



**UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI DI PADOVA**



**AUTONOME PROVINZ BOZEN - SÜDTIROL  
PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO**



**Dipartimento Territorio  
e Sistemi Agro - Forestali**



**Abteilung Forstwirtschaft  
Ripartizione Foreste**

## **“ZIRMBODEN”**

**PREDISPOSIZIONE DI UN'AREA DI STUDIO  
PERMANENTE E SUCCESSIVE INDAGINI PRELIMINARI  
SULLA STRUTTURA E DINAMICHE  
SPAZIO – TEMPORALI IN UNA FORESTA SUBALPINA**



**Carrer Marco  
Soraruf Luca**

**Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-forestali,  
Treeline Ecology Research Unit,  
Università degli Studi di Padova  
Agripolis, I-35020 Legnaro (Padova), Italy**

# INDICE

<b>SCOPI E OBIETTIVI DELLA RICERCA</b>	<b>pag. 3</b>
<b>INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA</b>	<b>pag. 4</b>
<b>MATERIALI E METODI</b>	<b>pag. 5</b>
<b>RISULTATI</b>	<b>pag. 13</b>
<b>DISCUSSIONE DEI RISULTATI</b>	<b>pag. 28</b>
<b>CONCLUSIONI</b>	<b>pag. 32</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>pag. 34</b>

## SCOPI E OBIETTIVI DELLA RICERCA

Lo scopo principale di questa ricerca è stato quello di raccogliere i dati necessari alla realizzazione di un progetto relativo al monitoraggio delle dinamiche forestali in un'area di saggio permanente nella Foresta di Obereggen alla falde del Latemar. Questo tipo di ricerca di lungo periodo sugli ecosistemi forestali (*Long Term Forest Ecosystem Research, LTFER*) è ormai considerata una componente essenziale sia per la comprensione delle funzioni degli ecosistemi forestali e delle loro risposte ai cambiamenti ambientali, sia per lo studio dell'evoluzione e delle dinamiche naturali in foreste che non sono attualmente utilizzate, ma dove i disturbi antropici passati sono soppressi o confusi con quelli naturali. In termini di monitoraggio questo significa ricostruire la storia del popolamento, acquisendo successivamente dati ad intervalli regolari.

Per ottenere questi risultati è indispensabile disporre di un'area di monitoraggio in cui tutti gli individui arborei vengano identificati e rilevati sia nei loro caratteri biometrici sia in quelli spaziali di posizione. Questa tecnica rientra nell'ambito della cosiddetta "selvicoltura di precisione" (*Precision Forestry*) che utilizza strumentazioni, macchine e tecnologie informative che misurano, registrano, elaborano, analizzano, gestiscono o finalizzano dati di alta risoluzione temporale e/o spaziale con lo scopo di dare rilevanza alle ricerche scientifiche e di mettere in pratica strumenti di supporto alla gestione.

Gli ambiti di ricerca in cui questa tecnica trova applicazione sono:

1. Rilevamento dati con tecnologie e strumentazioni moderne (GPS, LIDAR)
2. Telerilevamento e analisi nell'infrarosso (CIR)
3. Qualità e controllo di prodotto in tempo reale
4. Tracciabilità del prodotto
5. Modelli matematici e teorie di supporto alle decisioni
6. Utilizzo di software (GIS, DSS e simulatori)
7. Hardware

Questi ambiti non sono strettamente legati ad una specifica disciplina forestale ma lasciano aperte tutte le possibilità di interdisciplinarietà. Le applicazioni in campo ecologico sono diverse e toccano svariate questioni:

- stabilità di un popolamento in seguito all'abbandono delle pratiche selvicolturali.
- significato biologico ed ecologico della necromassa.
- età di sopravvivenza degli alberi
- dinamiche della rinnovazione

- sviluppo e forma degli alberi, sugli effetti della concorrenza laterale e sulla dominanza.
- stabilità e sulla qualità dei biogruppi
- dinamiche di potatura laterale e miglioramento tecnologico del legname.
- inclusione di queste aree nei piani di assestamento aumentandone l'attendibilità e la precisione

Tutto questo però richiede due condizioni basilari

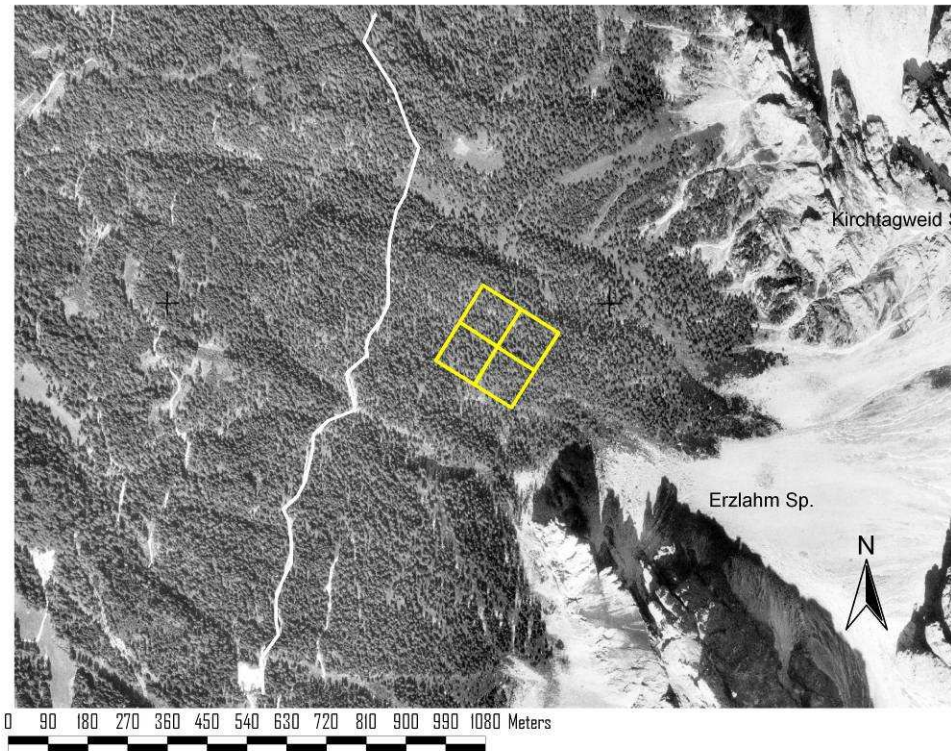
### **Aggiornamento nel tempo dei dati**

#### **Metodologie di rilievo dati condivise e uniformi**

L'aggiornamento nel tempo dei dati è senz'altro la caratteristica che maggiormente contraddistingue il monitoraggio di lungo periodo. Tuttavia anche la metodologia di rilievo è estremamente importante perché se questa non è conforme a quella comunemente utilizzata in questo ambito di ricerca rende difficile il confronto tra situazioni diverse e la creazione di una rete di monitoraggio più ampia che permetta di ottenere un maggior numero di informazioni. Per questo durante l'attività di raccolta dati si è deciso di fare riferimento a quella che è la metodologia più applicata in campo nazionale per la realizzazione di aree di monitoraggio permanente nei programmi di ricerca scientifica finanziati dal Ministero dell'Istruzione dell'Università e della Ricerca sulle "Limitazioni ambientali e fisiologiche dell'accrescimento degli alberi al limite superiore del bosco nelle Alpi e negli Appennini". Tale metodologia oltre a dimostrarsi adatta allo scopo permette di confrontare i dati raccolti con gli altri siti facenti parte del network nazionale di aree di monitoraggio permanente.

## INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA

L'area è situata nel comune di Nova Ponente (BZ) (Coordinate UTM 5139877.44 N 695717.82 E) (**Fig. 1**) in località Obereggen ai piedi del massiccio del Latemar. Il bosco è di proprietà della Frazione di Eggen (A.S.B.U.C. Eggen) nel comune amministrativo di Nova Ponente.



