

M. FALUSI (\*), R. CALAMASSI (\*), A. TOCCI (\*\*)

RESISTENZA AL FREDDO IN *PINUS HALEPENSIS* MILL.,  
*PINUS BRUTIA* TEN. E *PINUS ELДАРICA* MEDW. (\*\*\*)

**Riassunto** — È stata studiata per due anni la variazione stagionale della resistenza al freddo di gemme, aghi e rami in piante di 4-5 anni di età di *Pinus halepensis* Mill., *Pinus brutia* Ten. e *Pinus eldarica* Medw.

La resistenza al freddo è stata determinata esponendo il getto dell'anno alle temperature di +4°C, -3°C, -12°C, -21°C e valutando l'entità dei danni mediante misura della conducibilità elettrica di soluzioni contenenti sezioni del materiale. I metodi impiegati e la loro rispondenza agli scopi dell'indagine e alle caratteristiche delle piante studiate vengono brevemente discussi.

I tre pini mostrano differenti capacità di tollerare le basse temperature; le più evidenti diversità di comportamento riguardano *P. halepensis* e *P. eldarica*.

Il comportamento dei tre pini è ben individualizzato da un insieme di caratteri e proprietà (precocità nell'acquisizione e stabilità della fase di massima resistenza invernale, valore massimo della stessa, progressiva perdita dello stato di tolleranza a fine inverno) risultati associati fra loro in modo da realizzare meccanismi di difesa dal freddo di differente affidabilità.

La stessa associazione di caratteri è stata riscontrata anche negli organi studiati: nelle gemme, che possiedono la più elevata resistenza al freddo, è più precoce l'acquisizione e più lunga e stabile la fase di massima resistenza invernale.

La preparazione alla ripresa primaverile modifica in modo differenziale (per gli organi e per i tre pini) la sensibilità alle basse temperature.

Modello di variazione stagionale, valori della resistenza invernale e sensibilità differenziale dei vari organi vengono utilizzati per una breve discussione della capacità complessiva di resistenza al freddo dei tre pini, anche, in rapporto alle relative aree di distribuzione.

**Abstract** — *Frost hardiness in Pinus halepensis Mill., Pinus brutia Ten. and Pinus eldarica Medw.* Seasonal variations in frost hardiness of 4-5 years old plants of *Pinus halepensis* Mill., *Pinus brutia* Ten. and *Pinus eldarica* Medw. have been studied: buds, needles and stems have been followed during two years.

---

(\*) Istituto di Botanica Agraria e Forestale - Università degli Studi di Firenze.

(\*\*) Istituto Sperimentale per la Selvicoltura di Arezzo.

(\*\*\*) Ricerca svolta con un contributo finanziario dell'Università degli Studi di Firenze (Spese per la Ricerca Scientifica, 60%, M.P.I.).

Frost hardiness has been studied by exposing the whole shoots to temperature of +4°C, -3°C, -12°C, -21°C and the injuries have been estimated by measuring the electrical conductivity of solutions containing sections of plant organs.

The followed methods, their suitability for the research purposes and the characters of plants are discussed.

The three pine species show different patterns in tolerating low temperatures: the most evident behavioural diversities concern *P. halepensis* and *P. eldarica*.

The three species behaviour can be well identified by different combinations of the following characters or properties: the promptness in acquiring and establishing the maximum of winter hardiness, the absolute maximum value of resistance attained; the way by which the dehardening becomes evident when the winter's end approaches.

The characters appear associated among them in such a manner that a very different frost resistance can be attained, and similar associations can be found also at the plant part level. The buds, which are the most frost resisting organs, acquire resistance more promptly and the winter maximum is longer and very stable.

Sensitivity to low temperatures becomes modified in different ways at the organs and at the species level, when the resumption of spring growth approaches.

Seasonal variation models, winter resistance values, and different sensibilities at the plant part level, are discussed for an evaluation of the total frost hardiness attained by the three species also in relation to their distribution areas.

**Key words** — Frost hardiness / seasonal variation / *Pinus*.

## INTRODUZIONE

*Pinus halepensis* Mill. e *Pinus brutia* Ten. sono specie diffuse tipicamente in regioni a clima mediterraneo, ma la loro attuale area di distribuzione è relativamente ampia (in particolare quella di *P. halepensis*), tanto che ritroviamo *P. halepensis* anche in regioni con clima atlantico (NAHAL, 1962) e *P. brutia* in aree a clima continentale (PANETSOS, 1981).

Entrambe le specie sono considerate resistenti a situazioni di stress ambientale (ARBEZ, 1971; PANETSOS, 1981). Si ritiene che la capacità di tollerare le basse temperature invernali sia più elevata in *P. brutia* (PANETSOS, 1981) che in *P. halepensis*, indicato da FRANCINI (1953) come specie termofila che in inverno svolge alcune ed importanti fasi del suo sviluppo.

Di una terza entità sistematica, *Pinus eldarica* Medw., considerata da alcuni A.A. una varietà di *P. brutia*, e, da altri, una specie ad esso strettamente affine (per una discussione in proposito vedi PANETSOS, 1981) sono state recentemente (PALMBERG, 1975; PELIZZO, TOCCI, 1978; PANETSOS, 1981) messe in evidenza sia l'elevata potenzialità di crescita che una buona capacità di resistenza a situazioni ambientali sfavorevoli.

Su questi pini stiamo conducendo da alcuni anni una serie di inda-

gini (che hanno preso l'avvio dal Progetto F.A.O. 4bis «Esperienze internazionali sulle provenienze di *Pinus halepensis* e *Pinus brutia*»: PELIZZO e TOCCI, 1978), indagini che hanno interessato, tra l'altro, la resistenza agli stress idrici della germinazione e delle prime fasi di crescita delle plantule (CALAMASSI et al., 1980; FALUSI e CALAMASSI, 1982; FALUSI et al., 1983).

In queste ricerche attenzione particolare è stata posta al comportamento in condizioni di stress ambientale come elemento caratterizzante la complessiva «strategia di sopravvivenza» delle specie e delle provenienze geografiche all'interno delle stesse. In un precedente lavoro (FALUSI, 1982) era stata sottolineata la necessità di analizzare, in questa ottica, anche la resistenza al freddo in piante di differenti età e stadi di sviluppo.

La resistenza al freddo non risulta sia mai stata studiata in *P. brutia* e in *P. eldarica* ed anche su *P. halepensis* o altri pini dell'area mediterranea le informazioni disponibili sono molto scarse (LARCHER, 1970).

Negli anni 1981-82 è stata svolta un'indagine preliminare, su piante allevate in condizioni naturali, ricorrendo all'osservazione diretta e all'impiego di valori di riferimento per la valutazione dei danni da freddo secondo quanto proposto da ARONSSON e ELIASSON (1970). Sono state così messe in evidenza sensibili differenze nella resistenza al freddo fra i tre pini (dati non pubblicati).

Nella presente indagine la resistenza al freddo viene analizzata esponendo preliminarmente parti isolate di pianta alle temperature prescelte per il test e valutando poi l'entità dei danni tramite misurazioni delle variazioni della conducibilità elettrica (ARONSSON e ELIASSON, 1970).

In questa prima indagine, più che determinare i limiti termici tollerabili da parte delle piante o analizzare le varie componenti della resistenza al freddo, è sembrato necessario delineare il comportamento complessivo delle piante durante la stagione fredda (mediante determinazione della variazione stagionale della resistenza al freddo) e ottenere informazioni sulla capacità di sopravvivenza delle piante (che in misura sensibile dipende anche dall'attitudine a riparare i danni subiti e dalla vulnerabilità differenziale dei vari organi) analizzando la resistenza al freddo di gemme, aghi e rami.

#### MATERIALI E METODI

Sono state utilizzate piante di *Pinus halepensis* Mill., *Pinus brutia* Ten. e *Pinus eldarica* Medw. di 4-5 anni dalla semina, allevate nel vi-

vaio dell'Istituto Sperimentale per la Selvicoltura di Arezzo. La temperatura e l'umidità relativa sono state registrate, per tutta la durata della prova, tramite un termoigrografo posto in una capannina meteorologica situata presso le parcelle sperimentali. Per ogni specie sono state utilizzate 50 piante.

La resistenza al freddo è stata determinata in rametti di 1 anno, del diametro di circa 5-6 mm, dei verticilli laterali, prelevando i rametti in numero equivalente, per ogni determinazione, nel terzo superiore, medio e inferiore della pianta e in corrispondenza dei quattro punti cardinali. Il prelievo del materiale è sempre avvenuto fra le ore 12,00 e le ore 12,30. È stata determinata la risposta alle basse temperature di gemme, aghi e rami nel periodo gennaio-giugno 1982 e ottobre 1982-aprile 1983. Per ogni data di rilievo, specie, organo, la risposta ad ognuna delle temperature saggiate è stata valutata mediante 10 determinazioni.

