45.0
Valore   Min: 0.0   Max: 100.0  Tensione Min: 0.5   Max: 2.5
Temperatura
Lettura dal sensore: SI  valore di default: 17.0
Valore   Min: -30.0 Max: 70.0   Tensione Min: 0.5   Max: 2.5
Sensore 2 -> 0 m
Umidita'
Lettura dal sensore: NO  valore di default: 0.0
Valore   Min: 0.0   Max: 0.0   Tensione Min: 0.0   Max: 0.0
Temperatura
Lettura dal sensore: NO  valore di default: 0.0
Valore   Min: 0.0   Max: 0.0   Tensione Min: 0.0   Max: 0.0
Sensore 3 -> 0 m
Umidita'
Lettura dal sensore: NO  valore di default: 0.0
Valore   Min: 0.0   Max: 0.0   Tensione Min: 0.0   Max: 0.0
Temperatura
Lettura dal sensore: NO  valore di default: 0.0
Valore   Min: 0.0   Max: 0.0   Tensione Min: 0.0   Max: 0.0

ARCHIVIAZIONE
Giorni permanenza su disco: 1000  Numero min. files in archivio: 200
Cancellazione automatica: NO
File storico: Storico

GENERALI
Identificatore RASS: 1  Minuti di anticipo acc. TX: 1
Potenza burst: 8  Zona d'ombra: 40
Lambda acustico: 0.3  Semidistanza antenne: 5.5
Ritardo filtro (ms): 187
Burst antigelo: NO
Potenza burst antigelo: 1  Cicli burst antigelo: 20
Frequenza burst antigelo: 1000.0  Tempo fra burst antigelo (s): 0

```

Figura 11 – Riepilogo dei principali parametri selezionati per effettuare i profili di temperatura.

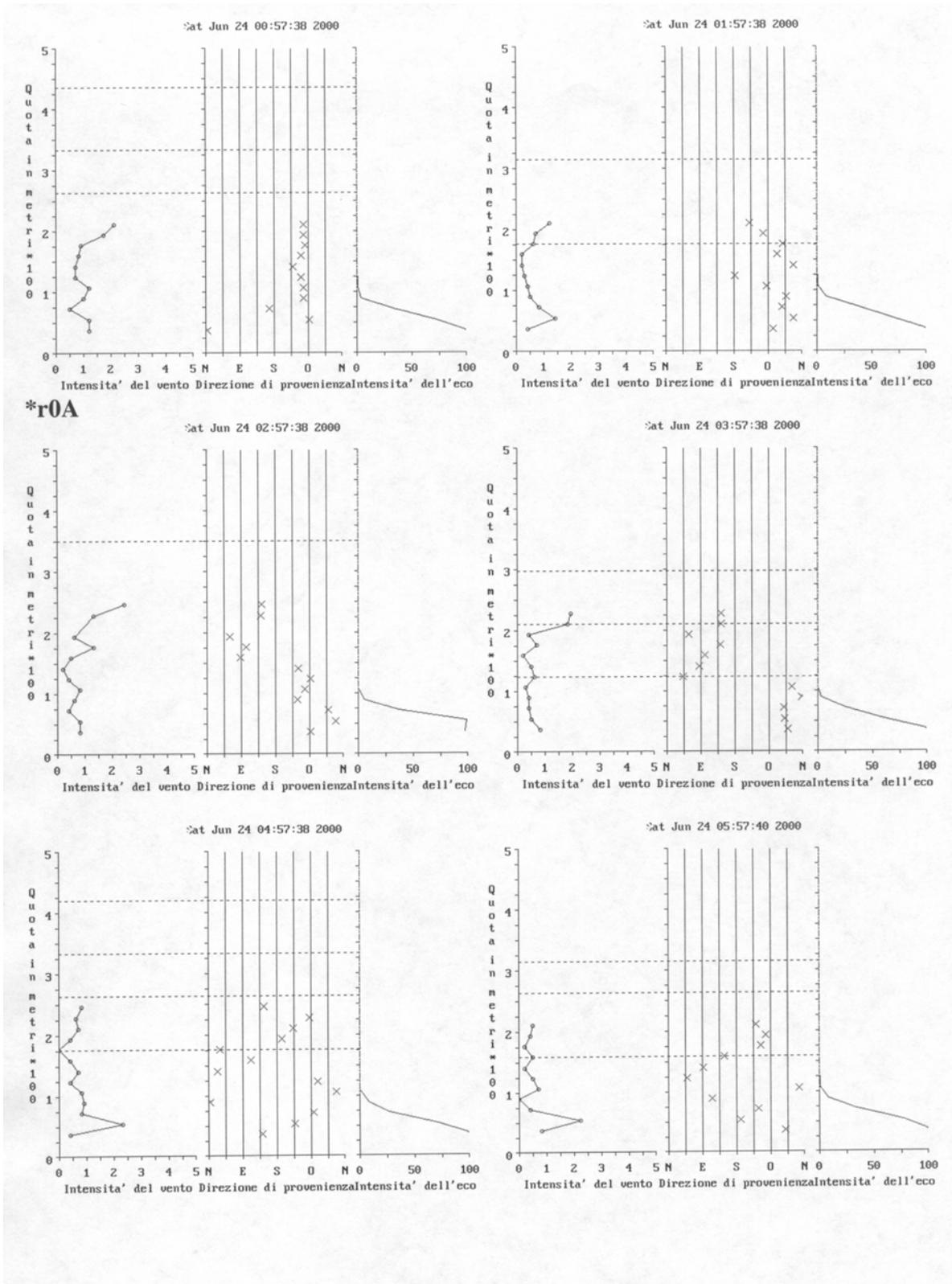


Figura 12 – Riepilogo giornaliero dei profili di vento: il primo grafico rappresenta la velocità del vento, il secondo la direzione, il terzo l'eco di ritorno.

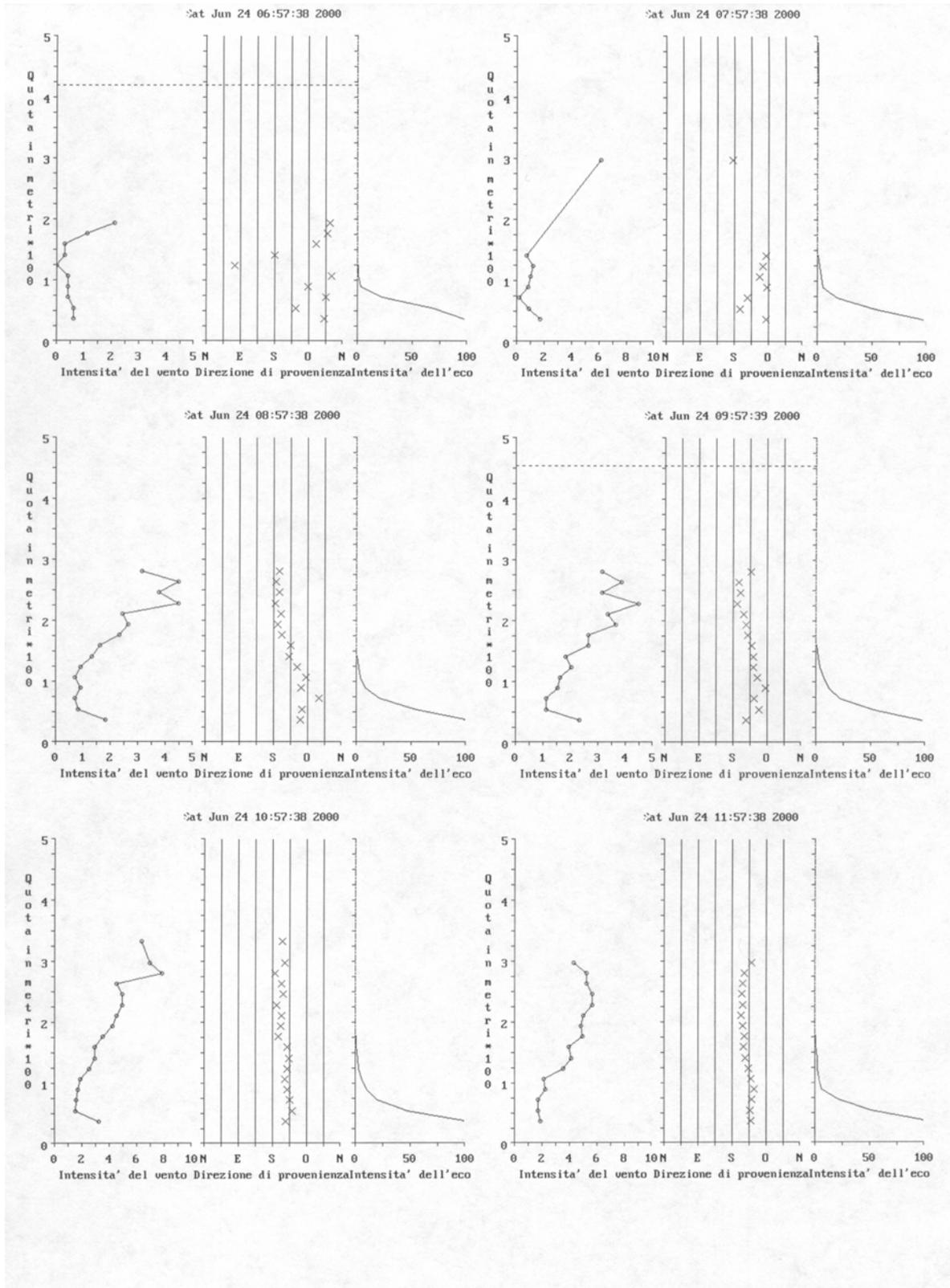