**Fig. 1 Localizzazione dell'area**

La foresta di Obereggen ricopre il fianco occidentale del massiccio dolomitico del Latemar, dalla località di Obereggen fino alle pareti dolomitiche, ad una quota compresa fra i 1.500 e i 2.200 m. I boschi vegetano per lo più su versanti ad esposizione O - NO; i pendii sono mediamente inclinati con alcuni tratti da classificarsi come ripidi.

La morfologia dell'area è molto movimentata con frequenti dossi e depressioni che interessano in particolare la parte nord dell'area (**Fig. 2**). Il substrato appartenente alla categoria dei substrati carbonatici e al gruppo dei substrati dolomitici (Dolomia), da luogo in prevalenza a Rendzina e Rendzina bruni.

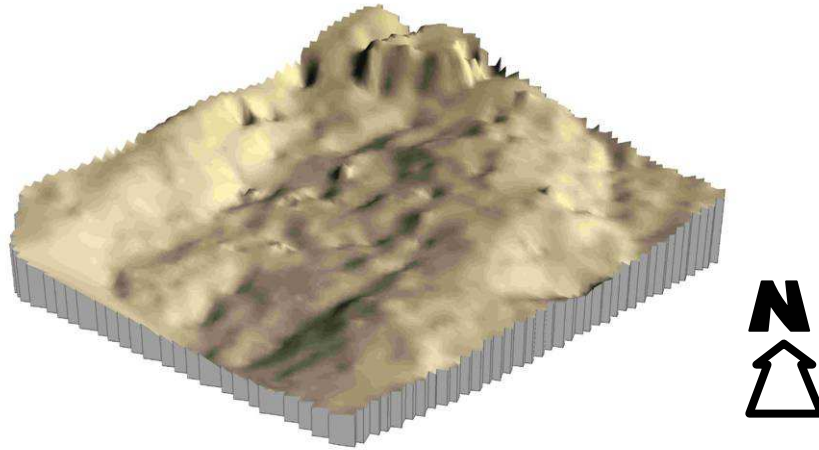


Fig. 2 Rappresentazione DEM dell'area

### ***Vegetazione arborea***

Tra le specie arboree prevale l'abete rosso, con frammisto abete bianco. Larice e pino cembro sono presenti alle quote più elevate, il pino silvestre invece laddove i terreni sono più superficiali. L'area permanente è situata ad una quota compresa tra 1890 e 1950 m in un popolamento con prevalenza di cembro e abete rosso. (Il toponimo Zirnboden tra l'altro significa luogo dei cembri) Il larice è presente ma non prevale sulle altre due specie.

### ***Attività antropiche***

L'area in passato è stata soggetta a pascolo e utilizzazioni marginali legati ai fabbisogni della popolazione locale, successivamente il livello delle utilizzazioni è probabilmente aumentato come testimoniano la presenza di due piste di esbosco che corrono lungo due lati dell'area. Durante le operazioni di raccolta dati è risultata evidente la presenza di diversi tagli a scelta e a gruppi effettuati in periodi anche relativamente recenti. Attualmente l'area è interessata marginalmente dal transito turistico, in particolare durante i mesi estivi verso i sentieri che conducono ai sovrastanti gruppi dolomitici.



## **MATERIALI E METODI**

### ***Tracciamento dei confini dell'area***

Una volta fissata la posizione definitiva dei vertici dell'area quadrata di 4 ha , si è proceduto alla tracciatura dei confini esterni. Questi sono stati realizzati con picchetti posti negli angoli di vertice e con nastro da cantiere. La delimitazione è stata eseguita con l'ausilio di teodolite elettronico corredato di distanziometro a raggi infrarossi e di registratore interno di dati, montato su treppiede con basetta dotata di piombino ottico. Le misure sono state realizzate con l'impiego di prisma montato su palina telescopica corredata con livella sferica. L'area è stata realizzata tenendo conto del criterio dell'omogeneità, evitando zone prive di vegetazione e radure, non è stato possibile evitare la presenza di due piste di esbosco poste su due lati dell'area.

### ***Applicazione delle targhette identificative***

#### ***Piante vive***

Su ogni pianta viva con altezza superiore a 1.3 m sono state applicate nella parte a monte a una ventina di centimetri dal suolo delle targhette identificative in plastica di colore giallo con cifre in colore nero. Per le piante unite o biforcute si è considerata la soglia di 1.3 m per l'altezza di biforcazione, se la biforcazione è situata ad un'altezza superiore a 1.3 m si è applicata una sola targhetta in caso contrario sono state applicate due targhette. I numeri sono in ordine progressivo a partire dal numero 0001. Per applicare i numeri si è proceduto partendo dalla prima area da 1 ha a valle nella parte W dell'area.

#### ***Necromassa***

Sulle piante morte in piedi con altezza superiore a 1.3 m le targhette sono state applicate seguendo gli stessi criteri già illustrati per le piante vive.

Sulle piante morte a terra e sui tronchi con diametro uguale o superiore a 10 cm e lunghezza uguale o superiore a 2 m è stata applicata una targhetta nell'estremità con diametro maggiore. Per i tronchi e le piante morte a terra saranno eseguite due misure di posizione, una nel punto in cui è stata apposta la targhetta e una nell'estremità opposta.

Per quanto riguarda le ceppaie le etichette sono state applicate solo sulle ceppaie con diametro uguale o superiore a 10 cm.

## Misura dei diametri

### *Piante vive*

I diametri delle piante vive con altezza uguale o superiore a 1.3 m sono stati misurati a monte della pianta a 1.3 m con cavalletto dendrometrico, associando ciascuna misura sul piedilista di cavalettamento al corrispettivo numero della pianta.

### *Necromassa*

I diametri delle piante morte in piedi sono stati misurati con gli stessi criteri delle piante vive.

I diametri delle piante morte a terra e dei tronchi sono stati misurati nel punto di applicazione della targhetta.

I diametri delle ceppaie sono stati misurati sull'estremità superiore delle stesse

## Misura delle altezze

La misura delle altezze riguarda le piante vive e le piante morte in piedi.

### *Piante vive.*

Per le piante vive la misura delle altezze richiede tre misure (Fig. 3):

- 1) Misura dell'altezza totale della pianta (**H**).
- 2) Misura dell'altezza di inserzione a monte (**hm**).
- 3) Misura dell'altezza di inserzione a valle (**hv**).

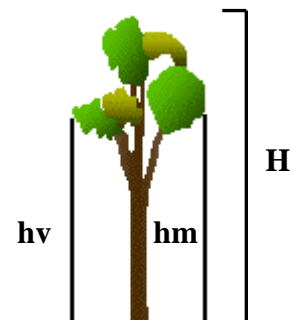


Fig. 3 Misure di altezza

La misura dell'altezza è stata eseguita con ipsometro elettronico a ultrasuoni (25 khz) con trasponder su palina telescopica Vertex III Haglof.

Per altezza di inserzione si è inteso considerare l'altezza in cui si inserisce il primo ramo verde a monte e a valle non isolato ma in continuità con il resto della chioma.



Le misure sono state effettuate distintamente, l'altezza totale della pianta è stata eseguita ponendosi a monte della stessa a una distanza sufficiente per poter ottenere una migliore visione della pianta intera, mentre l'altezza d'inserzione è stata misurata ponendosi sul lato a destra o a sinistra della pianta.

### ***Piante morte in piedi***

Per le piante morte in piedi si è eseguita la misura del diametro e dell'altezza totale

### ***Analisi di tipo dendrocronologico e dendroauxometrico***

Per le analisi di tipo dendrocronologico e dendroauxometrico sono stati eseguiti dei prelievi di carote legnose con succhiello di Pressler Haglof. Compatibilmente con le dimensioni della pianta è stata prelevata una carota a un'altezza di 130 cm, avendo cura di effettuare i prelievi, quando possibile, parallelamente alle linee di livello per evitare di campionare in punti del fusto con possibile presenza di legno di reazione. Le carote prelevate sono state classificate secondo un sistema di identificazione e codifica a 8 caratteri e fissate con colla vinilica, avendo cura di mantenere la fibratura verticale, su appositi supporti, quindi levigate. Le misure dendrocronologiche sul materiale così preparato sono state realizzate con il sistema ottico - informatico C.A.T.R.A.S. (Computer Aided Tree Ring Analysis System) (Aniol 1983) (Fig. 4). Per le piante di piccole dimensioni al di sopra di 1.3 m per cui non fosse possibile il prelievo della carota legnosa si è provveduto a stimare l'età attraverso il conteggio degli internodi sul fusto.