Il metodo impiegato per lo svolgimento del test è quello proposto da ARONSSON e ELIASSON (1970), basato sul raffreddamento rapido e sul mantenimento per 6 ore del materiale alle temperature prescelte. Sulla base dei dati climatici disponibili, relativi alle zone di origine dei semi (ARBEZ, 1971; PANETSOS, 1981; UNESCO-FAO, 1963; WALTER e LIETH, 1967) sono state selezionate le temperature di  $+4^{\circ}\text{C}$  (controllo),  $-3^{\circ}\text{C}$ ,  $-12^{\circ}\text{C}$ ,  $-21^{\circ}\text{C}$ . In Fig. 1 è riportata la variazione della temperatura

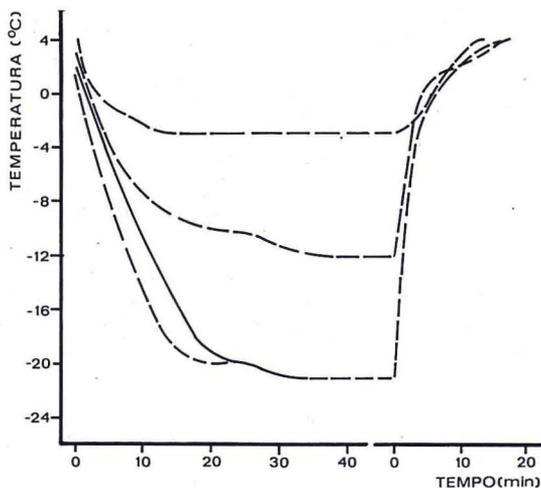


Fig. 1 - Variazioni della temperatura rami ----- e gemme —— durante lo svolgimento del test.

in gemme e rametti durante lo svolgimento del test. A regime, le oscillazioni della temperatura sono risultate comprese entro  $\pm 0,30^{\circ}\text{C}$  (per  $-3^{\circ}\text{C}$ ),  $\pm 0,30^{\circ}\text{C}$  (per  $-12^{\circ}\text{C}$ ),  $\pm 0,75^{\circ}\text{C}$  (per  $-21^{\circ}\text{C}$ ). Le variazioni di temperatura nel materiale (gemme e rami) durante lo svolgimento del test sono state seguite mediante trasduttori di temperatura AD590 (Analog Device), registrando i valori (cadenza 10'') con un sistema computerizzato di acquisizione dati (Datalogger ACE).

La conducibilità elettrica delle soluzioni contenenti il materiale è stata determinata con un conducimetro digitale SEAC S232 (60 Hz, con campo di misura di 0-1999 microsiemens/centimetro), mantenendo le soluzioni stesse, durante le misure, in un bagno termostato a  $25^{\circ}\text{C}$ .

I risultati sono espressi come conducibilità relativa (C.R.), rapporto fra la conducibilità del materiale dopo l'esposizione alla bassa temperatura e conducibilità delle stesse soluzioni mantenute in ebollizione per 10 minuti. I valori di conducibilità del materiale esposto a  $-21^{\circ}\text{C}$  sono stati utilizzati anche per calcolare l'indice di danneggiamento ( $I_d$ ), come proposto da FLINT et al. (1967).

Nei mesi di febbraio e marzo 1983 la ripresa dell'attività vegetativa delle piante è stata seguita misurando le variazioni di dimensioni di 15 gemme (per ogni specie) della freccia e di 15 gemme apicali dei rami del 1° verticillo per ognuno dei tre pini.

I risultati sono stati analizzati secondo uno schema fattoriale e i confronti effettuati al livello di  $P = 0,01$ .

## RISULTATI

L'analisi, effettuata tramite l'indice  $I_d$ , della variazione stagionale della resistenza al freddo ha messo in evidenza l'esistenza di effetti altamente significativi di tutti i fattori principali saggiati e delle interazioni di primo ordine. *P. halepensis* è la specie dotata di minore resistenza al freddo, con medie generali dell'indice  $I_d$  significativamente diverse da quelle di *P. brutia* e *P. eldarica* (Tab. 1b). Il comportamento dei singoli organi conferma la valutazione precedente ed aggiunge l'indicazione di una tolleranza particolarmente elevata in *P. eldarica*, i cui rami e foglie hanno valori medi dell'indice  $I_d$  significativamente inferiori a quelli dei corrispondenti organi delle altre due specie (Tab. 1c). Per quanto riguarda le gemme, la più elevata sensibilità complessiva in *P. eldarica* rispetto a *P. brutia* (Tab. 1c) risulta dovuta prevalentemente ad una minore resistenza al freddo nel periodo corrispondente alla ripresa dell'attività di crescita (Fig. 3 e 4).

Tab. 1 - Variazione, nei periodi Gennaio-Aprile 1982 e Ottobre 1982-Aprile 1983, dell'indice It in gemme (G) aghi (A) e rami (R) di *Pinus halepensis* Mill. (Ha), *Pinus brutia* Ten. (Br) e *Pinus eldarica* Medw. (El).

Org.	1982				1983							
	28.1	18.2	11.3	6.4	21.10	11.11	2.12	13.1	3.2	17.3	3.4	Medie
G	15,7	22,9	36,2	55,8	52,8	45,3	37,2	15,3	21,6	28,2	45,2	34,0
a) A	48,9	60,4	78,0	75,0	78,9	56,8	46,0	28,9	57,7	52,8	56,0	58,1
R	24,3	38,3	52,7	81,2	87,0	59,7	55,6	26,6	44,2	58,7	74,2	54,8
Medie	29,6	40,5	55,6	70,7	72,9	53,9	46,3	23,6	41,2	46,6	57,8	

MDS 0,01: per le medie degli organi 3,12; per le medie delle date 5,97; entro la tabella 10,34.

Prov.	Medie											
	Ha	Br	El	G	A	R	G	A	R	G	A	R
Ha	34,7	55,5	58,4	73,6	80,6	69,2	57,7	30,4	58,2	50,0	60,2	57,1
b) Br	30,7	40,7	51,4	63,2	70,0	48,7	43,8	22,9	38,8	42,8	54,5	46,2
El	23,5	25,3	57,1	75,3	67,9	43,7	37,3	17,5	26,5	46,9	58,8	43,6
Medie	29,6	40,5	55,6	70,7	72,9	53,9	46,3	23,6	41,2	46,6	57,8	

MDS 0,01: per le medie delle provenienze 3,12; per le medie delle date 5,97; entro la tabella 10,34.

Prov.	G	A	R	Medie
Ha	39,0	65,0	67,4	57,1
c) Br	26,5	60,3	51,6	46,2
El	36,5	49,1	45,3	43,6
Medie	34,0	58,1	54,8	

MDS 0,01: per le medie delle provenienze e degli organi 3,12; entro la tabella 5,40.

La resistenza al freddo aumenta passando dalle foglie, ai rami, alle gemme (Tab. 1a). La differenza fra i primi due organi è però molto contenuta e non generalizzabile a tutti i pini (è valida essenzialmente per *P. brutia*: Tab. 1c) e a tutti i periodi esaminati (una più elevata tolleranza, da parte dei rami, della temperatura di  $-21^{\circ}\text{C}$  si osserva solo durante il periodo di massima resistenza invernale: Tab. 1a). La maggiore resistenza al freddo delle gemme è invece evidente in ogni periodo e in tutti i pini esaminati (Tab. 1a, 1c). Nelle gemme, inoltre, il periodo di massima resistenza invernale ha una durata maggiore di quello di foglie e rami (Tab. 1a).

L'acquisizione dello stato di massima resistenza invernale (individuato in entrambi gli anni nel mese di gennaio) e la sua successiva perdita appaiono progressivi (Tab. 1b), quando valutati in base alle medie generali (che confondono insieme gli effetti sia delle specie che degli organi). Il comportamento dei tre pini è però differente: in *P. eldarica* e *P. brutia* l'acquisizione della resistenza al freddo è più rapida e precoce che non in *P. halepensis* (Tab. 1b) ed in quest'ultima specie il periodo di massima resistenza invernale è il più breve tra quelli determinati, mentre in *P. eldarica* tale periodo ha la durata maggiore (Tab. 1b).

