

## COME INFLUISCONO LE ALTE TEMPERATURE SVILUPPATE IN UN INCENDIO SUI CONI E SUI SEMI DI *PINUS HALEPENSIS* MILL.?

(\*) Dipartimento di Scienze dei Sistemi Culturali, Forestali e dell'Ambiente, Università della Basilicata, Potenza

(\*\*) Departamento de Producción Vegetal. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Albacete, Universidad de Castilla-La Mancha, Albacete, España

Il lavoro intende:

- valutare l'innalzamento termico degli strobili serotini (S) e non serotini (NS) di *Pinus halepensis* Mill. nonché la germinabilità dei semi provenienti dagli stessi strobili simulando le temperature esterne che si registrano in un incendio forestale di bassa e media intensità (rispettivamente 250° C per 1' e 3' e 400°C per 1' e 3');
- individuare gli elementi minerali presenti nel tegumento degli stessi semi.

La temperatura misurata in continuo per mezzo di termocoppie inserite nei coni, conferma una maggiore trasmissione del calore all'interno dei coni serotini rispetto ai non serotini, peraltro compensata dalla elevata percentuale di semi germinati.

Per il secondo esperimento i semi sono stati preparati secondo il metodo di McDowell and Trump (1976) per l'osservazione al SEM-EDS; utilizzando il programma Link<sup>ISIS</sup> sono stati identificati i picchi degli spettri minerali e quantificati gli elementi presenti nella parte più esterna del tegumento seminale. I risultati hanno evidenziato che i semi dei coni serotini presentano una maggiore quantità di Ca e Si, quelli dei non serotini presentano maggior contenuto di Mg, K, S.

Il silicio sviluppa uno strato meccanico nel tegumento seminale formato da cristalli globulari di SiO<sub>2</sub>, il cui ruolo può essere collegato alla minore infiammabilità.

*Parole chiave:* *Pinus halepensis* Mill., silicio, serotinia, trasmissione di calore.

*Key words:* *Pinus halepensis* Mill., serotiny, Si content, heat transport.

*Mots clés:* *Pinus halepensis* Mill., serotinie, teneur en Si, transmission de la chaleur.

### 1. INTRODUZIONE

Molte specie del genere *Pinus* sono adattate al regime degli incendi; alcune di esse presentano coni legnosi chiusi che proteggono i semi e che si aprono a seguito del passaggio del fuoco (serotinia). Un esempio è *Pinus halepensis* Mill. considerato in parte serotino, perché presenta coni serotini e non (Panetsos, 1981) caratterizzandosi per la "dual life strategy" propria delle specie con tale caratteristica (Nathan and Ne'eman, 2004).

La serotinia è un tratto adattativo comune a specie che vivono in aree abitualmente percorse dal fuoco, di cui aumenta la sopravvivenza dopo un incendio (Zwolinski, 1990); le piante utilizzano i semi conservati per anni nella chioma e attivano sollecitamente la rinnovazione post-incendio delle aree percorse. La serotinia massimizza il numero dei semi disponibili per la rinnovazione, conservandoli e proteggendoli anche dai predatori e dal calore (Lamont *et al.* 1991); i coni serotini rimangono chiusi per vari anni e il fuoco ne produce l'apertura, attraverso la divaricazione delle squame legnose e la conseguente dispersione dei semi (Daskalakou e Thanos, 1996; Saracino e Leone, 1994; Leone *et al.* 1997). I coni serotini restano chiusi fino a quando la resina che sigilla le squame si liquefa con il calore (45 °C - 50 °C) (Tapias *et al.* 2001; Goubitz *et al.* 2003). Le squame liberano i semi aprendosi anche per effetto di differenze anatomiche a livello degli sclereidi (Beaufait, 1960; Harlow *et al.* 1964; Leone *et al.* 1998). L'apertura dei coni serotini, in particolare di *Pinus halepensis* Mill., è favorita non solo dall'aria calda e secca

originata dal fuoco, ma anche dai venti caldi e secchi che spirano in diverse regioni del Mediterraneo (Nathan *et al.* 1999; Nathan e Ne'eman, 2000). Il buon esito della rinnovazione post-incendio dei pini mediterranei dipende anche dalla capacità dei semi di tollerare l'aggressività del fuoco (Sannikov, 1994; Martínez-Sánchez *et al.* 1995; Despain *et al.* 1996): il problema principale in caso di incendi è la capacità dei semi di sopportare alte temperature. L'intensità di un incendio forestale è pertanto uno dei fattori cruciali nella rinnovazione (Malanson, 1984; Sousa, 1984).