**Fig. 4 Il sistema C.A.T.R.A.S**

## ANALISI SPAZIALE

### Funzione $K$ di Ripley

Le principali caratteristiche di una distribuzione di punti possono essere riassunte dalla sua intensità  $\lambda$  che può essere quantificata attraverso la funzione  $K$  di Ripley (Ripley 1977):

$$K(d) = \lambda^{-1} E(d)$$

Nella quale  $E(d)$  è il numero di eventi atteso all'interno di una distanza  $d$  da un evento arbitrario,  $\lambda$  è il numero medio di eventi per area calcolato come  $n/A$  dove  $n$  è il numero totale di eventi e  $A$  è l'area totale considerata. Il valore atteso di questa grandezza è:

$$E(d) = (n/A) K(d)$$

Dove  $K(d)$  rappresenta l'area dei cerchi di raggio  $d$ . In condizioni di completa casualità il numero atteso di eventi  $E(csr)$  entro la distanza  $d$  sarà (Levine 2002):

$$E(csr) = (n/A)\pi d^2 \quad \text{quindi} \quad K(d) = \pi d^2$$

Confrontando questo valore con quello determinato per una particolare distribuzione si può dedurre, per la scala definita dalla distanza  $d$ , se gli eventi siano più o meno concentrati di quanto ci si sarebbe potuti aspettare. Il valore di  $K$  deve essere confrontato con quello teorico ottenuto in condizioni di completa casualità. A causa della non linearità della relazione, per rappresentare i valori della differenza  $(K(d) - \pi d^2)$  rispetto alla distanza  $d$  si è proceduto alla linearizzazione rapportando i valori di  $L(d)$  rispetto alla distanza:

$$\hat{L}(d) = d - \sqrt{\frac{\hat{K}(d)}{\pi}}$$

Valori positivi denotano aggregazione o *clustering* tra gli eventi, valori negativi denotano invece segregazione tra gli eventi stessi. Per verificare la significatività delle differenze calcolate si ricorre a una serie di simulazioni (Bailey & Gatrell 1996) nelle quali il medesimo numero di eventi  $n$  viene distribuito casualmente all'interno della regione  $R$ ; per la distribuzione così ottenuta si calcola la statistica  $L(d)$ , per ciascuna distanza  $d$ . Nel presente lavoro si è scelto di

operare 1000 reiterazioni che dovrebbero garantire un livello di significatività del 95%. Per tenere conto dell'effetto bordo o “*edge effect*” si è applicata una correzione basata su una superficie di analisi ridotta, limitata ad una distanza pari alla metà del lato più corto dell'area. Per considerare le interazioni distributive tra eventi di tipo differente, (ad es. le differenti specie), si è fatto ricorso alla funzione  $K$  di Ripley bivariata che rappresenta una generalizzazione della precedente.

### **Misure globali di autocorrelazione spaziale**

#### *Coefficiente I di Moran*

Il coefficiente  $I$  di Moran così come quello “ $c$ ” di Geary richiedono che agli eventi sia associato un valore numerico di intensità. Formalmente la statistica  $I$  di Moran è definita dalla formula:

$$I(d) = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{W \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Dove:  $n$  è il numero di eventi

$x_i$  il valore della variabile considerata nel punto “ $i$ ”

$x_j$  il valore della variabile considerata nel punto “ $j$ ” dove  $i \neq j$

$\bar{x}$  la media della variabile considerata

$w_{ij}$  fattore di ponderazione per la coppia di piante  $i$  e  $j$  1 se le piante  $i$  e  $j$  ricadono nella stessa classe di distanza, 0 negli altri casi.

$W$  somma ricavata dalla matrice dei pesi :  $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}$

La statistica  $I$  è strutturalmente simile al coefficiente di correlazione e come questo varia tra - 1.0 e + 1.0. Differentemente dal coefficiente di correlazione, però, l'indice  $I$  non assume un valore teorico nullo in corrispondenza della condizione di indipendenza ma un valore negativo molto prossimo a zero e pari a :

$$E(I) = -\frac{1}{(n-1)}$$

Valori di  $I$  maggiori della media teorica  $E(I)$  indicano autocorrelazione spaziale positiva, mentre valori di  $I$  minori della media teorica  $E(I)$  indicano un'autocorrelazione spaziale negativa.

### *Significatività dei risultati*

La significatività dei risultati ottenuti con la statistica di Moran può essere testata confrontando la distribuzione empirica e la distribuzione teorica di  $I$  per mezzo del rapporto:

$$z(d) = \frac{I(d) - E[I(d)]}{\sqrt{\text{var}[I(d)]}}$$

Infatti, Cliff e Ord (1973, 1981) hanno dimostrato come gli indici di Moran e Geary tendono ad una distribuzione normale all'aumentare della numerosità del campione. L'ipotesi di condizione di indipendenza può essere testata in termini di devianza normale standardizzata. Se  $z(d)$  supera in termini assoluti i valori di 1.96, 2.58 e 3.39 l'ipotesi di condizione di indipendenza può considerarsi violata e il risultato sarà valido a livello di significatività rispettivamente del 0.05, 0.01 e 0.001.

I correlogrammi sono sempre calcolati solo per campioni di numerosità superiore alle trenta unità, corrispondenti quindi a trenta eventi, perché per campioni più piccoli l'assunzione di normalità può non essere valida, producendo risultati non significativi (Cliff e Ord 1981, Upton e Fingleton 1985, Sawada 1999).

### ***Misure locali di autocorrelazione spaziale***

Le statistiche per la misura del grado di autocorrelazione spaziale a livello locale consentono di individuare il contributo di ogni evento rispetto al comportamento globale della distribuzione (Anselin 1995, Getis & Ord 1996, Unwin 1996, Fotheringham & Brunson 1999, Fotheringham et al. 2000). In particolare si è fatto ricorso alle statistiche *Local Gi\**, Getis e Ord (1992; 1995) che forniscono un indice di associazione spaziale di un set di osservazioni che ricadono entro una distanza critica “ $d$ ” scelta arbitrariamente a partire da ciascun evento della distribuzione in esame:

$$G_i^* = \frac{\sum_j c_{ij}(d) X_j}{\sum_j X_j} \quad i = j$$

Dove:  $c_{ij}(d)$  è un filtro binario di valore 1 se la coppia di piante  $i$  e  $j$  ricadono nella stessa classe di distanza, 0 negli altri casi.

$X_j$  valore della variabile oggetto di studio nella localizzazione  $j$

Valori positivi o negativi e significativi di  $G_i^*$  indicano la presenza di aggregazione in corrispondenza dei valori rispettivamente più alti o più bassi della variabile  $X$  (Sokal et al. 1998) (Sokal *et al.* 1998b). Poiché il risultato di tale statistica è associato alle coordinate di ciascun evento la restituzione grafica dei risultati risulta più complessa rispetto alle altre statistiche spaziali. In questo studio si è scelto di presentare i risultati sottoforma di interpolazione dei diversi punti tramite il metodo definito *natural neighbour*.