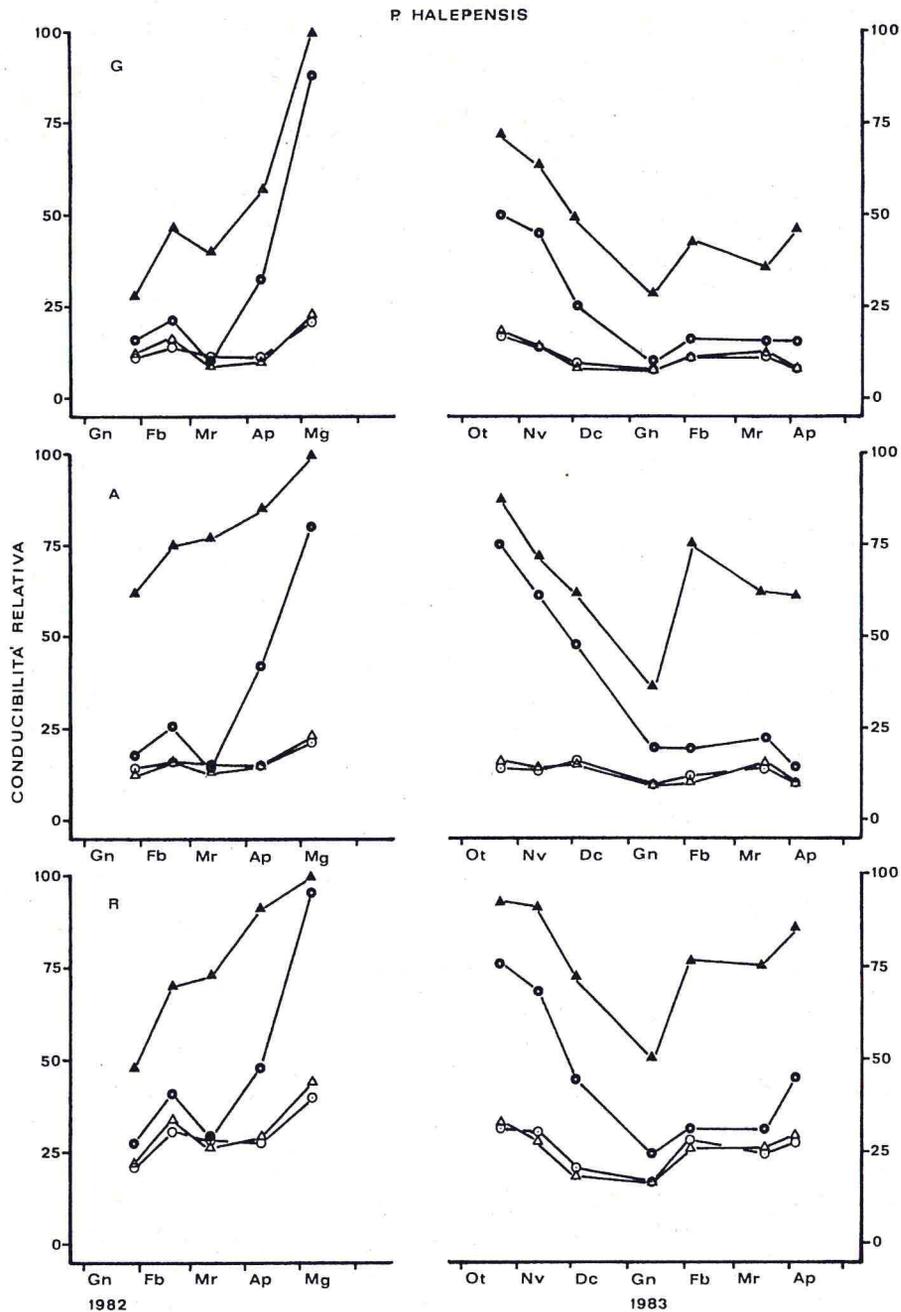


Fig. 2 - Variazione stagionale dei valori di conducibilità relativa (C.R.) alle temperature di +4°C (○), -3°C (△), -12°C (●), -21°C (▲), in gemme (G), aghi (A) e rami (R) di *Pinus halepensis* Mill.

Utilizzando i valori di C.R., è stata analizzata anche la risposta alle altre temperature saggiate in questa prova.

In *P. halepensis* è ancora più evidente il modello di variazione stagionale prima ricordato (Tab. 2a), che si ripete in maniera simile in tutti gli organi (Fig. 2) e riguarda essenzialmente le temperature di  $-12^{\circ}\text{C}$  e  $-21^{\circ}\text{C}$  (a  $-3^{\circ}\text{C}$  la variazione stagionale è pressoché inavvertibile).

Tab. 2 - Variazione stagionale dei valori di C.R. in *Pinus halepensis* Mill. (a), *Pinus brutia* Ten., (b) e *Pinus eldarica* Medw. (c).

	1982						1983						Medie	
	T $^{\circ}\text{C}$	28.1	18.2	11.3	6.4	6.5	21.10	11.11	2.12	13.1	3.2	17.3		3.4
a)	+4	15,6	20,3	18,1	17,9	27,6	20,8	19,6	13,9	11,4	16,9	17,5	15,4	17,9
	-3	15,5	22,3	16,8	17,8	30,1	22,2	18,8	12,4	11,3	15,8	18,0	16,3	18,1
	-12	20,8	29,7	17,7	41,1	87,9	67,2	58,5	38,9	18,0	22,2	21,4	24,8	37,3
	-21	46,1	64,2	65,0	77,6	100	84,5	75,7	63,3	38,5	65,6	57,9	64,5	66,9
	Medie	24,5	34,1	29,4	38,6	61,4	48,7	43,2	32,1	19,8	30,1	28,7	30,2	

MDS 0,01: per le medie temperature 1,39; per le medie delle date 2,42; entro la tabella 4,83.

b)	+4	15,5	17,5	18,5	18,9	21,9	15,1	13,0	16,7	14,3	12,8	13,3	15,8	16,1
	-3	15,4	17,3	17,6	22,0	32,8	14,5	13,2	16,9	13,8	12,5	13,1	14,6	17,0
	-12	16,9	20,0	22,5	54,2	71,9	54,8	25,3	28,7	17,8	15,2	16,7	28,9	31,1
	-21	42,5	50,7	60,5	74,5	100	75,3	56,6	51,7	33,3	46,0	50,1	61,2	58,5
	Medie	22,6	26,4	29,8	42,4	56,6	39,9	27,0	28,5	19,8	21,2	23,3	30,1	

MDS 0,01: per le medie temperature 1,07; per le medie delle date 1,85; entro la tabella 3,70.

c)	+4	15,8	17,2	18,9	18,7	14,4	16,2	12,3	17,3	14,2	13,8	14,2	16,1	15,8
	-3	15,2	17,1	18,6	23,6	24,5	16,4	12,5	17,2	15,2	13,1	13,3	17,6	17,0
	-12	16,9	19,3	23,2	63,8	80,0	45,4	17,5	25,8	17,4	14,7	16,8	37,6	31,5
	-21	34,8	37,8	67,4	79,2	100	73,9	51,7	48,3	27,7	35,5	53,8	65,6	56,3
	Medie	20,7	22,8	32,0	46,3	54,7	38,0	23,5	27,1	18,6	19,3	24,6	34,2	

MDS 0,01: per le medie temperature 1,09; per le medie delle date 1,90; entro la tabella 3,79.

La maggiore lunghezza e stabilità del periodo di massima resistenza invernale di *P. brutia* è particolarmente evidente nelle gemme (Fig. 3). I valori di C.R. (Tab. 2b) indicano inoltre che, a differenza di *P. halepensis*, nel periodo di massima resistenza invernale i risultati del test a  $-12^{\circ}\text{C}$  non differiscono significativamente dal controllo. Nelle gemme di *P. brutia*, che pure hanno una elevata tolleranza del freddo (sopportano la temperatura di  $-12^{\circ}\text{C}$  più agevolmente che non i rami la temperatura di  $-3^{\circ}\text{C}$ : Tab. 3b), si osserva una netta diminuzione di resistenza in aprile-maggio, quando anche la temperatura di  $-3^{\circ}\text{C}$  produce danni significativamente superiori al controllo (Fig. 3).