In questo contesto s'inserisce la presente ricerca che ha inteso approfondire la differenza comportamentale dei due tipi di coni presenti in *Pinus halepensis* Mill. L'obiettivo principale del lavoro è stato quello di valutare il ruolo protettivo dei coni di *Pinus halepensis* Mill. in rapporto alla rinnovazione post-incendio e al rialzo termico verificando, altresì, le eventuali differenze nel chimismo del tegumento dei semi dei due tipi di coni (serotini e non serotini) raccolti in due località del sud dell'Italia frequentemente percorse dal fuoco. In particolare è stata studiata:

- 1) la trasmissione di calore all'interno dei coni serotini e non serotini di *Pinus halepensis* Mill. sottoposti a differenti intensità di fuoco, in funzione della temperatura raggiunta e del tempo d'esposizione, così come la tolleranza dei semi sottoposti a differenti scenari simulati d'incendio;
- 2) la quantità e gli elementi chimici presenti sulla superficie del tegumento esterno dei semi dei due tipi.

#### 1.1 Raccolta del materiale vegetale e aree di studio

Il materiale vegetale utilizzato, coni di *Pinus halepensis*, è

stato raccolto in due aree del Sud d'Italia, una in provincia di Taranto e l'altra in provincia di Salerno, caratterizzate dal frequente ripetersi d'incendi. La prima area, "Perronello" (253 ettari, Lat. 40 ° 27'43 "N; Long. 16 ° 56 '09" E) è una pineta d'origine naturale di *P. halepensis* su dune sabbiose, recentemente formate, dichiarata Riserva Naturale Biogenetica, che presenta un clima tipico mediterraneo: pioggia abbondanti nel periodo autunno-inverno, con una media annuale di precipitazioni di 535 millimetri, temperatura media annua di 15,8 °C. La vegetazione è rappresentata da pineta pura di *Pinus halepensis* Mill., coetanea, di circa 60 anni d'età, densità di 251 piante ha<sup>-1</sup>, area basimetrica 52,72 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>, diametro medio 30,65 cm, altezza media di 9 m, consociata con sclerofille sempreverdi, che appartengono all'associazione *Plantago-Pinetum halepensis* (Bartolo *et al.* 1985).

L'altra zona, "Marina di Camerota" (350 ha) si trova nel Cilento ed è l'unica pineta relictta autoctona di *Pinus halepensis* nella costa cilentana (Lat. 40 ° 40' N, Long. 15 ° 22' E). Il clima è mediterraneo: nella zona si registra temperatura media annua di 16,7 °C, con una media annuale di precipitazioni di 792 mm. La vegetazione è rappresentata da *Pinus halepensis*, di circa 70 anni d'età, densità di 694 alberi ha<sup>-1</sup>, area basimetrica 23,55 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup>, diametro medio 24,75 cm, l'altezza media 16 m); sono presenti diverse specie della macchia quali: *Juniperus phoenicea*, *Pistacia lentiscus*, *Rosmarinus officinalis*, qualche esemplare di *Vitex agnus-castus* e *Rhamnus alaternus*, *Erica arborea*, *Spartium junceum*, *Mirtus communis*. Le due aree si trovano entrambe nella zona fitoclimatica del Lauretum II° tipo, sottozona calda (Pavari, 1916). I coni sono stati raccolti nelle due zone, nei mesi di ottobre e dicembre del 2004 e 2005, da 6 piante mature di *Pinus halepensis* Mill. della stessa età e dimensioni, recentemente schiantate dal vento. La raccolta dei coni è stata realizzata in 3 parti della chioma, dall'alto al basso: sono stati raccolti coni di colore grigio (considerati più vecchi) e marroni (di minore età) considerando che i primi di consistenza gessosa sono sicuramente serotini.

## 2. MATERIALI E METODI

### 2.1 Trasmissione termica

Per l'esperimento di trasmissione termica sono stati campionati 20 coni serotini (S, i vecchi coni grigiastri) e 20 non serotini (NS, coni rossastri), al fine di valutare le possibili differenze nel trasferimento del calore all'interno di entrambi i tipi. Sono stati selezionati quattro gruppi di 5 coni serotini e 5 non serotini raccolti da alberi di circa 60 anni d'età in ciascuna località (40 coni per località), da sottoporre successivamente in laboratorio a ciascuna delle quattro combinazioni di tempo x temperatura scelte per simulare vari scenari di incendio di bassa/media intensità: 250 °C per 1' e 250°C per 3', 400 °C per 1' e 400°C per 3'.