## RISULTATI

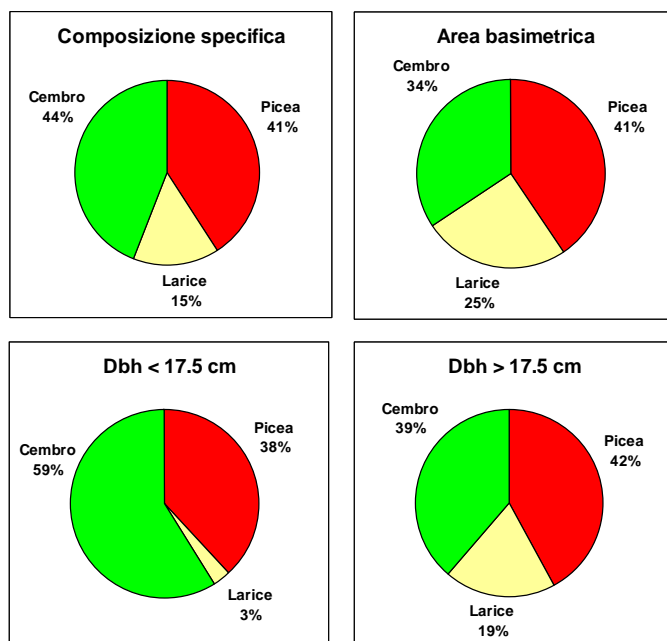


Fig. 5 Composizioni percentuali (N° piante)

La composizione specifica (Fig. 5) vede prevalere abete rosso e pino cembro sul larice. Il larice recupera quota di presenza considerando l'area basimetrica. Le piante di larice sono prevalentemente di grandi dimensioni come si può vedere anche per diametri superiori a 17 cm mentre se si osservano i diametri inferiori a 17 cm di diametro la sua percentuale di presenza si riduce drasticamente. Abete rosso e cembro, invece, hanno una buona presenza nelle classi di diametro inferiori.

*SCHEDA DESCRITTIVA*

**Località:** Großer Zirnboden

**Superficie area di saggio:** 40000 m<sup>2</sup>

**Quota massima:** 1946 m s.l.m

**Quota minima:** 1894 m s.l.m

**Dislivello:** 52 m

**Pendenza media:** 20%

**Esposizione:** NW

**Grado accidentalità:** Localmente accidentato

**Pietrosità:** Media

**Substrato e cop. quaternaria:** Calcare, morena mista

**Tipo suolo:** Suoli podsolizzati

**Tessitura:** Sassoso a blocchi

**Profondità:** Mediamente profondo

**Consistenza:** Sciolto

**Humus:** Moder micogenico

**Umidità:** Fresco

**Specie arboree:** *Larix decidua*, *Picea abies*, *Pinus cembra*

**Specie arbustive:** *Juniperus communis supsp.Alpina*, *Ribes alpinum*, *Rhododendron hirsutum e ferrugineum*, *Vaccinium myrtillus e vitis idaea*

**Specie erbacee:** *Adenostyles alliariae*, *Calamagrostis villosa*, *Daphne striata*, *Luzula selvetica*, *Maianthemum bifolium*, *Melampyrum sylvaticum*, *Petasites albus*, *Saxifraga sp.*

**Tipologia forestale:** Larici cembreto con abete rosso

***Composizione del soprassuolo***

	<i>Larix decidua</i>	<i>Picea abies</i>	<i>Pinus cembra</i>
<b>N° piante censite:</b>	2007 di cui 299 (15%)	822 (41%)	886 (44%)
<b>N° piante con d<sub>130</sub> &gt; 17.5 cm:</b>	1471 di cui 283 (19%)	618 (42%)	570 (39%)
<b>N° piante con d<sub>130</sub> &lt; 17.5 cm:</b>	536 di cui 16 ( 3%)	204 (38%)	316 (59%)

### Caratteristiche del soprassuolo

	Popolamento	<i>Larix decidua</i>	<i>Picea abies</i>	<i>Pinus cembra</i>
<b>N° di piante/ha:</b>	2007	299	822	886
<b>Area basimetrica m<sup>2</sup>/ha:</b>	42.71	10.73	17.29	14.68
<b>D<sub>130</sub> medio (cm):</b>	29.07	40.71	29.12	31.52
<b>Altezza media (m):</b>	16.04	21.76	17.06	13.92
<b>Età media (anni):</b>	121	146	127	108

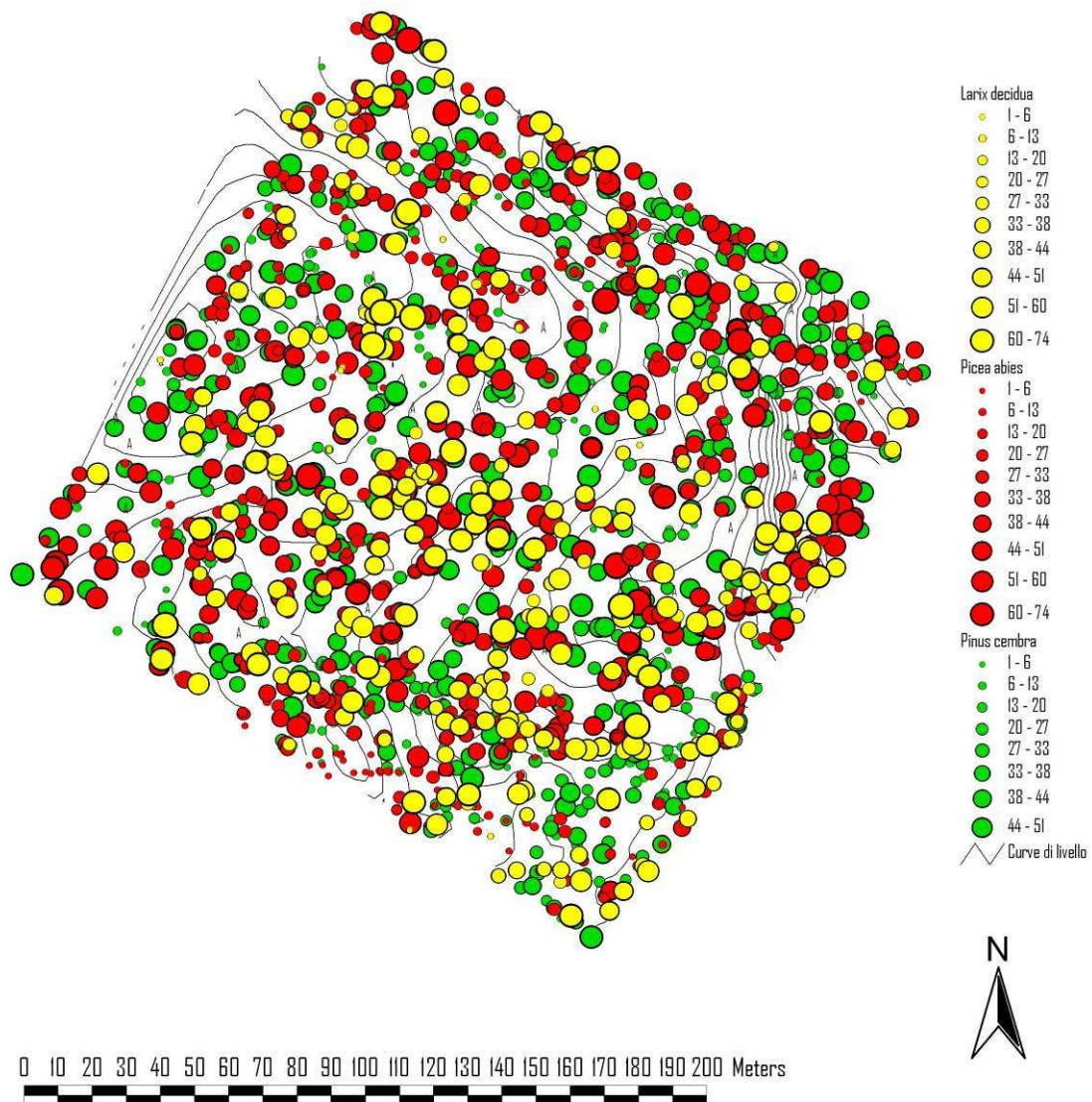


Fig. 6 Localizzazione delle piante all'interno dell'area di studio Zirnboden le dimensioni sono riferite alle classi di diametro così come riportate in legenda.