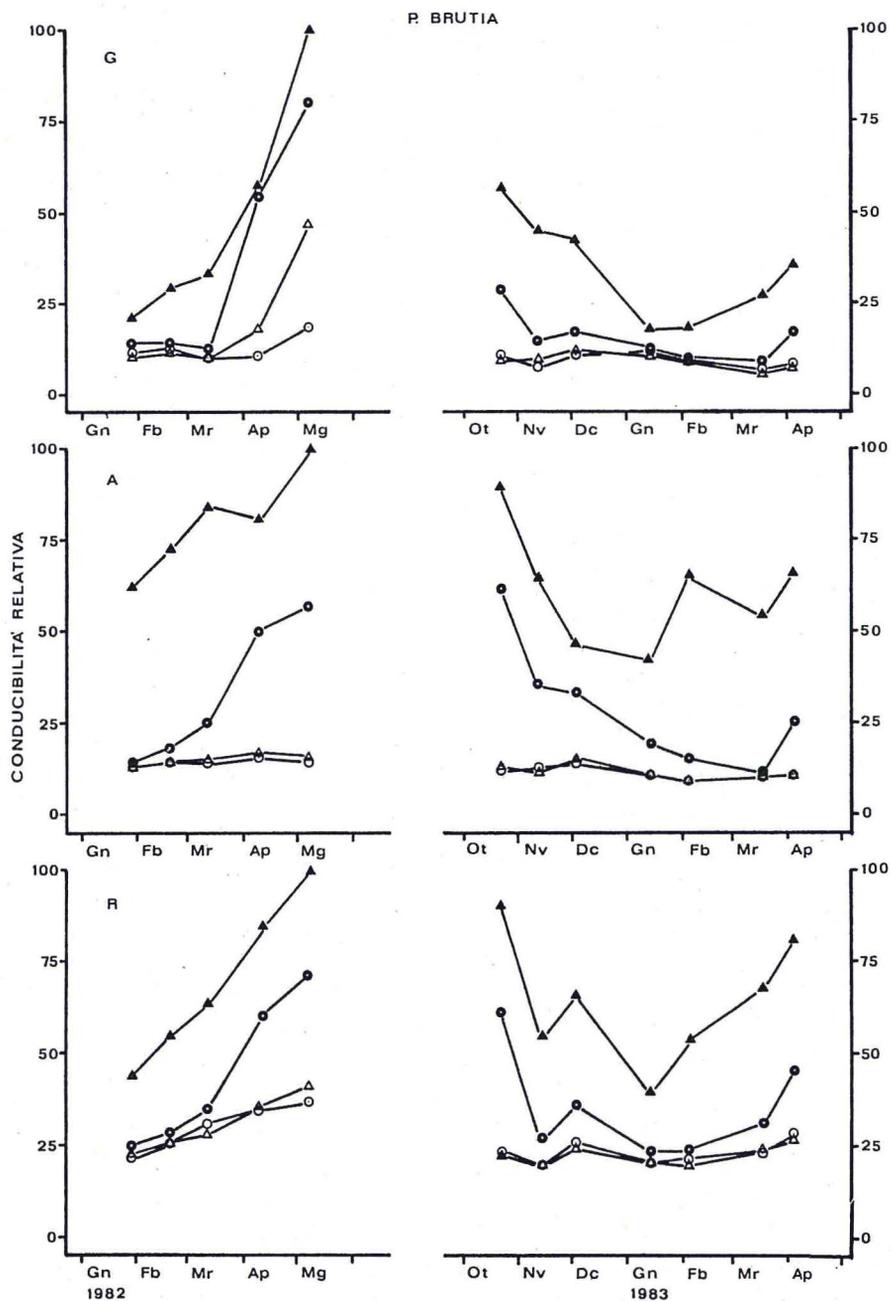


Fig. 3 - Variazione stagionale dei valori di conducibilità relativa (C.R.) alle temperature di +4°C (○), -3°C (△), -12°C (●), -21°C (▲), in gemme (G), aghi (A) e rami (R) di *Pinus brutia* Ten.

Tab. 3 - Valori medi di C.R. in gemme (G), aghi (A) e rami (R) di *Pinus halepensis* Mill. (a), *Pinus brutia* Ten. (b) e *Pinus eldarica* Medw. (c).

Organi					Organi				
T°C	G	A	R	Medie	T°C	G	A	R	Medie
+4	12,3	13,8	27,6	17,9	+4	10,5	12,7	25,2	16,1
-3	12,7	13,8	27,7	18,1	-3	13,2	12,8	24,9	17,0
-12	28,8	36,2	47,0	37,3	-12	23,0	31,6	38,6	31,1
-21	51,4	71,5	77,8	66,9	-21	39,8	68,5	67,3	58,5
Medie	26,3	33,8	45,1		Medie	21,6	31,4	39,0	

MDS 0,01: per le medie organi 1,21; per le medie temperature 1,39; entro la tabella 2,42.

MDS 0,01: per le medie organi 0,92; per le medie temperature 1,07; entro la tabella 1,85.

Organi				
T°C	G	A	R	Medie
+4	10,8	11,3	25,1	15,8
-3	13,1	11,7	26,2	17,0
-12	25,7	29,0	40,3	31,5
-21	47,5	58,1	62,3	56,3
Medie	24,3	27,8	38,5	

MDS 0,01: per le medie organi 0,95; per le medie temperature 1,09; entro la tabella 1,90.

In *P. eldarica* la perdita relativa di resistenza delle gemme in primavera è ancora più vistosa (Fig. 4), tanto che in questo pino in aprile non sono più le gemme l'organo a più elevata resistenza (valori di C.R.: 31,9 per le gemme, 25,4 per gli aghi).

Grado di resistenza e modello di variazione stagionale sono differenti nei tre organi studiati.

Nelle gemme è più precoce l'acquisizione, più lungo il periodo di massima resistenza, più elevata la resistenza stessa (Fig. 2, 3, 4). Nei mesi di gennaio-febbraio i valori di C.R. alle temperature di  $-12^{\circ}\text{C}$  e  $+4^{\circ}\text{C}$  non differiscono fra loro (Tab. 4) e nella prima metà di gennaio anche la temperatura di  $-21^{\circ}\text{C}$  produce solo leggeri danni, almeno in *P. brutia* e *P. eldarica* (Fig. 2, 3, 4). Nel mese di marzo la resistenza delle gemme di *P. eldarica* tende a diminuire in rapporto agli altri due pini, in aprile anche quella di *P. brutia* in confronto a *P. halepensis* (Fig. 2, 3, 4) e nei mesi di aprile-maggio anche la temperatura di  $-3^{\circ}\text{C}$  produce danni evidenti (Tab. 4).

Nei rami è osservabile una simile diminuzione relativa di resistenza al freddo in primavera: nel mese di aprile (Fig. 4) questo fenomeno è evidente in *P. eldarica* e in maggio, a differenza di tutti gli altri periodi, i valori medi di C.R. a  $-3^{\circ}\text{C}$  sono significativamente superiori a quelli del controllo (Tab. 4a). Sia la lunghezza del periodo di massima resi-

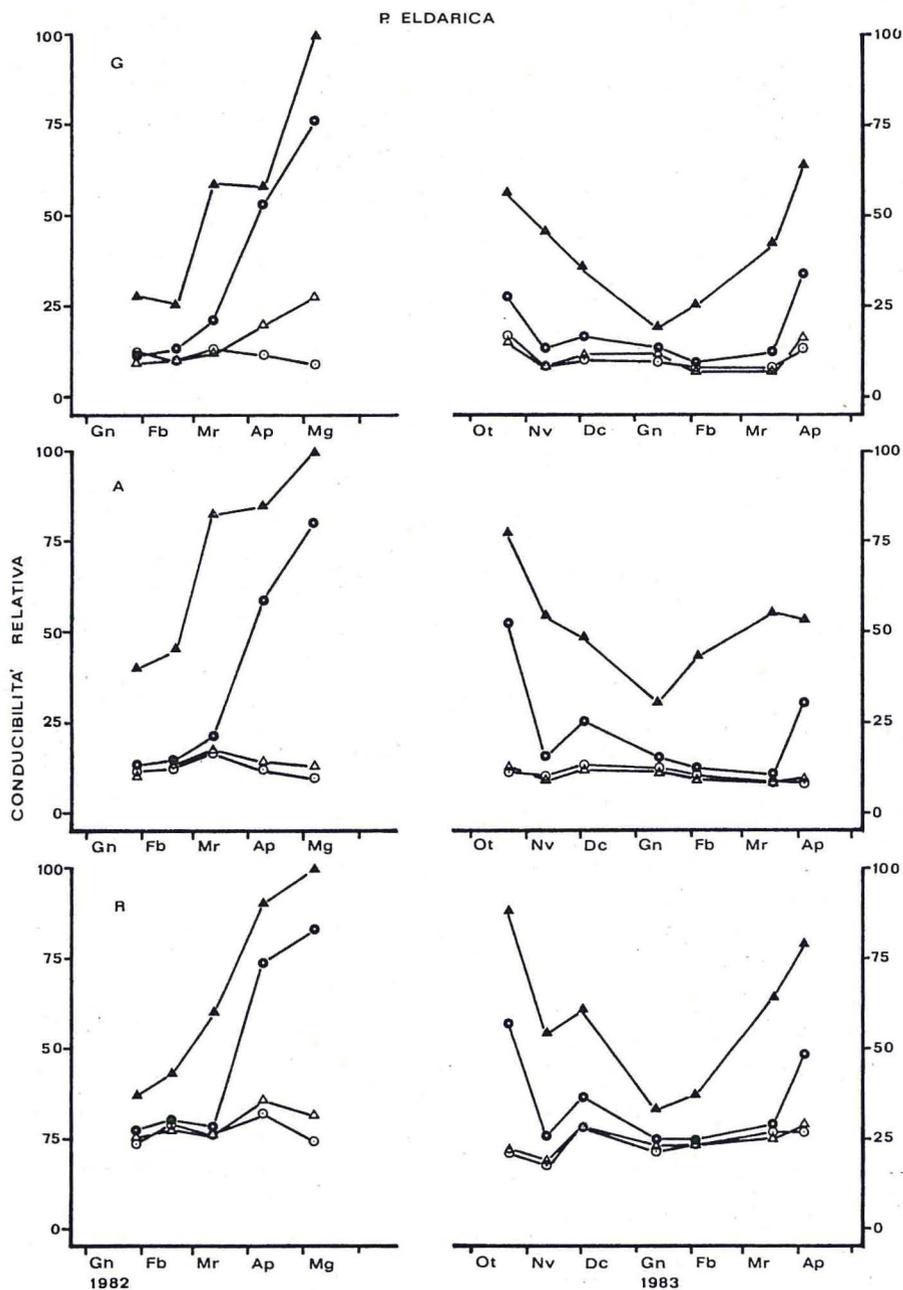


Fig. 4 - Variazione stagionale dei valori di conducibilità relativa (C.R.) alle temperature di +4°C (○), -3°C (△), -12°C (●), -21°C (▲), in gemme (G), aghi (A) e rami (R) di *Pinus eldarica* Medw.