La temperatura è stata misurata, con una misura al secondo, utilizzando termocoppie inserite in fori precedentemente effettuati sui coni e sigillati con mastice resistente al fuoco. Nello specifico sono state rilevate quattro misure, due a livello dell'asse e due a livello delle squame, registrandole con un datalogger HOBOWare. È stata calcolata la temperatura media (Tm), finale (Tf), e gli incrementi di temperatura (Δt), calcolati sottraendo la temperatura finale dalla iniziale.

In seguito ai trattamenti termici, i semi sono stati estratti a mano dai coni e sottoposti a test di germinazione per ogni scenario, mantenendo separati i semi estratti dai due tipi di coni. Quattro repliche di 100 semi non trattati per ogni tipo di cono sono state messe a germinare come controllo.

Quattro repliche di 100 semi sono state selezionate a caso dai coni sottoposti ai trattamenti termici per ciascun scenario considerato e poste a germinare su tavolo di Jacobsen impostando una temperatura costante di 20 °C ± 0.5, intensità di luce di 1250 lux e un fotoperiodo di 8 ore. I semi sono stati mantenuti umidi per capillarità durante tutta la durata del test e contati a partire dal 7 giorno e a cadenza trigiornaliera durante 4 settimane (28 giorni). Quando la radichetta era intorno ai 2 mm i semi erano registrati e tolti.

### 2.2 Identificazione degli elementi minerali nella parte più esterna del tegumento

Per rilevare la concentrazione degli elementi minerali presenti nel tegumento dei semi si è utilizzato un microscopio elettronico SEM-EDS modello JEOL-SCANNING 6100. I semi di due tipi di coni di *P. halepensis* sono stati preparati con il metodo di McDowell e Trump (1976), che prevede: reidratazione, fissazione, disidratazione, punto critico, metallizzazione (i semi a seguito dei vari trattamenti innanzi citati sono stati montati su matrice di alluminio e ricoperti con una patina sottile di carbonio in forma di grafite utilizzando un evaporatore di carbonio, Polaron CC 7650). Mediante emissione di raggi X è stato possibile misurare la concentrazione degli elementi presenti nel tegumento. Il programma utilizzato è stato il Link<sup>ISIS</sup>. Sono state effettuate misurazioni analitiche in 6 punti del tegumento di ciascun tipo di seme provenienti da coni serotini e non serotini. Da questa analisi sono stati rilevati i picchi di energia corrispondenti ai raggi X emessi nel campo di 0-10 keV per ogni campione.

### 2.3 Analisi statistica

L'analisi dei dati è stata realizzata con ANOVA&MANOVA usando il software di Windows e Statgraphics Plus 5.1. I dati sono stati trasformati con la trasformazione angolare  $\sqrt{\arcsin}$  per provare la normalità e la omoscedasticità. Per quanto concerne il primo esperimento la figura 1 rappresenta le temperature finali medie e gli errori standard (±SE). I valori medi sono stati comparati usando il test di Duncan. Per il secondo esperimento i valori percentuali degli elementi chimici sono stati trattati statisticamente tramite GLM, ANOVA, PCA (Analisi delle componenti principali). Tutte le analisi statistiche sono state condotte usando un valore di  $p < 0.05$ .

## 3. RISULTATI E DISCUSSIONE

Esperimento I: I risultati ottenuti confrontando le due località, Perronello e Marina di Camerota, hanno mostrato che le temperature finali, a livello dell'asse interno dello strobilo (Figura.1 e Figura. 2), risultano sempre più basse di quelle esterne, come intuibile. Le condizioni sfavorevoli (temperature massime finali) sono state raggiunte nelle misure esterne nella simulazione dello scenario di bassa intensità (al tempo d'esposizione più elevato) per entrambe le intensità degli incendi.

Le temperature finali nei coni serotini sono state più

elevate nel caso degli strobili di Perronello; per essa anche le temperature finali, misurate a livello di squame e di asse, sono state quasi sempre superiori a quelle misurate nei coni dell'altra località, meno colpita dagli incendi. Per i coni della località Marina di Camerota in prossimità dell'asse risulta una situazione abbastanza omogenea per i vari scenari: 400°C-1'NS, 400°C-1'S e 250°C-1'S, 250°C-1'NS mentre le temperature finali risultano simili, e differiscono da quelli di altri scenari (400°C-3'NS, 400°C-3'S 250°C-3'S, 250°C-3'NS), che risultarono essere diverse e maggiori. Le temperature misurate a livello squame, sono più elevate ma nello scenario 250°C-3'NS e 400°C-3'NS si registra la stessa temperatura. Nel complesso, la percentuale di semi germinati (Figura 4) è quasi sempre elevata (oltre il 80%); solo nello scenario 400°C-3'S la percentuale risulta piuttosto esigua, 54,5% ± 4,99. I risultati della germinazione sono coerenti con quelli di lavori simili (Goubitz *et al.* 2003; Lovreglio *et al.* 2005; De las Heras *et al.*, 2007).