La distribuzione generale dei diametri (Fig. 7) ha un andamento tendenzialmente unimodale ma con un numero di piante elevato nelle classi di diametro inferiore. Tale numero elevato di piante è determinato soprattutto dal cembro e secondariamente dall'abete rosso che presi singolarmente mostrano una distribuzione bimodale con una prima concentrazione nelle classi fino a 20 cm di diametro e una seconda nelle classi tra 30 e 40 cm. La distribuzione del larice ha invece una distribuzione unimodale a partire dai diametri superiori a 20 cm, sotto tale soglia i soggetti di larice sono piuttosto rari.

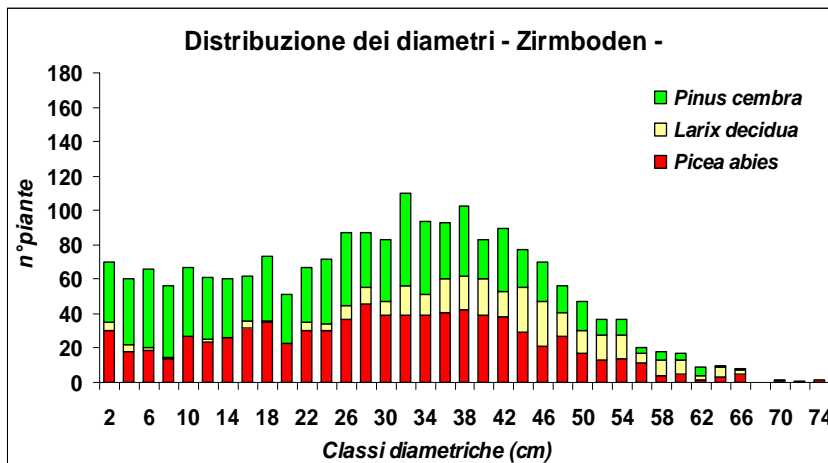


Fig. 7  
Distribuzione dei diametri  
Area Zirnboden

La distribuzione generale delle età (Fig. 8) ha un andamento plurimodale con una prima concentrazione di individui nelle classi fino a 20 anni, una seconda nelle classi tra 40 e 80 e infine una terza nelle classi tra 100 e 180 anni. L'abete rosso rispecchia piuttosto fedelmente questa distribuzione mentre quella del larice è prevalentemente unimodale con età comprese tra 100 e 200 anni. La distribuzione del cembro invece è decisamente particolare, con una prima concentrazione di soggetti nelle classi fino a 40 anni, seguita da un secondo picco più consistente delle classi tra 50 e 80 anni, le classi da 90 anni in poi mostrano una continua crescita fino 180 anni seguita da una brusca diminuzione sono in effetti pochi i soggetti con età superiore a 200 anni.

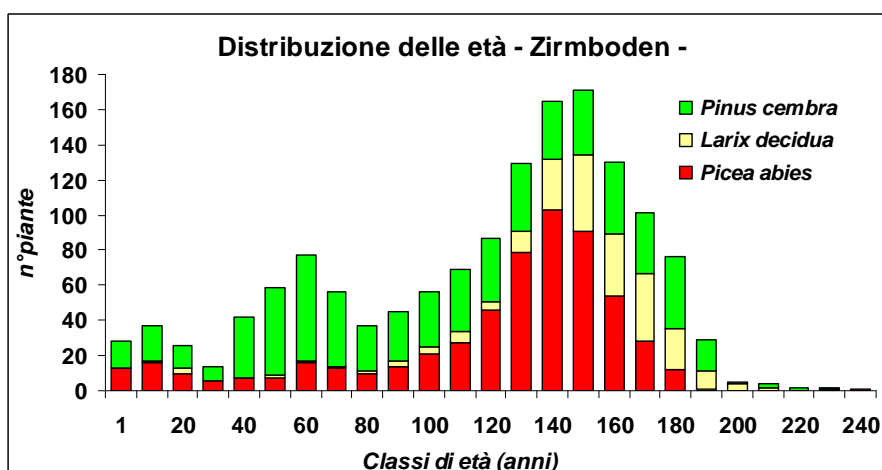
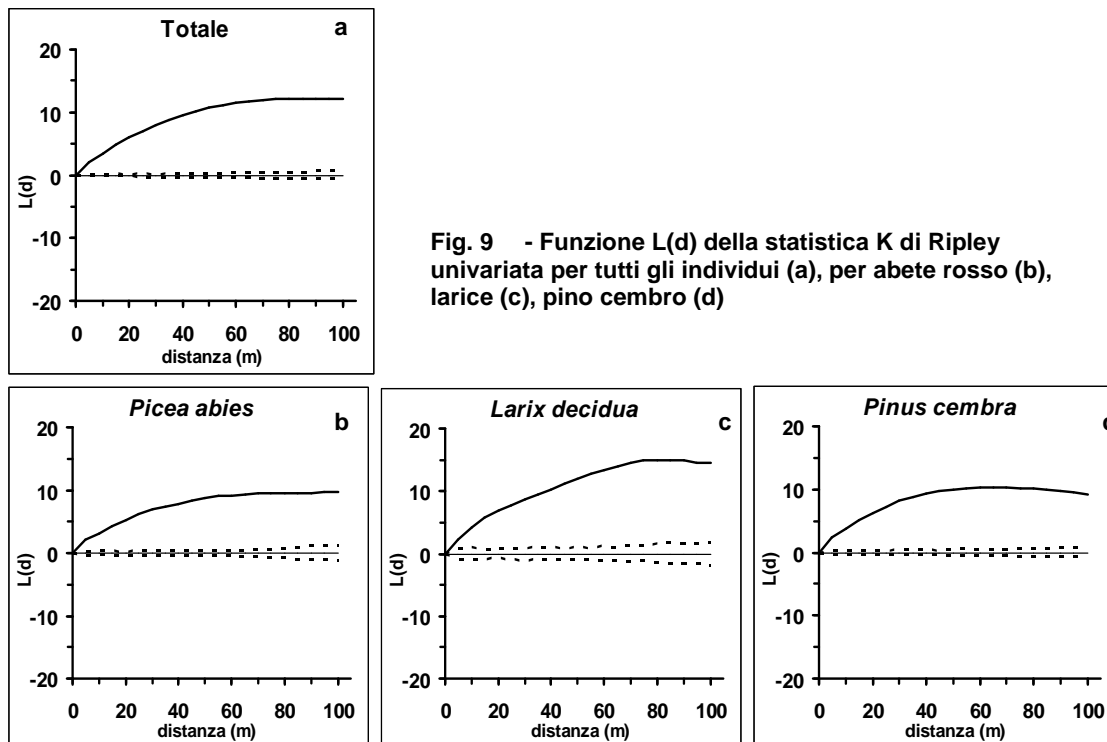


Fig. 8  
Distribuzione delle età  
Area Zirnboden

## . ANALISI SPAZIALE

L'analisi dei *pattern* spaziali attraverso la funzione K di Ripley univariata evidenzia una spiccata tendenza all'aggregazione sia a livello generale (Fig. 9a) che per le singole specie, con un andamento crescente nella lunga distanza, in modo particolare per il larice, che mostra valori di aggregazione più elevati rispetto alle altre due specie

La tendenza all'aggregazione è sia intraspecifica che interspecifica, e non mostra significative differenze nelle relazioni tra le tre specie (Fig. 9b, 9c e 9d).



L'analisi dei *pattern* spaziali attraverso la funzione K di Ripley bivariata per il confronto tra piante di piccole dimensioni ( $dbh < 17$  cm) e piante di grandi dimensioni ( $dbh > 17$  cm) mostra come in genere le piante di piccole dimensioni di tutte e tre le specie evidenzino una repulsione per la breve distanza nei confronti delle piante di grandi dimensioni di abete rosso (Fig. 10 a,b,c), tale repulsione tuttavia è statisticamente significativa solo per l'abete rosso.