Tab. 4 - Variazione stagionale dei valori di C.R. in gemme (a), aghi (b) e rami (c).

T°C	1982					1983					Medie			
	28.1	18.2	11.3	6.4	6.5	21.10	11.11	2.12	13.1	3.2		17.3	3.4	
a)	+4	11,5	12,1	11,4	11,1	16,1	14,5	9,9	10,1	9,7	9,2	8,7	10,0	11,2
	-3	10,8	12,7	10,6	16,4	32,7	14,1	10,8	10,6	9,9	8,7	8,3	10,7	13,0
	-12	13,7	16,1	14,6	49,2	81,6	35,5	23,8	19,3	11,4	10,7	11,9	22,1	25,8
	-21	25,6	32,6	44,2	60,9	100	61,4	51,7	44,2	21,7	29,2	35,2	48,6	46,3
	Medie	15,4	18,4	20,2	34,4	57,6	31,4	24,1	21,1	13,2	14,4	16,0	22,9	
MDS 0,01: per le medie temperature 0,99; per le medie delle date 1,72; entro la tabella 3,44.														
b)	+4	12,7	14,4	15,6	14,0	15,5	12,5	12,0	12,6	10,8	10,3	11,2	9,6	12,6
	-3	12,1	14,8	15,4	15,0	17,3	13,6	11,7	12,2	10,6	9,7	11,1	10,0	12,8
	-12	14,8	19,6	18,4	50,4	74,9	67,3	37,1	35,1	18,1	15,5	13,0	23,2	32,3
	-21	54,8	64,2	81,6	81,8	100	82,2	63,8	52,3	36,4	61,6	57,1	60,4	66,4
	Medie	23,6	28,2	32,7	40,3	51,9	43,9	31,2	28,0	19,0	24,3	23,1	25,8	
MDS 0,01: per le medie temperature 1,46; per le medie delle date 2,53; entro la tabella 5,06.														
c)	+4	22,8	28,5	28,4	30,3	32,3	25,1	23,0	25,1	19,5	24,0	25,1	27,7	26,0
	-3	23,3	29,2	27,0	32,1	37,4	25,4	22,0	23,7	19,8	23,0	24,9	27,8	26,3
	-12	26,2	33,3	30,4	61,1	83,8	64,5	40,4	39,0	23,7	25,9	30,1	46,0	42,0
	-21	43,1	56,0	67,1	88,6	100	90,1	68,6	66,8	41,4	37,5	69,5	82,3	69,1
	Medie	28,8	36,8	38,2	53,0	63,2	51,3	38,5	38,6	26,1	32,3	37,4	46,0	
MDS 0,01: per le medie temperature 1,07; per le medie delle date 1,86; entro la tabella 3,72.														

stenza che l'entità della resistenza stessa, nei rami sono inferiori rispetto ai corrispondenti valori delle gemme (Tab. 4).

La variazione stagionale della resistenza al freddo degli aghi non presenta il brusco aumento di sensibilità primaverile ed anche in aprile-maggio i valori di C.R. a +4°C e a -3°C non sono significativamente differenti (Tab. 4).

Diversamente da quanto risultato valutando la resistenza dei vari organi tramite l'indice  $I_t$  a -21°C, utilizzando i valori di C.R. relativi a tutte le temperature saggiate appare evidente una minore resistenza complessiva dei rami rispetto alle foglie (Tab. 3). Questo risultato sembra dipendere essenzialmente dagli elevati valori di C.R. alle temperature più elevate ed in particolare a +4°C. Alla temperatura di -21°C le differenze di C.R. fra rami e foglie sono estremamente ridotte nel caso di *P. halepensis* e *P. eldarica* e inesistenti nel caso di *P. brutia* (Tab. 3).

La ripresa dell'attività di crescita delle gemme è stata seguita nei mesi di febbraio e marzo 1983. In *P. halepensis* le dimensioni delle gemme il 25.3 non sono ancora significativamente differenti dai valori di partenza del 15.2; in *P. brutia* la gemma della freccia a tale data è inve-

ce chiaramente aumentata di dimensioni; in *P. eldarica* i primi segni di accrescimento si osservano nella gemma della freccia il 9.3 e nel rilievo successivo sia tale gemma che la gemma apicale dei rami del primo verticillo hanno dimensioni significativamente superiori a quelle di partenza (Tab. 5). Anche l'incremento quantitativo registrato nel periodo  $15.2 \div 25.3$  è differente nei tre pini ed è pari, rispettivamente per *P. halepensis*, *P. brutia* e *P. eldarica*, a 25%, 45% e 55% per la gemma della freccia ed a 36%, 38% e 56% per la gemma apicale dei rami del primo verticillo.

Tab. 5 - Accrescimento (mm) delle gemme apicali della freccia (F) e dei rami del 1° verticillo (V) nel periodo Febbraio-Marzo 1983.

Data	<i>P. halepensis</i>		<i>P. brutia</i>		<i>P. eldarica</i>	
	F	V	F	V	F	V
15.2	25,19	17,05	21,03	17,17	20,47	17,96
22.2	26,15	17,92	22,12	17,97	20,90	18,18
28.2	26,27	18,09	22,32	17,97	21,55	18,54
9.3	26,55	18,37	23,40	18,70	23,10	19,70
25.3	31,40	23,25	30,44	23,75	31,70	27,95
MDS 0,01	N S	N S	6,17	N S	9,13	4,90

## DISCUSSIONE

La capacità di resistenza alle basse temperature, dei tre pini come degli organi esaminati, è risultata sensibilmente differenziata. Le differenze appaiono evidenti se si prendono in considerazione una serie di proprietà e comportamenti e non un singolo parametro.

1 - Grado di resistenza al freddo raggiunto durante l'inverno.

Non interessava determinare la «temperatura letale», anche perché valori simili quando determinati tramite un test raffreddamento artificiale hanno significato relativo e non corrispondente alla temperatura che, in natura, è in grado di uccidere la pianta. Nel momento di massima resistenza al freddo i valori dell'indice  $I_t$  alla più bassa ( $-21^\circ\text{C}$ ) delle temperature saggiate sono significativamente inferiori in *P. eldarica* e più elevati in *P. halepensis* sia per i rami che per gli aghi (la risposta delle gemme è invece molto omogenea). In tale periodo, anche temperature più elevate ( $-12^\circ\text{C}$ ) producono effetti diversi nei tre pini: in *P. brutia* e *P. eldarica* i valori di C.R. non differiscono da quelli del controllo ( $+4^\circ\text{C}$ ) mentre in *P. halepensis* la temperatura di  $-12^\circ\text{C}$  produce danni significativamente superiori.

## 2 - Precocità nell'acquisizione dello stato di massima resistenza invernale al freddo.

I tre pini hanno valori di C.R. simili nella seconda metà di ottobre ma già nella prima metà di novembre, ed ancor più all'inizio di dicembre, *P. brutia* e *P. eldarica* hanno acquisito una resistenza al freddo decisamente più elevata rispetto a *P. halepensis*. Tali differenze sono particolarmente evidenti nel caso delle gemme: nella prima metà di novembre i valori di C.R. sono nettamente inferiori in *P. brutia* e *P. eldarica*, i quali tollerano bene ormai temperature di  $-12^{\circ}\text{C}$  che, invece, producono danni sensibili in *P. halepensis*.

Nelle tre settimane intercorse fra il primo e il secondo rilievo la media delle temperature minime giornaliere è stata di  $6,1^{\circ}\text{C}$  e quella delle massime  $16,5^{\circ}\text{C}$  e nell'intervallo fra il secondo e il terzo rispettivamente  $3,5^{\circ}\text{C}$  e  $13,1^{\circ}\text{C}$ . La soglia termica oltre la quale non si verifica l'acquisizione della condizione di resistenza (o del primo stadio della stessa) viene generalmente indicata in  $5-10^{\circ}\text{C}$  e per SAKAI (1967) in molti alberi giovani temperature superiori a  $13^{\circ}\text{C}$  provocano addirittura perdita di tolleranza.

In *P. brutia* e *P. eldarica* la capacità di iniziare l'acquisizione della tolleranza invernale in presenza di temperature ambientali che non sembrano consentirla in *P. halepensis* è risultata associata, in questa indagine, ad un più elevato grado di resistenza invernale al freddo. Una associazione simile è già stata messa in evidenza in altre specie (YOUNG, 1969). Questo comportamento assicura evidentemente un meccanismo di difesa dal freddo più affidabile. Si può infatti osservare (Fig. 5) che, nell'anno in cui sono state realizzate queste prove, nei primi giorni di novembre si erano già verificate le prime temperature inferiori a  $0^{\circ}\text{C}$ .