Esperimento II: Il GLM mostra significative relazioni tra i tipi di cono e gli elementi presenti nel tegumento, mentre non risultano significative le differenze tra provenienze. Gli elementi che risultano significativi sono: S, Ca, Mg, K and Si. L'analisi delle componenti principali è mostrata nella Figura 3. La prima componente esprime 42.98% della varianza mentre la seconda 22.35%. I semi dei coni serotini presentano una maggiore quantità di Ca e Si, quelli dei NS presentano maggior contenuto di Mg, K, S.

#### 4. CONCLUSIONI

L'aumento delle temperature all'interno è in relazione al tipo di cono (S-NS) e all'interazione *tipo di cono x intensità del fuoco*. All'interno dei coni sottoposti a diversi regimi termici sono state sempre registrate temperature relativamente basse rispetto alla zona più esterna, a conferma del ruolo di schermo che i coni svolgono come protezione contro l'innalzamento termico nei vari scenari di incendio. Le temperature più contenute, quasi sempre in prossimità dell'asse, dove un paio di semi sono inseriti nelle logge, dimostrano che i semi conservati all'interno del cono sono relativamente al riparo dal rialzo termico esterno. La trasmissione del calore all'interno è relativamente più elevata nei coni serotini: le temperature raggiunte, peraltro, non riducono la percentuale di semi germinati, al contrario la favoriscono. La germinazione dei semi di coni serotini è diminuita solo alle alte temperature (400°C) per 3'.

Gli strobili serotini quindi proteggono i semi dagli agenti abiotici e aprendosi dopo un incendio rilasciano nella prima fase semi che possiedono le migliore qualità biologiche (Saracino and Leone, 1993). Tutto ciò conferma il potere isolante dei coni (Leone *et al.* 1999) la cui capacità di protezione dipende dall'intensità dell'incendio (Johnson e Gutsell, 1993). Lo studio del tegumento seminale ha evidenziato che i semi dei coni serotini presentano sempre una maggiore quantità di Ca e Si (dato quest'ultimo assolutamente originale, non noto in letteratura), quelli dei NS presentano maggior contenuto di Mg, K, S. Il silicio sviluppa uno strato di cristalli globulari di SiO<sub>2</sub>, il cui ruolo può essere collegato alla minore infiammabilità. Il silicio prolunga infatti la fase

endotermica della combustione o meglio inibisce la combustione, funzionando da ritardante (Mutch and Philpot, 1970; Behm e Duryea; 2002, White *et al.* 1996). Ciò potrebbe spiegare perché i semi serotini quasi sempre risultano più tolleranti al passaggio del fuoco rispetto ai non serotini. I risultati ottenuti evidenziano che i semi dei coni serotini risultano anche per aspetti funzionali diversi dai semi dei coni non serotini: tollerano elevate temperature, sono diversi a livello chimico. Pertanto, al momento di effettuare trattamenti selvicolturali nelle aree percorse dal fuoco, i risultati confermano l'utilità di rilasciare gli alberi di *Pinus halepensis* danneggiati o morti perché molti semi, del tutto vitali malgrado le apparenze, chiusi nei coni serotini della chioma saranno capaci di contribuire a promuovere la rinnovazione. È raccomandabile altresì intervenire nella giovane rinnovazione con trattamenti selvicolturali (potature, diradamenti) che favoriscono la precoce produzione di coni serotini, perché è dimostrato il loro valore di riserva stabile ed efficace dei semi, al fine di assicurare la perpetuità della copertura forestale specialmente nelle zone dove sono frequenti gli incendi.