Nel cembro, pur non essendo significativa tale repulsione, si manifesta non solo nella breve ma anche nella media – lunga distanza. Nei confronti delle piante di grandi dimensione di larice, sia l'abete rosso che il cembro mostrano una tendenza all'aggregazione nella breve distanza (Fig. 10 e,f), nel cembro tale aggregazione è significativamente positiva solo nella brevissima distanza (5 m) mentre nell'abete rosso è significativa dai 10 m in poi.

Le piante di larice di piccole dimensioni manifestano repulsione per quelli grandi della stessa specie (Fig. 10d) ma tale repulsione non è significativa. Rispetto alle piante di grandi dimensioni di cembro, la distribuzione delle piante piccole di tutte e tre le specie, non si discosta da una distribuzione completamente randomizzata (Fig. 10g,h,i).

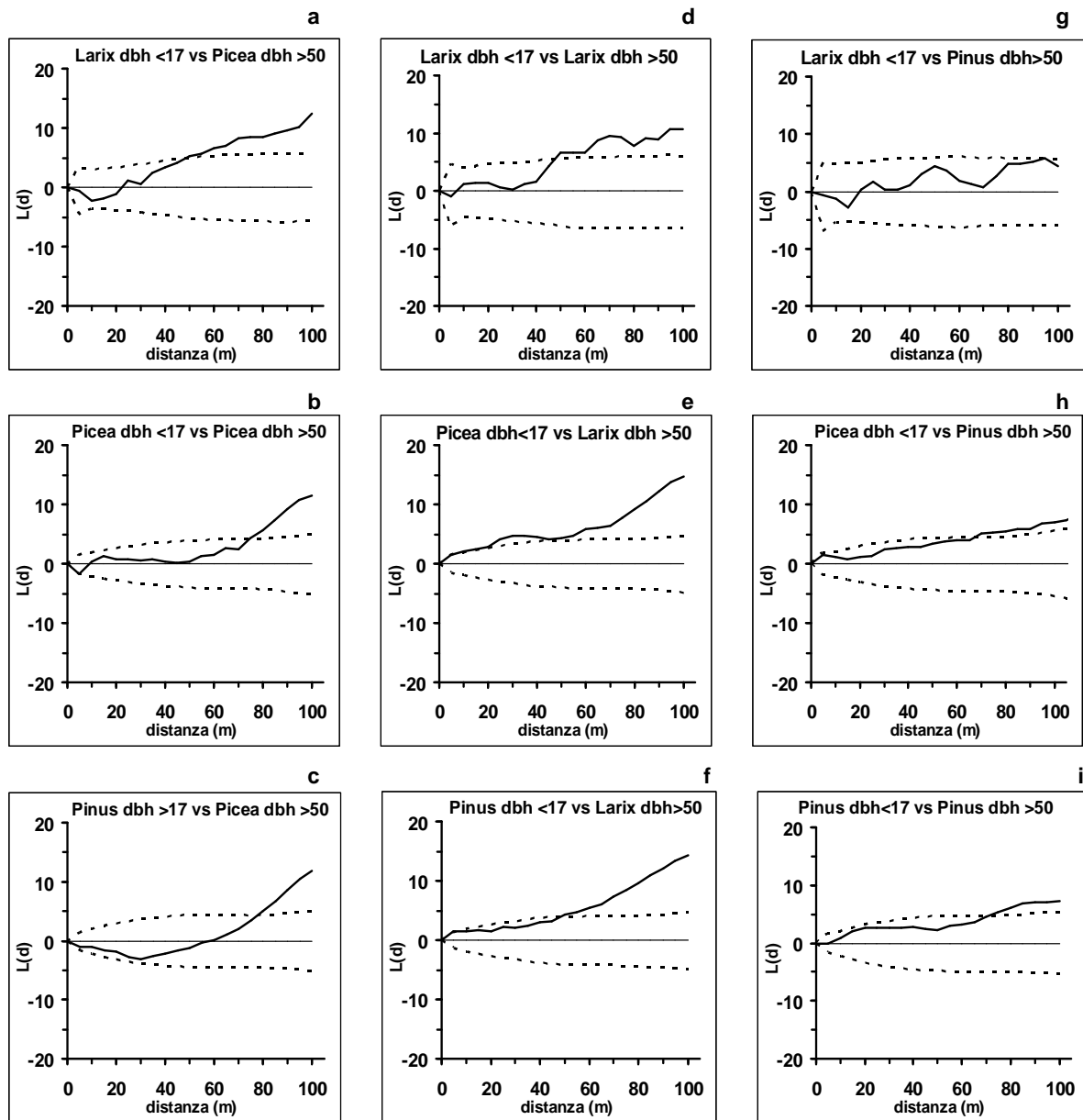


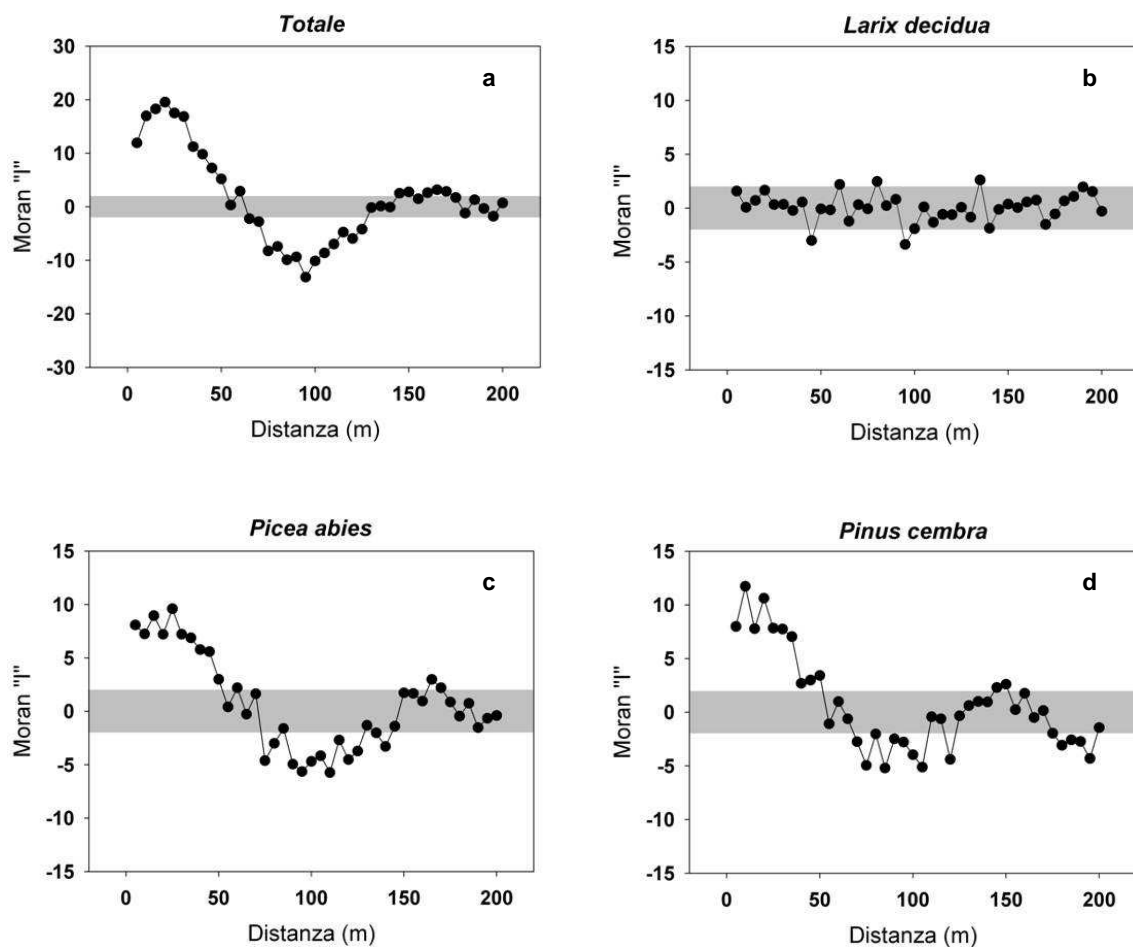
Fig. 10 - Funzioni  $L(d)$  della statistica  $K$  di Ripley bivariata per: Piante di abete rosso con dbh maggiore di 50 cm e larice con dbh minore di 17 cm (a), abete rosso con dbh minore di 17cm (b), pino cembro con dbh minore di 17 cm (c). Piante di larice con dbh maggiore di 50 cm e larice con dbh minore di 17 cm (d) abete rosso con dbh minore di 17 cm (e), pino cembro con dbh minore di 17 cm (f). Piante di pino cembro con dbh maggiore di 50 cm e larice con dbh minore di 17 cm (g), abete rosso con dbh minore di 17 cm (h), pino cembro con dbh minore di 17 cm (i).