Figura 13 – Riepilogo giornaliero dei profili di vento: il primo grafico rappresenta la velocità del vento, il secondo la direzione, il terzo l'eco di ritorno.

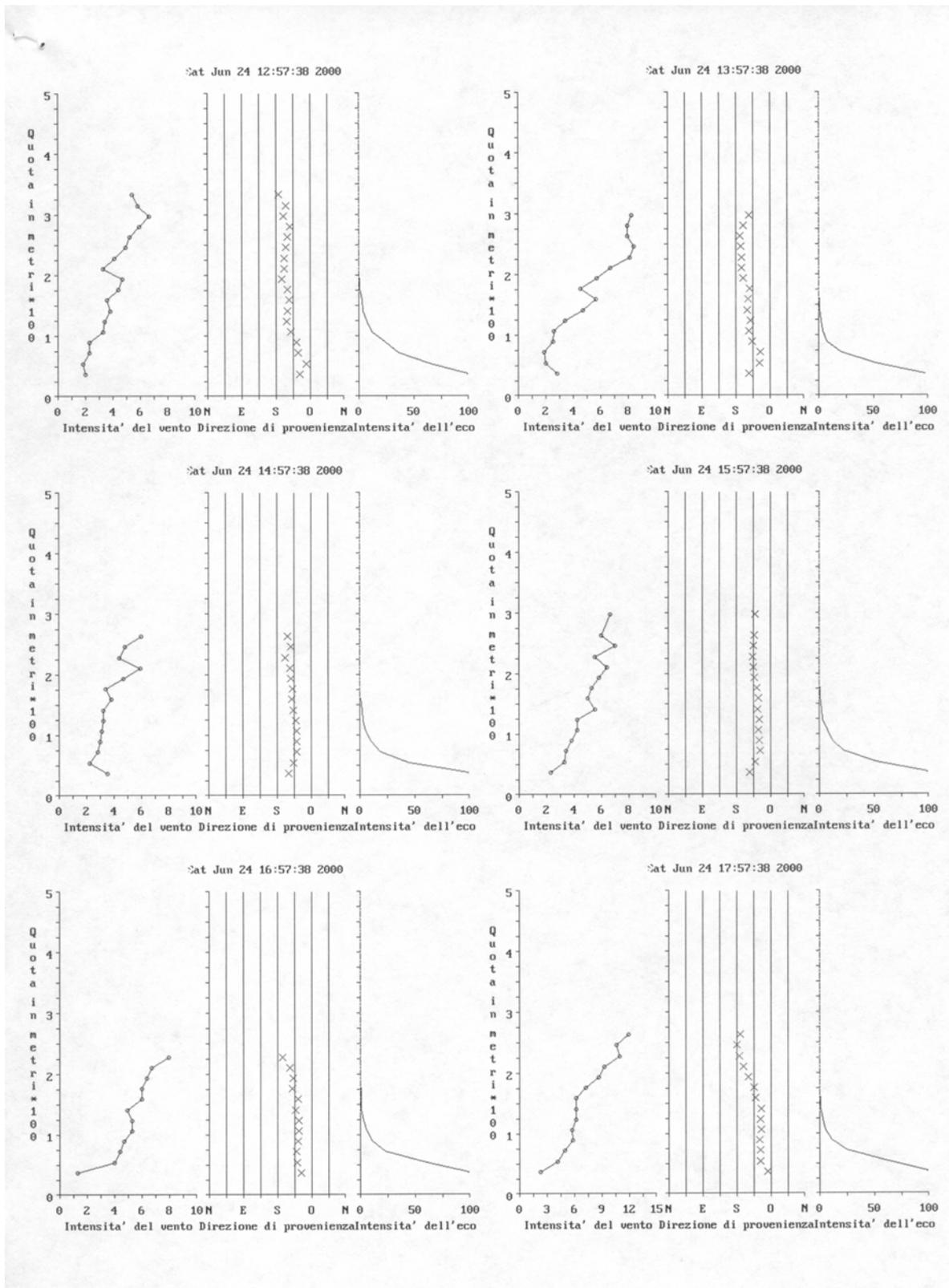


Figura 14 – Riepilogo giornaliero dei profili di vento: il primo grafico rappresenta la velocità del vento, il secondo la direzione, il terzo l'eco di ritorno.

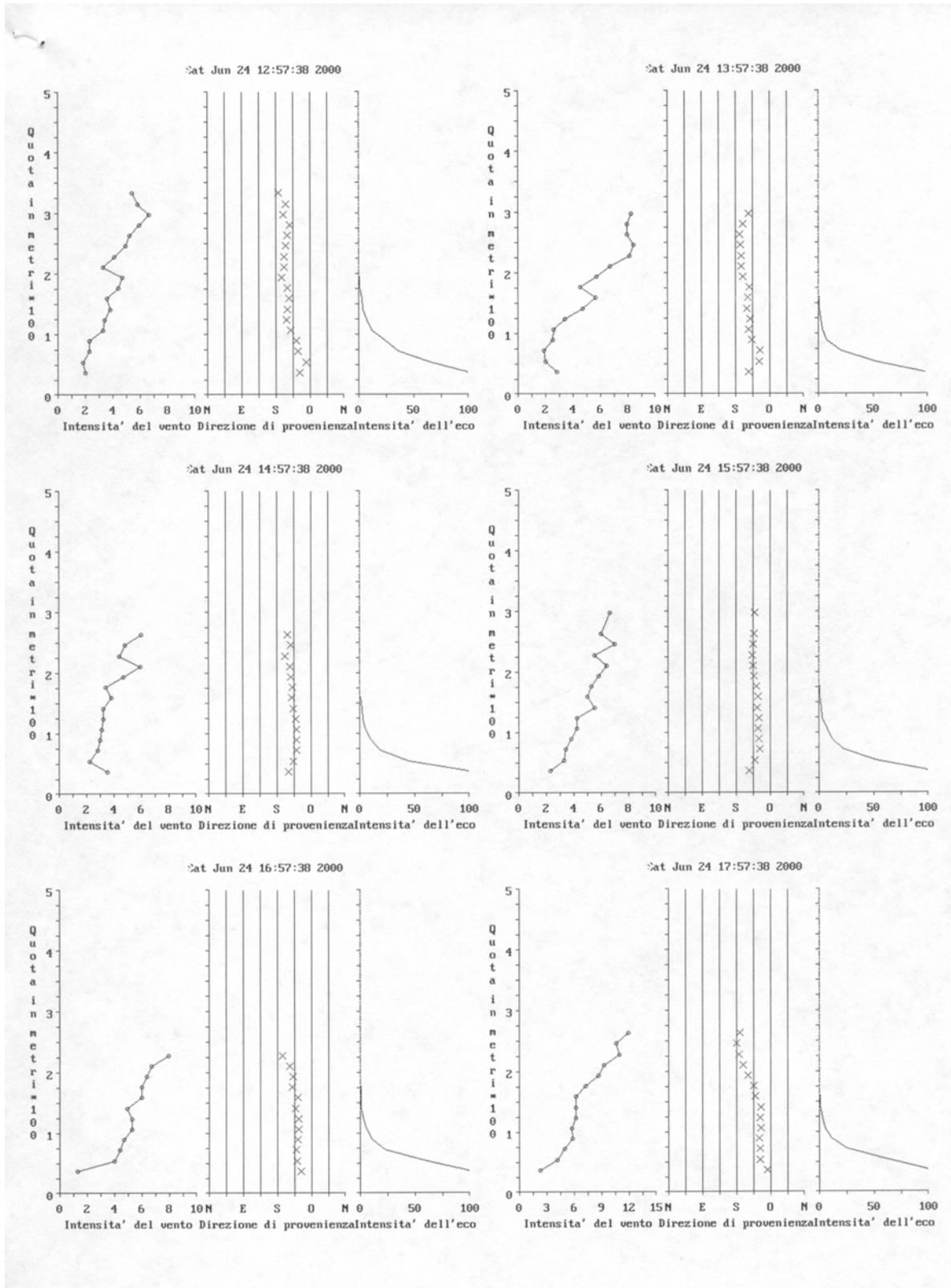


Figura 15 – Riepilogo giornaliero dei profili di vento: il primo grafico rappresenta la velocità del vento, il secondo la direzione, il terzo l'eco di ritorno.

5 Installazione del sistema integrato RASS - SODAR

Il sistema integrato RASS-SODAR include, oltre alle tre antenne (una acustica e due elettromagnetiche), una parte di strumentazione che si trova all'interno di una cabina, appositamente costruita, in prossimità delle antenne.