## 3 - Stabilità della fase di resistenza invernale.

È comune che la resistenza al freddo fluttui durante l'inverno, adattandosi piuttosto velocemente alle condizioni termiche esterne. LARCHER (1973) riporta a questo proposito un'ampia letteratura, dalla quale risulta che la perdita di resistenza avviene in pochi giorni in presenza di temperature di  $10^{\circ}\text{C}$  o superiori. WEAVER et al. (1968) su pesco hanno osservato rapide variazioni della resistenza in corrispondenza di brevi periodi di aumento (fino a circa  $14,5^{\circ}\text{C}$  di temperatura massima) della temperatura esterna, variazioni che altrettanto rapidamente venivano riassorbite in conseguenza del ripristino delle normali temperature invernali.

In termini di stabilità invernale della resistenza al freddo, le diffe-

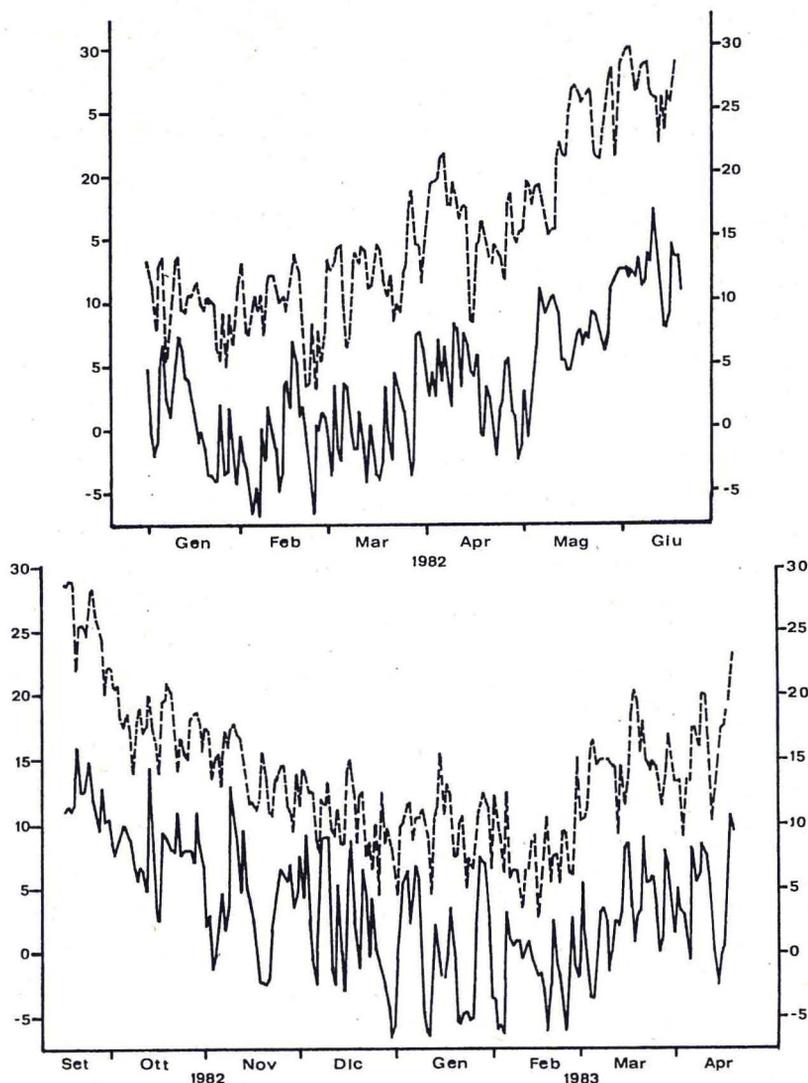


Fig. 5 - Andamento delle temperature massime e minime per i periodi gennaio-giugno 1982 e ottobre 1982-aprile 1983.

renze maggiori fra i tre pini riguardano il comportamento delle gemme. In *P. halepensis* si osservano alcune rapide fluttuazioni della resistenza, in corrispondenza di consistenti variazioni della temperatura esterna, mentre, all'opposto, i profili delle variazioni della resistenza sono i più regolari in *P. eldarica*. L'analisi della correlazione fra i valo-

ri dell'indice  $I_t$  a  $-21^{\circ}\text{C}$  nel periodo invernale e la media delle temperature minime dei 10 giorni precedenti le determinazioni della resistenza al freddo ( $R = 0,76^*$  in *P. halepensis* e  $0,54$  in *P. eldarica*) conferma la maggiore dipendenza, in *P. halepensis*, del grado di resistenza dalle fluttuazioni della temperatura.

4 - Modalità con le quali si realizza la perdita di resistenza al freddo.

A fine inverno, inizia più precocemente in *P. halepensis* la diminuzione della capacità di tollerare le basse temperature. Questo comportamento è riscontrabile in tutti gli organi esaminati. Con l'inizio della primavera, si verifica però una rapida perdita di resistenza relativa nelle gemme di *P. eldarica* e quindi di *P. brutia* e successivamente anche nei rami di *P. eldarica*.

Causa di queste modificazioni sembra essere la differente intensità di crescita. La ripresa primaverile dell'attività vegetativa è infatti risultata più precoce in *P. eldarica*, più tardiva in *P. halepensis*. Nei rilievi effettuati in periodi successivi (prima settimana di maggio del primo anno di prove), quando l'attività di crescita è diffusa nei tre pini in modo simile, si ristabiliscono infatti i precedenti rapporti relativi: nelle gemme la minore sensibilità alle basse temperature si osserva in *P. eldarica*, i cui rami, inoltre, manifestano una resistenza identica a quella di *P. brutia* e superiore a quella di *P. halepensis*. I cambiamenti che si verificano in preparazione della crescita primaverile apparentemente portano ad una perdita di resistenza, che si accentua con l'effettivo inizio della crescita.

Nelle foglie, la differente precocità nella ripresa dell'attività di crescita sembra avere conseguenze più contenute sulla variazione della resistenza al freddo.

5 - Modello di comportamento dei vari organi.

L'associazione tra precocità nell'acquisizione della resistenza, valori massimi raggiunti dalla stessa in inverno, lunghezza e stabilità del periodo di massima resistenza, è riscontrabile anche a livello dei singoli organi. Da questo punto di vista, la differenza fra gemme da un lato e rami ed aghi (il cui comportamento invece è molto simile) dall'altro è evidente.

La diversa resistenza relativa di rami e aghi quando valutata tramite l'indice  $I_t$  a  $-21^{\circ}\text{C}$  o la C.R. media alle varie temperature, apparentemente ha origine nella differente quantità di elettroliti presenti nei due organi, come è dimostrato dai valori di C.R. dei controlli ( $+4^{\circ}\text{C}$ ),

decisamente più elevati nei rami. I risultati di ARONSSON e ELIASSON (1970) indicano l'esistenza di una situazione simile in *Pinus silvestris* L., e, come nel nostro caso, anche in *P. silvestris* le differenze alle temperature più basse tendono a scomparire. L'impiego dell'indice  $I_r$ , nel cui calcolo sono utilizzati anche i valori di conducibilità del controllo, comporta di necessità, per i rami, un abbassamento dell'indice, rispetto ai valori forniti dalla C.R.

L'indice  $I_r$ , dato che elimina le interferenze dovute al differente contenuto di elettroliti dei vari campioni e consente di esprimere i risultati in una scala 0-100, sembra da preferire quando si intenda confrontare fra loro organi differenti. La più elevata resistenza complessiva (come risulta dai confronti effettuati tramite l'indice  $I_r$ ), dei rami rispetto alle foglie, è peraltro omogenea con alcune indicazioni della letteratura relativa a diverse specie arboree (LARCHER e MAIR, 1969) ed è stata osservata anche in *P. halepensis* (LARCHER, 1970).

#### CONCLUSIONI

I valori di resistenza che si ottengono con tests di laboratorio come quello impiegato in questa ricerca dipendono largamente non solo dalla temperatura e durata di esposizione ma anche dalla velocità di raffreddamento e successivo riscaldamento del materiale.

Rispetto a metodi, largamente impiegati, che prevedono una variazione lenta (1—5°C/ora) della temperatura durante il test, il metodo proposto da ARONSSON e ELIASSON (1970) e da noi adottate richiede una variazione molto rapida della temperatura. Ciò consente di esporre il materiale ad uno stress più intenso e quindi di ridurre l'intervallo termico del test.

Le differenze tra i due metodi sono tuttavia più importanti e probabilmente riguardano la natura dei danni provocati e il tipo di resistenza valutato.

Secondo LEVITT (1980) con il metodo di ARONSSON e ELIASSON (1970) si misura prevalentemente la capacità dei tessuti di prevenire o ridurre («Avoidance») la formazione di ghiaccio intracellulare. Le ricerche di BERVAES et al. (1977), i quali realizzano un congelamento anche più rapido di quello riportato in Fig. 1, proprio per evitare il congelamento extracellulare e favorire quello intracellulare, sembrano confermare tale valutazione.