### ***Analisi della struttura: Statistica I di Moran per il diametro su 4 ha.***

L'analisi totale della struttura spaziale per i diametri condotto su 4 ha con la statistica "I" di Moran per classi di distanza di 5 m mostra chiaramente la presenza di un doppio gradiente con valori positivi e significativi fino a 50 m e negativi e significativi da 70 m a 125 e con un ultimo ritorno a valori positivi appena sopra il limite di significatività attorno ai 150 m (Fig. 11 a).

L'analisi disaggregata per singole specie mostra che il larice ha una struttura a microgradienti con alternanza di valori positivi e negativi in poche decine di metri (Fig. 11 b).

Sia il cembro che l'abete rosso mostrano un correlogramma simile (Fig. 11 c, d), esprimendo entrambi un doppio gradiente, con valori positivi e significativi fino a 50 m e valori negativi e significativi oltre i 70 m, con un ritorno a valori positivi dopo i 150 m. Rispetto all'analisi totale vi è però la presenza di un maggior numero di picchi con un andamento più discontinuo



**Fig.11**  
Correlogrammi del diametro, totale (a), per il larice (b) per l'abete rosso (c) per il pino cembro (d)

### ***Misure locali di autocorrelazione spaziale:***

#### ***Statistica $G_i^*$ di Getis per il diametro su 4 ha.***

La statistica totale *Local  $G_i^*$*  per i diametri (**Fig. 12 a, b c**) evidenzia la presenza nella breve distanza di aggregazioni di piante con diametro simile, si può notare però come in genere non vi sia una vera alternanza di zone con diametri simili di grandi dimensioni (zone rosse o “*hot spot*”) e zone con diametri simili di piccole dimensioni (zone blu o “*cold spot*”), quanto piuttosto una netta divisione tra queste due tipologie che si situano in zone diverse dell’area, nella parte centrale prevalgono aggregazioni di piante con diametri simili di grosse dimensioni, nella parte meridionale e settentrionale invece si trovano aggregazioni di piante con diametri simili e di dimensioni minori. Si delinea, in effetti, il doppio gradiente già individuato dalla statistica “I” di Moran.

Per il larice, il ridotto numero di individui aggregati determina una generale assenza di autocorrelazione locale, con un numero limitato di “*hot spot*” e “*cold spot*”, rappresentativi soprattutto di gruppi di piante con diametri simili di piccoli dimensioni posti nella parte settentrionale dell’area, con distanze tra loro di 20 – 25 m (**Fig. 12 d, e, f**).

Per il cembro (**Fig. 12 l, m, n**) e l’abete rosso (**Fig. 12 g, h, i**) si hanno piccoli gruppi con caratteristiche diametriche simili che distano tra loro 20 – 25 m mentre tra i gruppi con caratteristiche diametriche differenti la distanza è pressoché doppia attorno ai 50 m. Anche per queste due specie si delinea infatti il doppio gradiente già individuato dalle singole statistiche “I” di Moran per le due specie e quello già visto per l’analisi totale.

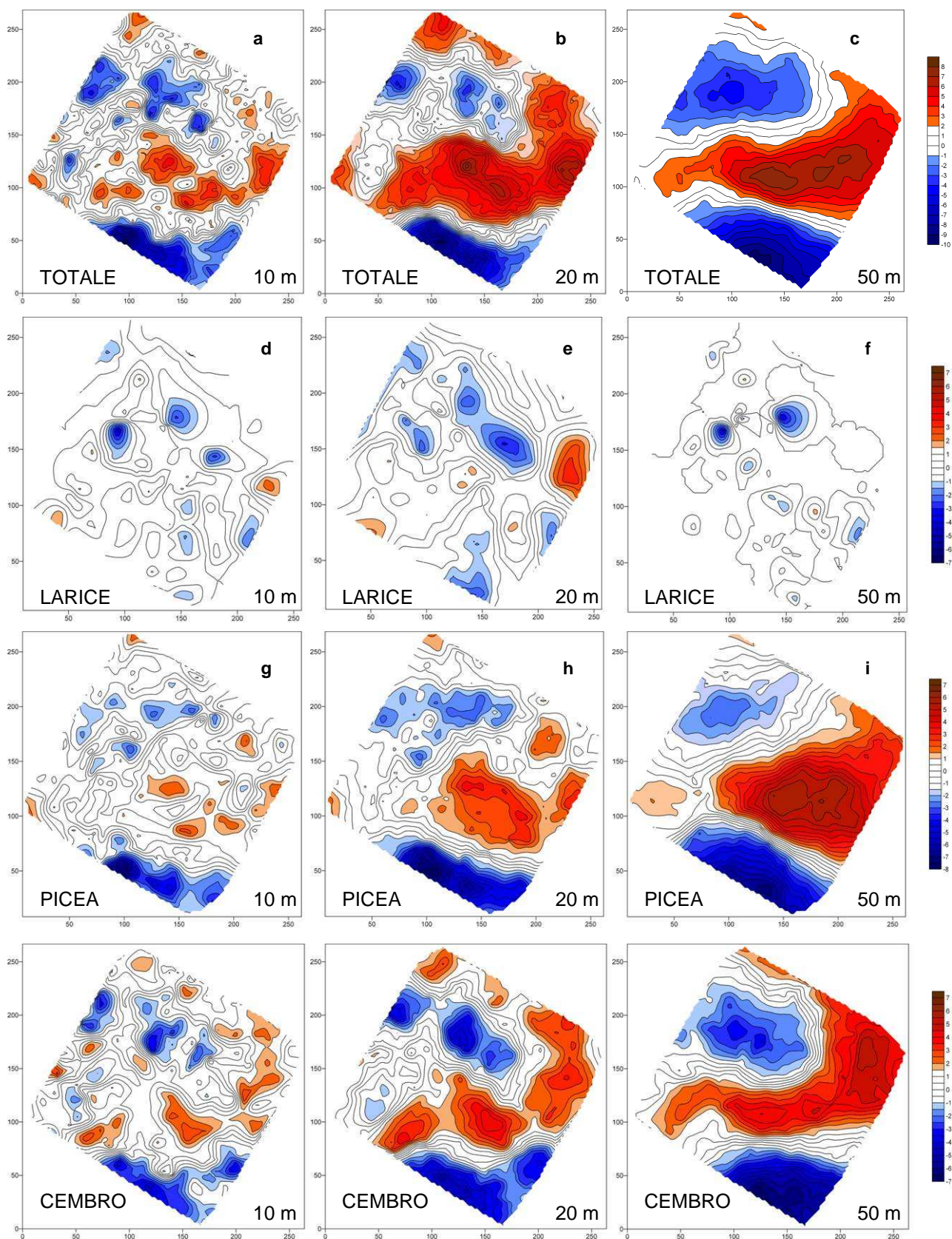
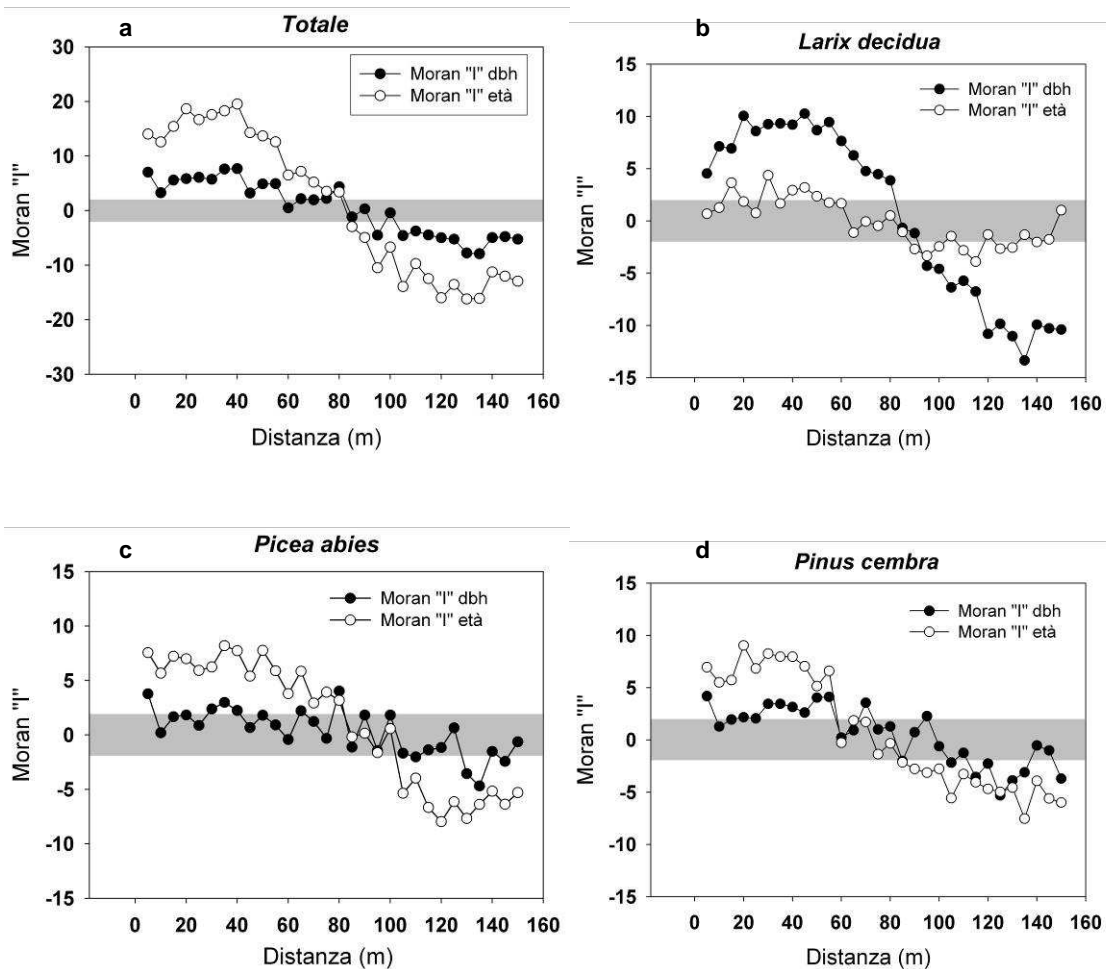