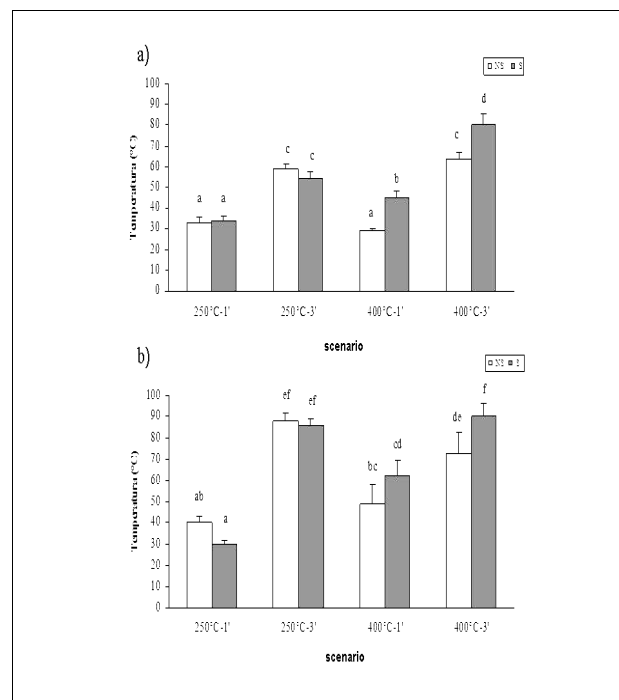


Figura 1. Temperatura finale nei diversi scenari a livello di asse centrale a) e di squame b), all'interno degli strobili serotini (S) e non serotini (NS) della località Perronello. Le lettere indicano le differenze significative tra gli scenari (p<0,05).

Figure 1. Final temperature under different fire scenarios inside strobila at central axis' a) and scales' b) level, both in serotinous (S) and non serotinous strobila (NS) for Perronello site. Different letters indicate significant difference among scenarios ((p<0,05).

Figure 1. Temperature finale au niveau d'asse central a) et d'ecailles b), à l'intérieur de cônes serotinniques (S) et non serotinniques (SN) de Perronello, soumis à différent scenarios de feu. Lettres différentes indiquent différences significantes entre scenarios (p<0,05).

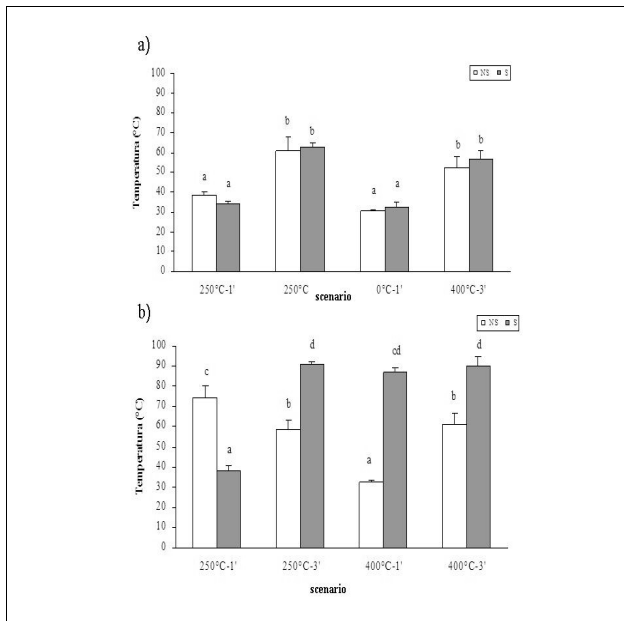


Figura 2. Temperatura finale nei diversi scenari a livello di asse centrale a) e di squame b), all'interno degli strobili serotini (S) e non serotini (NS) della località Marina di Camerota. Le lettere indicano le differenze significative tra gli scenari ( $p < 0,05$ ).

Figure 2. Final temperature under different fire scenarios inside strobila at central axis a) and scales b) level, both in serotinous (S) and non serotinous strobila (NS) for Marina di Camerota site. Different letters indicate significant difference among scenarios ( $p < 0,05$ ).

Figure 2. Temperature finale au niveau d'axe central a) et d'écailles b), à l'intérieur de cônes serotiniques (S) et non serotiniques (SN) de Marina di Camerota, soumis à différents scénarios de feu. Lettres différentes indiquent différences significantes entre scénarios ( $p < 0,05$ ).