Lo sviluppo di questa o di un altro tipo di «avoidance» (es. quella

dovuta a sotto raffreddamento) può risultare sufficiente a conferire una buona resistenza al freddo (LÉVITT, 1980). Se è vero, infatti, che la tolleranza generalmente è il componente maggiore della resistenza al freddo nelle piante superiori, non sempre rappresenta il fattore limitante.

Il comportamento dei vari organi da questo punto di vista è tuttavia differente. Il sottoraffreddamento, per es., è un adattamento decisivo solo per le gemme di alcune piante legnose e per il parenchima del legno (GEORGE et al., 1974a e 1974b; GEORGE e BURKE, 1977a e 1977b; QUAMME et al., 1973). Le indagini di DEREUDDRE (1978) sul comportamento dei diversi territori della regione apicale dei rami di *Picea abies* Karst. confermano l'esistenza di risposte differenziate da parte dei vari tessuti.

È presumibile, comunque, che in specie a diffusione circummediterranea l'«avoidance» abbia un peso relativamente elevato. Per LARCHER in piante legnose sempreverdi mediterranee l'«avoidance» è praticamente il meccanismo operante della resistenza al freddo, con un rapporto rispetto alla tolleranza di 1:0,6 in *Pinus pinea* L., contro, per es., un rapporto di 1:5 in *Pinus cembra* L. (LARCHER, 1970).

L'impiego del metodo di ARONSSON e ELIASSON (1970) per la determinazione della resistenza al freddo nelle specie oggetto di questa indagine appare quindi appropriato.

Come nelle indagini dei suddetti A.A., la velocità di raffreddamento dei tessuti è risultata differente per le varie temperature saggiate e variante da circa 0,6°C/min per -3°C a circa 1,2°C/min per -21°C (Fig. 1). Ciò può aver portato ad una sottovalutazione dei danni provocati da -3°C. Una valutazione precisa degli effetti di temperature relativamente elevate quali -3°C è interessante solo in limitati periodi dell'anno, come durante la ripresa dell'attività di crescita in primavera. Il comportamento delle piante in questo periodo viene attualmente seguito e approfondito con una serie di indagini cui accenneremo in seguito.

Differenze nella velocità di abbassamento della temperatura sono state riscontrate anche fra gemme e rami (Fig. 1) e fra rametti di diverso diametro, ma di entità modesta (e comunque inferiore a quelle; prima ricordate, associate alle varie temperature saggiate) e tali quindi da non poter essere ritenute causa della differente resistenza al freddo di gemme e rami. L'eterogeneità strutturale dei rami non consente attualmente una precisa valutazione della capacità di sopravvivenza degli stessi. In diverse specie legnose è stata infatti messa in evidenza in alcuni tessuti del ramo una resistenza al freddo superiore a quella della gemma (LARCHER, 1970 e 1971; LARCHER e MAIR, 1969).

Con la strumentazione attualmente disponibile non è stato possibile seguire le variazioni di temperatura degli aghi, ma è presumibile (data la struttura e le dimensioni) che la velocità di abbassamento della temperatura sia più elevata di quella di gemme e rami e che ciò sia, in parte, responsabile dell'apparente maggiore sensibilità al freddo degli aghi. I nostri risultati non stabiliscono quindi in modo conclusivo l'entità delle differenze nella resistenza al freddo dei vari organi. La più elevata sensibilità al freddo dell'apparato fogliare in confronto alle gemme o ai tessuti dei rami è stata tuttavia messa in evidenza, e con tecniche differenti dalle nostre, in diverse conifere (LARCHER, 1970) per cui sembra accettabile l'indicazione di resistenza al freddo relativa dei vari organi emersa dai nostri risultati.

Alcune rapide fluttuazioni del grado di resistenza al freddo ritrovate in inverno vanno considerate reali risposte a rapide variazioni della temperatura ambientale. Simili fluttuazioni di breve periodo sono già state osservate in altre specie e su *Pinus silvestris* L. ARONSSON e ELIASSON (1970) le attribuiscono a brusche variazioni di temperature anche di soli 2-3 giorni. Un tale comportamento, come anche la minore resistenza assoluta, sembra tipico di piante giovani come quelle oggetto di questa indagine. L'importanza di tali fluttuazioni per la capacità di sopravvivenza delle piante dovrà essere meglio precisata, effettuando in futuro analisi ad intervalli più brevi di quelli adottati nella presente indagine.

La valutazione quantitativa dei danni prodotti dalle basse temperature dipende dal metodo impiegato per la determinazione degli stessi e nessuno di quelli comunemente impiegati appare privo di inconvenienti. Il metodo adottato in questa ricerca (introdotto inizialmente nelle ricerche sulla resistenza al freddo da DEXTER et al., 1930 e 1932) si basa sulla misura della conducibilità elettrica di soluzioni contenenti sezioni del materiale. Attualmente la stessa natura dell'oggetto misurato con tale test è controversa. L'assunto che il test misuri la percentuale di cellule uccise è stato recentemente messo in discussione dalle ricerche di PALTA et al. (1977), secondo i quali il metodo misura piuttosto il grado di danneggiamento di cellule ancora viventi e che non necessariamente moriranno anche in tempi più lunghi di quelli necessari allo svolgimento del test. Questo aspetto del problema rimane attualmente insoluto anche se LE SAINT-QUERVEL (1977) ha messo in evidenza un'ottima correlazione fra conducibilità e vitalità delle cellule. Secondo LEVITT (1980) questo risultato è conseguenza della rapidità di scongelamento.

mento adottata da Le Saint-Quervel, rapidità che aumenterebbe notevolmente la gravità dei danni e quindi la relazione con la conducibilità. ARONSSON e ELIASSON (1970) hanno però dimostrato che, a parità di altre condizioni, è lo scongelamento lento e non quello rapido (adottato in questa ricerca: Fig. 1) a produrre i danni maggiori ai tessuti. Gli stessi A.A. hanno inoltre messo in evidenza l'ottima correlazione esistente fra i valori di conducibilità e la sopravvivenza e/o l'entità dei danni delle piante (valutati a 4-5 settimane di distanza tramite l'osservazione, esterna e interna, degli organi), dimostrando inoltre che i valori di C.R. inferiori a 25 corrispondono all'assenza di qualsiasi danno ai tessuti. Significative correlazioni tra la C.R. e l'indice  $I_t$  da un lato e sopravvivenza delle piante dall'altro sono state trovate su diverse specie legnose da KETCHIE et al. (1972), i quali hanno anche osservato valori dell'indice  $I_t$  di circa 35 in corrispondenza di temperature che danneggiano soltanto il 10% dei tessuti ( $T_{10}$ ).

Utilizzando, per valutare il grado di tolleranza degli organi saggiati in questa ricerca, i valori soglia proposti dagli A.A. sopra citati, e confrontando i risultati con quelli dell'unica indagine nota su *P. halepensis* (LARCHER, 1970), emerge una sostanziale concordanza per quanto riguarda la massima resistenza invernale dei rametti ed una tolleranza superiore, nelle piante della nostra ricerca, per quanto riguarda gli aghi. Oltre alle diversità metodologiche delle due indagini, può avere determinato tale differenza anche il momento in cui sono state effettuate le determinazioni, dato che il periodo di massima resistenza al freddo negli aghi è di breve durata (Fig. 2, 3, 4). La stessa variazione stagionale da noi determinata in questa prima indagine dovrà essere meglio precisata mediante analisi più frequenti e anche impiegando una più estesa gamma di temperature, dato che in genere la transizione fra assenza di danni e danni molto estesi avviene in un ristretto intervallo termico.

Allo stato attuale della ricerca possiamo proporre una prima valutazione della capacità complessiva di tollerare le basse temperature da parte dei tre pini studiati utilizzando, come termine di riferimento, i valori soglia precedentemente citati.

*P. halepensis*, considerando il comportamento di tutti e tre gli organi saggiati, appare allora in grado di tollerare abbastanza bene temperature dell'ordine di  $-12^{\circ}\text{C}$  durante tutto il periodo invernale (mentre ancora nel tardo autunno è sensibile a tali temperature) e temperature inferiori solo per un breve periodo in pieno inverno. *P. halepensis*

è considerata specie tipica del clima mediterraneo semiarido, ma in alcune zone della sua area di distribuzione naturale sono frequenti temperature minime assolute inferiori a  $-10^{\circ}\text{C}$  (PANETSOS, 1981).

La tolleranza di  $-12^{\circ}\text{C}$  da parte di *P. brutia* è buona per tutto il periodo invernale (nel caso delle gemme anche nel tardo autunno) ed il periodo di resistenza a  $-21^{\circ}\text{C}$  è più lungo (nelle gemme i danni prodotti da tale temperatura sembrano moderati per quasi tutto l'inverno). La maggiore resistenza al freddo rispetto a *P. halepensis* è stata già indicata (PANETSOS, 1981) come caratteristica di *P. brutia* e la buona tolleranza complessiva di  $-21^{\circ}\text{C}$  è in accordo con quanto riporta ARBEZ (1971) sulla possibilità che si verifichino minimi assoluti di circa  $-25^{\circ}\text{C}$  in alcune regioni dell'area di diffusione di *P. brutia*.