Figura 16 - Le antenne radio e acustica (al centro) e la cabina di controllo.

All'interno della cabina è stato collocato un rack che contiene:

- un trasmettitore e un ricevitore RF;
- un driver di potenza acustico;
- alcuni moduli per rack contenenti la parte di elettronica del sistema RASS;
- un computer di controllo del sistema RASS;
- un computer di controllo del sistema SODAR;
- una stampante, per la stampa dei profili in automatico;
- un modem per il colloquio con siti remoti.

Le antenne e le apparecchiature all'interno della cabina sono alimentate a 220 Volt AC: è presente un gruppo di continuità (UPS) che garantisce un buon funzionamento dell'apparato, anche quando si verificano eventuali cadute della rete. E' stato installato anche un condizionatore, che è alimentato con un secondo cavo, per evitare cadute di rete al momento dell'avvio del compressore: proprio per questo motivo è stato evitato di inserire questo apparecchio sul gruppo di continuità. In caso di blocco del sistema di condizionamento, per evitare il superamento della soglia di temperatura, sono stati inseriti due termostati di sicurezza: se la temperatura esce dal range

impostato ($T_{max} = 33^{\circ}C$, $T_{min} = 0^{\circ}C$), due termistori interrompono l'erogazione di corrente dalla rete e dal gruppo di continuità e si accende un segnalatore luminoso sulla parete esterna della cabina. Di seguito è riportato lo schema del sistema di sicurezza per un black-out o nel caso in cui si rompa il condizionatore.