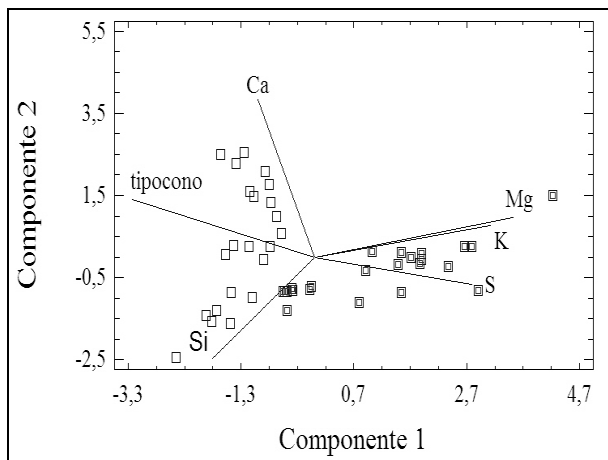


Figure 3. PCA (Analisi delle Componenti Principali) Si: Silicio; Ca: Calcio; K: Potassio; S: Zolfo; Mg: Magnesio. Tipo cono: NS e S. I quadratini vuoti indicano i semi serotini (S), quelli pieni i semi dei coni non serotini (NS).

Figure 3. PCA (Principal Components Analysis), scatterplot Si: Silicon; Ca: Calcium; K: Potassium; S: Sulphur; Mg: Magnesium. Empty squares refer to S, serotinous strobila, full squares to NS, non-serotinous ones.

Figure 3. Analyse en Composantes Principales (ACP) Si: Silicium; Ca: Calcium; K: Potassium; S: Soufre; Mg: Magnésium. Petit carré vide pour S, cônes serotiniques; plein pour NS, cônes non serotiniques.

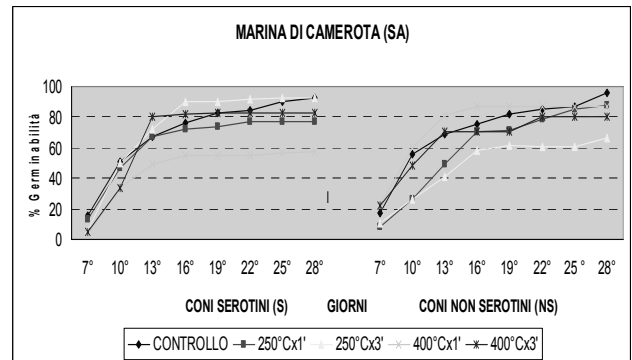
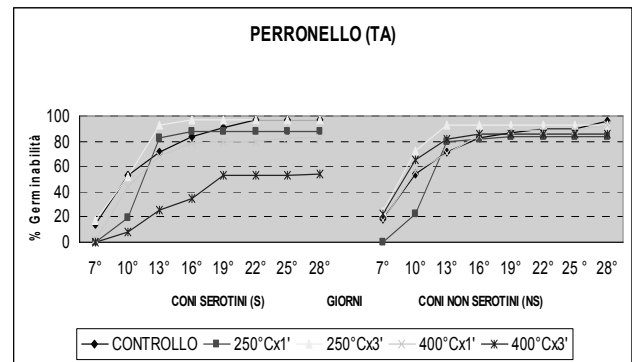


Figure 4. Germinabilità dei semi provenienti da coni serotini (S) e non serotini (NS) delle località Perronello (a) e Marina di Camerota (b) sottoposti a diversi trattamenti. Figure 4. Germination rates of seeds in serotinous (S) and non-serotinous (NS) strobila from Perronello (a) and Marina di Camerota (b) sites, under different thermal treatment.

Figure 4. Germinabilité des graines de cônes serotiniques (S) et non serotiniques (NS), provenant de Perronello (a) et Marina di Camerota (b), soumis à différents traitements thermiques.

## SUMMARY

### HOW DO HIGH TEMPERATURES OF A FOREST FIRE INFLUENCE CONES AND SEEDS OF *PINUS HALEPENSIS* MILL.?

Paper addresses:

- the thermal raise inside serotinous (S) and non-serotinous (NS) strobila of *Pinus halepensis* Mill. and germination rates of their seeds exposed to different temperature-exposure time sets (respectively 250° C for 1' and 3'; 400°C for 1' and 3');
- amount and types of chemical elements present on the tegument's surface of seeds extracted from the two types of strobila.

Temperatures inside strobila at different positions were measured in continuous, at one second intervals, by thermocouples. Results highlight that final temperature at axis level are always more reduced than temperatures at scales level, as expected and that heat transport is higher in S than NS cones, consequently exerting a stronger influence on seeds of such type, which, on the other hand, is balanced by an higher germination value of seeds.

Through SEM-EDS electronic microscope, the thickness of the tegument was measured and, in addition, mineral elements were evaluated. Seeds of both types were prepared according McDowell and Trump (1976). Type and amount of chemicals present on the teguments was

evaluated through EDS microanalysis and LinkISIS OXFORD programme.