In *P. eldarica* temperature di  $-12^{\circ}\text{C}$  non sembrano in grado di produrre danni apprezzabili in alcun organo dalla seconda metà dell'autunno fino a tutto il periodo invernale ed anche i danni conseguenti l'esposizione a  $-21^{\circ}\text{C}$  sono modesti per buona parte dell'inverno.

Pur non potendo attribuire valore assoluto alle temperature indicate come tollerabili, appare evidente l'elevata resistenza al freddo di *P. eldarica*, grazie anche ad un modello di variazione stagionale (precoce di acquisizione, stabilità invernale, scarsa sensibilità alle fluttuazioni termiche ambientali) che sembra particolarmente adatto ad assicurare un efficace meccanismo di difesa dalle basse temperature. Relativamente vicino è il comportamento di *P. brutia*, decisamente più distante, invece, quello di *P. halepensis*. Affinità e divergenze di comportamento concordano con la posizione sistematica relativa delle tre entità studiate (MIROV, 1967; PANETSOS, 1981).

Su *P. eldarica* non esistono in letteratura, a nostra conoscenza, indicazioni sulla resistenza al freddo. È stata già osservata, invece, l'elevata resistenza agli stress idrici della germinazione e delle fasi iniziali di crescita della radice (CALAMASSI et al., 1980) di questo pino, che sembra quindi dotato di notevoli capacità di resistenza a stress ambientali.

Va ricordato però che nella primavera del secondo anno di prove di questa indagine è stata osservata in *P. eldarica* una brusca caduta di resistenza al freddo (che riteniamo causata dalla precoce ripresa dell'attività di crescita) nelle gemme e, successivamente, nei rametti.

Questo comportamento appare importante, forse più della massima resistenza invernale, per l'affermazione e sopravvivenza delle piante.

Attualmente stiamo studiando, con indagini di campo e in ambiente controllato, la ritmica di accrescimento e le modalità e caratteristi-

che della cessazione autunnale e della ripresa primaverile della crescita nei tre pini. Riteniamo queste indagini preliminari allo sviluppo e approfondimento delle nostre ricerche sulla capacità di resistenza al freddo di *P. halepensis*, *P. brutia* e *P. eldarica*.

## BIBLIOGRAFIA

- ARBEZ M. (1971) - Répartition, écologie et variabilité de *Pinus brutia* en Turquie. *Rapport de mission. F.A.O.* (29.8-9.10.1971).
- ARBEZ M. (1974) - Distribution, ecology and variation of *Pinus brutia* in Turkey. *Forest. Gen. Res.*, Inf. 3, F.A.O.
- ARONSSON A., ELIASSON L. (1970) - Frost hardiness in Scots pine (*Pinus silvestris* L.). I. Conditions for test on hardy plant tissues and for evaluation of injuries by conductivity measurements. *Studia Forestalia Suecica*, 77, 1-30.
- BERVAES J.C.A.M., KETCHIE D.O., KUIPER J.C. (1977) - Kinetic freezing damage in apple bark and pine needles. *Physiol. Pl.*, 40, 35-38.
- CALAMASSI R., FALUSI M., TOCCI A. (1980) - Variazione geografica e resistenza a stress idrici in semi di *Pinus halepensis* Mill., *Pinus brutia* Ten. e *Pinus eldarica* Medw. *Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo*, 11, 195-230.
- DEREUDDRE J. (1978) - Effets de divers types de refroidissement sur la teneur en eau et sur la résistance au gel des bourgeons des rameaux d'*Epicea* en vie ralentie. *Physiol. Vég.*, 16, 469-489.
- DEXTER S.T., TOTTINGHAM W.E., GRABER L.F. (1930) - Preliminary results in measuring the hardiness of plant. *Plant Physiol.*, 5, 215-223.
- DEXTER S.T., TOTTINGHAM W.E., GRABER L.F. (1932) - Investigations of hardiness of plant by measurements of electrical conductivity. *Plant Physiol.*, 7, 63-78.
- FALUSI M. (1982) - Variazione geografica e germinazione in semi di *Pinus brutia* Ten. *Ann. Accad. It. Sc. For.*, 31, 157-178.
- FALUSI M., CALAMASSI R. (1982) - Effetti degli stress idrici su germinazione e crescita delle radici in cinque provenienze di *Pinus brutia* Ten. *Ann. Accad. It. Sc. For.*, 31, 99-118.
- FALUSI M., CALAMASSI R., TOCCI A. (1983) - Sensitivity of seed germination and seedling root growth to moisture stress in four provenances of *Pinus halepensis* Mill. *Silv. Genet.*, 32, 4-9.
- FLINT H.L., BOYCE B.R., BEATTLE D.J. (1967) - Index of injury - A useful expression of freezing injury to plant tissues as determined by electrolytic method. *Can. J. Plant Sci.*, 47, 229-230.
- FRANCINI E. (1953) - Il pino d'Aleppo in Puglia. *Ann. Fac. Agraria Bari*, 8, 309-416.
- GEORGE M.F., BURKE M.J., PELLETT H.M., JOHNSON A.G. (1974a) - Low temperature exotherms and woody plant distribution. *HortScience*, 9, 519-522.
- GEORGE M.F., BURKE M.J., WEISER C.J. (1974b) - Supercooling in overwintering *Azalea* flower buds. *Plant Physiol.*, 54, 29-35.
- GEORGE M.F., BURKE M.J. (1977a) - Cold hardiness and deep supercooling in xylem of shagbark hickory. *Plant Physiol.*, 59, 319-325.

- GEORGE M.F., BURKE M.J. (1977b) - Supercooling in overwintering *Azalea* flower buds. Additional freezing parameters. *Plant Physiol.*, **59**, 326-328.
- KETCHIE D.O., BEEMAN C.H., BALLARD A.L. (1972) - Relationship of electrolytic conductance to cold injury and acclimation in fruit trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **97**, 403-405.
- LARCHER W. (1970) - Kalteresistenz und Überwinterungsvermögen mediterraner Holzpflanzen. *Oecol. Plant.*, **5**, 267-286.
- LARCHER W. (1971) - Die Kälteresistenz von Obstbäumen und Ziergehölzen subtropischer Herkunft. *Oecol. Plant.*, **6**, 1-14.
- LARCHER W. (1973) - Temperature resistance and survival. In «Temperature and Life», Precht H. et al. Ed., pp. 203-231. Springer-Verlag, Berlin.
- LARCHER W., MAIR B. (1969) - Die Temperaturresistenz als ökophysiologisches Konstitutionsmerkmal. 1. *Quercus ilex* und andere Eichenarten des Mittelmeergebietes. *Oecol. Plant.*, **4**, 347-375.
- LE SAINT QUERVEL A.M. (1977) - Recherche et utilisation d'une méthode d'évaluation de la résistance au gel de fragments de feuilles. *C. R. Acad. Sci., Paris*, **284**, 41-44.
- LEVITT J. (1980) - Responses of plant to environmental stresses. Vol. I, Acad. Press, New York.
- MIROV N.T. (1967) - The genus *Pinus*. Ronald Press Co., New York.
- NAHAL I. (1962) - In: Panetsos K.C.P., 1981.
- PALMBERG C. (1975) - Geographic variation and early growth in south-eastern semi-arid Australia of *Pinus halepensis* Mill. and *Pinus brutia* Ten. species complex. *Silv. Genet.*, **24**, 150-160.
- PALTA J.P., LEVITT J., STADELMANN E.J. (1977) - Freezing injury in onion bulbs. I. Evaluation of conductivity method and analysis of ion and sugar efflux from injured cells. *Plant Physiol.*, **60**, 393-397.
- PANETSOS K.C.P. (1981) - Monograph of *Pinus halepensis* (Mill.) and *Pinus brutia* (Ten.). *Ann. Forest.*, **9** (2), 39-77.
- PELIZZO A., TOCCI A. (1978) - Indagini preliminari sui semi e semenzali di *Pinus halepensis* e *Pinus brutia-eldarica*. *Ann. Ist. Sper. Selv. Arezzo*, **9**, 111-130.
- QUAMME H., WEISER C.J., STUSHNOFF C. (1973) - The mechanism of freezing injury in xilem of winter apple twig. *Plant Physiol.*, **51**, 273-277.
- SAKAI A. (1967) - In: Levitt J., 1980.
- UNESCO-FAO (1963) - Carte bioclimatique de la zone méditerranéenne. Notice explicative. Recherches sur le zone aride, XXI. UNESCO, Paris et FAO, Rome.
- WALTER H., LIETH H. (1967) - Klimadiagramm-weltatlas. G. Fischer, Jena.
- WEAVER J.M., JACKSON H.O., STROUD F.D. (1978) - Assessment of winterhardiness in peach cultivars by electrical impedance, scion diameter and artificial freezing studies. *Can. J. Plant Sci.*, **48**, 37-47.
- YOUNG R. (1969) - Cold hardening in citrus seedlings as related to artificial hardening conditions. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, **94**, 612-614.

(ms. pres. il 10 settembre 1984; ult. bozze il 22 ottobre 1984)