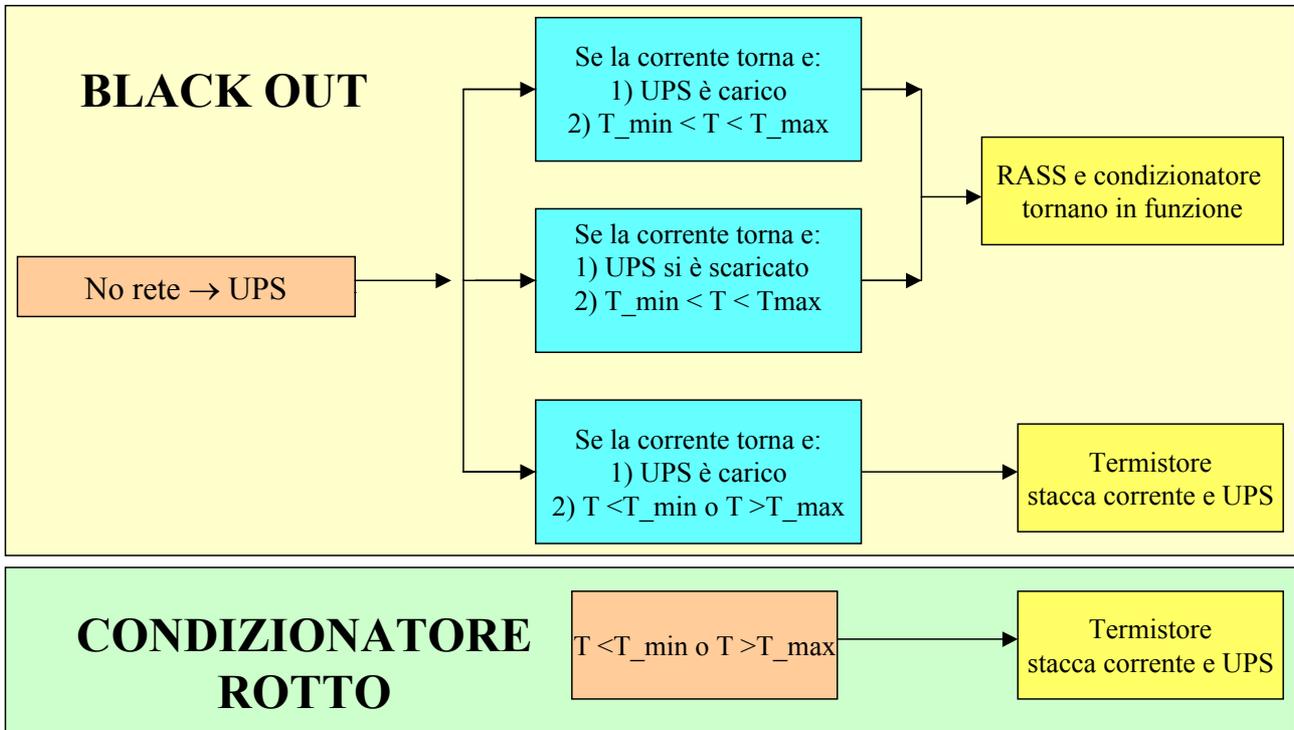


Figura 17 - schema del sistema di sicurezza per un black-out o nel caso in cui si rompa il condizionatore.

Dato che l'intensità del segnale acustico è superiore a 90 decibel, l'area intorno alle tre antenne è stata delimitata con transenne e contrassegnata da appositi cartelli. Nella pagina seguente sono riportati i valori misurati con un fonometro a varie distanze dall'antenna, durante le emissioni di bursts, in modalità RASS.