Seeds from S cones result richer in Ca and Si, whereas seeds from NS ones are richer in Mg, K, S. Si creates on the tegument's surface a mechanical layer made of globular crystals of SiO<sub>2</sub> which presumably reduce flammability of tissues, since Si inhibits the combustion process prolonging the endothermic phase.

## RÉSUMÉ

### INFLUENCE DES HAUTES TEMPERATURES SUR CONES ET GRAINES DE *PINUS HALEPENSIS* MILL.

Ce travail porte sur:

- la hausse thermique à l'intérieur de cônes serotiniques et non serotiniques de *Pinus halepensis* Mill. ainsi que sur la germination des graines soumis à différentes combinaisons de température-temps d'exposition (respectivement 250° C pendant 1' et 3' et 400° C pendant 1' et 3');
- l'analyse de quantité et type des éléments chimiques présents sur le tégument des graines.

Les températures à l'intérieur des cônes, mesurées à cadence d'un second par thermocouples, sont toujours plus réduites au niveau de leurs axes centraux que à niveau d'écaillures; la hausse de température est plus sensible dans les cônes serotiniques, balancée, d'autre part, par meilleures valeurs de germination de leurs graines. Par microscope électronique on a mesuré l'épaisseur des téguments des graines et la quantité des éléments chimiques.

Sur graines libérées de cônes serotiniques et non serotiniques, préparées après McDowell and Trump (1976), type et quantité des éléments chimiques furent évalués par microanalyses.

Les grains de cônes serotiniques paraissent plus riches en Ca et Si, tandis que ceux de non serotiniques en Mg, K, S.

Sur la surface du tégument Si forme une mince couche de cristaux globulaires de SiO<sub>2</sub> qui exercent une probable influence sur la flammabilité des tissus, puisque Si est un efficace inhibiteur du processus de combustion dont prolonge la phase endothermique.

## BIBLIOGRAFIA

Bartolo G., Brullo S., Minissale P., Spampinato G., 1985 - *Osservazioni fitosociologiche sulle pinete di Pinus halepensis Mill. del bacino del fiume Tellaro (Sicilia Sud-Orientale)*. Boll. Acc. Gioenia di Scienze Naturali, Catania.

Beaufait W.R., 1960 - *Some effects of high temperatures on the cones and seeds of Jack Pine*. Forest Science 6: 194-199.

Behm A.L., Duryea M.L., 2002 - *Ranking plant species by flammability in the Southern United States*. Report-In-Progress Report 2: School of Forest Resources & Conservation. University of Florida, Pp. 18.

Daskalidou E.N., Thanos C.A., 1996 - *Aleppo Pine (Pinus halepensis) postfire regeneration: the role of canopy and soil seed banks*. Int. J. Wildland Fire 6: 59-66.

De Las Heras J., Moya D., Lopez-Serrano F.R., Condes S., 2007 - *Reproduction of postfire Pinus halepensis Mill. stands six years after silvicultural treatments*. Ann. For. Sci. 64: 59-66.

Despain D.G., Clark D.L., Peardon J.J., 1996 - *Simulation of crown fire effects on canopy seed bank in Lodgepole Pine*. Int. J. Wildland Fire 6: 45-49.

Goubitz S., Werger M.J.A., Ne'eman G., 2003 - *Germination response to fire-related factors of seeds from non serotinous and serotinous cones*. Plant Ecology 169: 195-204.

Harlow W.M., Côté W.A., Day A.C., 1964 - *The opening mechanism of pine cone scales*. J. Forest (Washington) 62: 538-540.

Johnson E.A., Gutsell S.L., 1993 - *Heat budget and fire behaviour associated with the opening of serotinous cones in two Pinus species*. Journal of Vegetation Science 4: 745-750.

Lamont B.B., Le Maitre D.C., Cowling R.M., Enright N.J., 1991 - *Canopy seed storage in woody plants*. The Botanical Review 4: 277-317.

Leone V., Saracino A., Logiurato A., 1997 - *Serotiny and its anatomic structure in Pinus halepensis Mill.* In L.Trabaud and R. Prodon (Eds) Proceedings of the International Workshop: Fire, Landscape and Dynamics in the Mediterranean Area. Banyuls-sur-Mer, Sept.1997.

Leone V., Logiurato A., Saracino A. 1998 - *Anatomic features of serotinous cones in Pinus halepensis Mill.* In: L. Trabaud (Ed.) Fire Management and Landscape Ecology, Int. Ass. of Wildland Fire, Pp. 197-203.

Leone V., Borghetti M., Saracino A., 1999 - *Ecology of post-fire recovery in Pinus halepensis in Southern Italy*. In: L. Trabaud (Ed) Life and Environment in the Mediterranean. Advances in Ecological Sciences 3, WIT Press, Southampton, Boston, Pp. 129-154.

Lovreglio R., Salvatore R., Giaquinta P., Leone V., 2005 - *Thermal treatments and germination response over time of seeds from serotinous and non-serotinous cones of Pinus halepensis Mill.* In: V. Leone and R. Lovreglio (Eds) Proceedings, Medpine3 International Conference "Conservation, Regeneration and Restoration of Mediterranean Pines and Their Ecosystems" Bari (Italy).

Malanson G.P., 1984 - *Intensity as a 3<sup>rd</sup> factor of disturbance regime and its effects on species diversity*. Oikos 43, 411-413.

Martinez-Sanchez J.J., Marin A., Herranz J.M., Ferrandis P., De Las Heras J., 1995 - *Effects of high temperatures on germination of Pinus halepensis Mill. and P. pinaster Aiton subsp. pinaster seeds in Southeast Spain*. Vegetatio 116: 69-72.

McDowell E.M., Trump B.F. 1976 - *Histological fixatives suitable for diagnostic light and electron microscopy*. Arch. Pathol. Lab. Med. 100: 405-414.

Mutch R.W., Philpot C.W., 1970 - *Relation of silica content to flammability in grasses*. For. Sci. 16: 64-65.

Nathan R., Safriel U.N., Nov-Meir I., Schiller G., 1999 - *Seed release without fire in Pinus halepensis, a Mediterranean serotinous wind-dispersed tree*. Journal of Ecology 87: 659-669.

Nathan R., Ne'eman G., 2000 - *Serotiny, seed dispersal and seed predation in Pinus halepensis Mill.* In: G. Ne'eman and L.Trabaud (Eds.), Ecology, Biogeography and Management of Pinus halepensis and P. brutia Forest Ecosystems in the Mediterranean Basin. Backhuys Publishers. Leiden, Pp. 105-118.

Nathan R., Ne'eman G., 2004 - *Spatiotemporal dynamics*

- of recruitment in Aleppo Pine (Pinus halepensis Mill.). Plant Ecol.* 171: 123-137.
- Panetsos C.P., 1981 - *Monograph of Pinus halepensis (Mill.) and Pinus brutia (Ten.). Annales Forestales (Zagreb)*, 9: 39-77.
- Pavari A., 1916 - *Studio preliminare sulla coltura di specie forestali esotiche in Italia. Annali del Regio Istituto Superiore Forestale Nazionale, Firenze.*
- Sannikov S.N. 1994 - *Evolutionary pyroecology and pyrogeography of the natural regeneration of Scotch Pine.* In: Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Conf. Forest Fire Research, Coimbra, Vol. II, Pp. 961-968.
- Sousa W.P., 1984 - *The role of disturbance in natural communities.* Ann. Rev. Ecol. Syst. 15: 353-391.
- Saracino A., Leone V., 1993 - *Ecological features and dynamics of seed dispersal after fire in a Pinus halepensis Mill. forest.* In: L. Trabaud and R. Prodon (Eds.) Fire in Mediterranean Ecosystems. Ecosystems Research Report Series 5, Environmental Research Programme of the Commission of the European Communities, Brussels Pp. 151-159.
- Saracino A., Leone V., 1994 - *The ecological role of fire in Aleppo Pine forests: overview of recent research.* In: X. D. Viegas (Ed.) Proceedings 2<sup>nd</sup> Int. Conf. Forest Fire Research. Coimbra, Elsevier, Pp. 887-897.
- Tapias R., Gil L., Fuentes-Utrilla P., Pardos J.A., 2001 *Canopy seed banks in Mediterranean pines of South-Eastern Spain: a comparison between Pinus halepensis Mill., P. pinaster Ait., P. nigra Arn. and P. pinea L.* J. Ecol. 89: 629-638.
- Zwolinskyi J.B., 1990 - *The Pine woolly aphid, Pineus pini L., a pest of Pines in South Africa.* South African Forestry Journal 151: 52-57.
- White R.H., Weise D.R., Frommer S., 1996 - *Preliminary evaluation of the flammability of native and ornamental plants with the cone calorimeter.* In: Proceedings of the International Conference on Fire Safety. California, U.S.A., Vol. 21, Pp. 256-265.