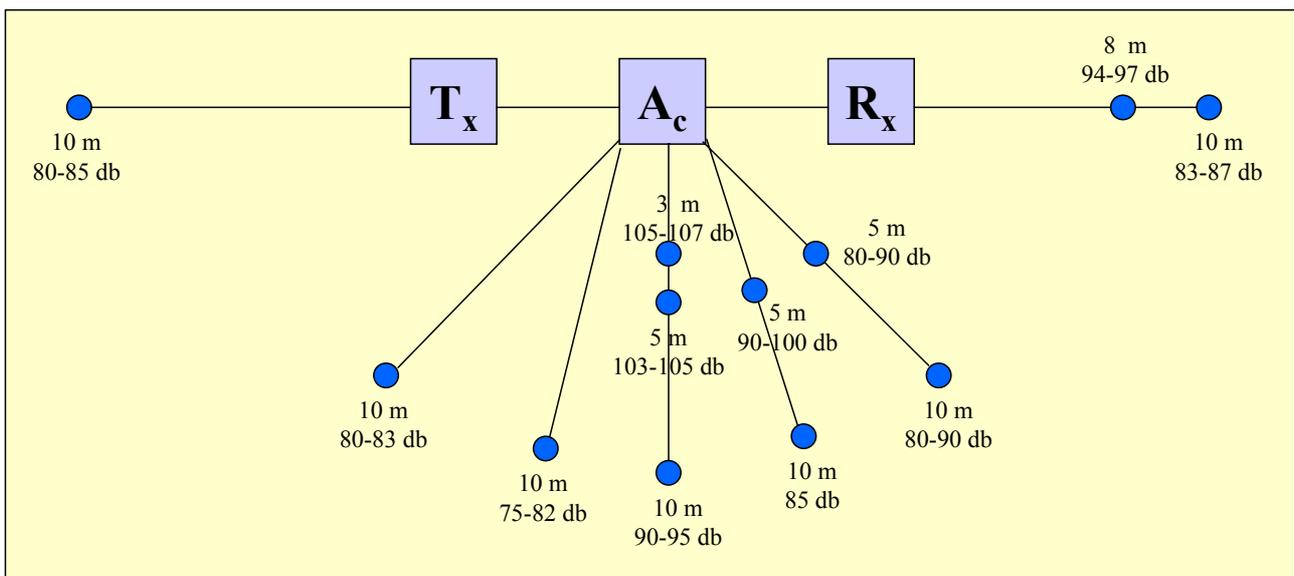


Figura 18 - Valori misurati a varie distanze dall'antenna acustica, durante una misura del RASS.

Conclusioni

Il sistema integrato RASS-SODAR, installato presso il laboratorio LaMMA, fornisce delle buone prestazioni, permettendo di rilevare profili verticali di temperatura e di vento fino a quote di circa 500 m.

Dopo un periodo che possiamo considerare di prova, in cui il sistema è stato calibrato in sito, sia modificando parametri per la gestione del dispositivo, sia introducendo alcune parti strutturali nell'antenna acustica per migliorare l'insonorizzazione, sono state raggiunte le condizioni ottimali di misura.

Attualmente vengono eseguiti, in modalità automatica, misure orarie di temperatura e di vento: alle .30 di ogni ora vengono registrate le misure con il RASS e cioè i profili verticali di temperatura, mezz'ora dopo le misure di velocità e direzione del vento, tramite il SODAR.

I files relativi ai profili di temperatura e di vento vengono regolarmente archiviati, andando a costituire un insieme di dati storici che possono essere utilizzati per effettuare studi sulla climatologia del bacino areografico.

Ringraziamenti

Per la realizzazione di questo lavoro intendo ringraziare il Dott. Rossello e il Prof. Trivero per la disponibilità dimostrata a fornire materiale e chiarimenti, sia sulle parti tecniche che più prettamente scientifiche, relativi al sistema integrato RASS-SODAR.