Fig. 12 Proiezione sul piano orizzontale delle linee continue che congiungono eventi con eguale valore dell'indice  $G_j^*$  per il valore del diametro alla distanza di 10, 20 e 50 m, totale (a, b, c), per il larice (d, e, f), per l'abetto rosso (g, h, i), per il cembro (l, m, n).

**Analisi della struttura: Statistica I di Moran per diametro e età su 2 ha.**

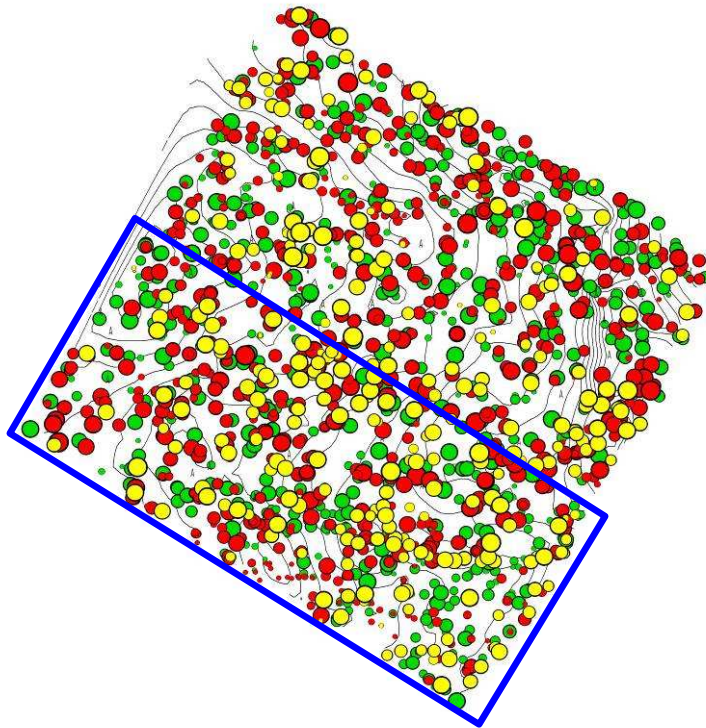
L'analisi della struttura condotta su 2 ha per l'età e il diametro permette di mettere a confronto i risultati ottenuti per i due dati. In generale sia considerando tutti gli individui (Fig. 13 a) che le singole specie (Fig. 13 b, c, d), si nota un andamento simile per diametro ed età con una buona corrispondenza dei valori caratteristici, tuttavia, l'età sembra delineare valori di autocorrelazione maggiormente significativi rispetto ai diametri, tranne che per il larice dove al contrario sono i valori di diametro a mostrare valori di autocorrelazione più elevati. Per tutte e tre le specie si presenta, comunque, un gradiente, similmente a quanto individuato in precedenza sull'area da 4 ha, pur con un cambiamento nei valori della distanza. In genere si individuano valori di autocorrelazione positiva fino agli 80 m e negativa oltre i 100 m. Poiché il livello di informazione è obliterato rispetto all'area da 4 ha non si ha il successivo ritorno a valori di autocorrelazione positiva nella lunga distanza che determinava la presenza del doppio gradiente.



**Fig.13**  
Correlogrammi del diametro, totale (a), per il larice (b) per l'abete rosso (c) per il pino cembro (d)



**Misure locali di autocorrelazione spaziale: Statistica  $G_i^*$  di Getis per diametro e età su 2 ha.**



**Fig. 14** In evidenza l'area con superficie di 2 ha

La statistica *Local  $G_i^*$*  mettendo a confronto i risultati per diametro ed età, mostra al di là di un impianto generale tendenzialmente simile, alcune differenze nella struttura spaziale di questi due dati. Innanzitutto nella breve distanza i diametri mostrano spesso un alternanza di *hot spot* e *cold spot*, tra loro ravvicinati, mentre lo stesso grafico espresso per età, pur evidenziando dei gruppi di piante con età simile, tende a mantenere ben separati i gruppi con età diverse.

Nel dato relativo ai diametri i gruppi che presentano autocorrelazione locale positiva o negativa, sono di dimensioni più contenute e hanno una significatività più bassa se confrontati con i gruppi delineati dall'età, che mostrano dimensioni e significatività maggiori. Quest'ultima differenza si apprezza maggiormente nelle classi della lunga distanza, confermando quanto già visto per la statistica "I" di Moran, dove i correlogrammi riferiti all'età presentano valori superiori rispetto a quelli dei diametri.

Anche in questo tipo di analisi il larice mostra almeno nella breve e nella media distanza l'assenza di una vera e propria struttura, pur manifestando un debole gradiente come notato in precedenza dal correlogramma, con due aree di età diverse a circa 50 m l'una dall'altra. Sia nell'abete rosso che nel cembro il grafico dell'età evidenzia diversi nuclei, più numerosi per il cembro che per l'abete rosso, che non vengono individuati a livello dell'informazione diametrica e che vanno nella lunga distanza a creare quel gradiente che vede la presenza di piante più giovani nella parte sud orientale dell'area e piante di età maggiore nella parte centro – occidentale

# TOTALE

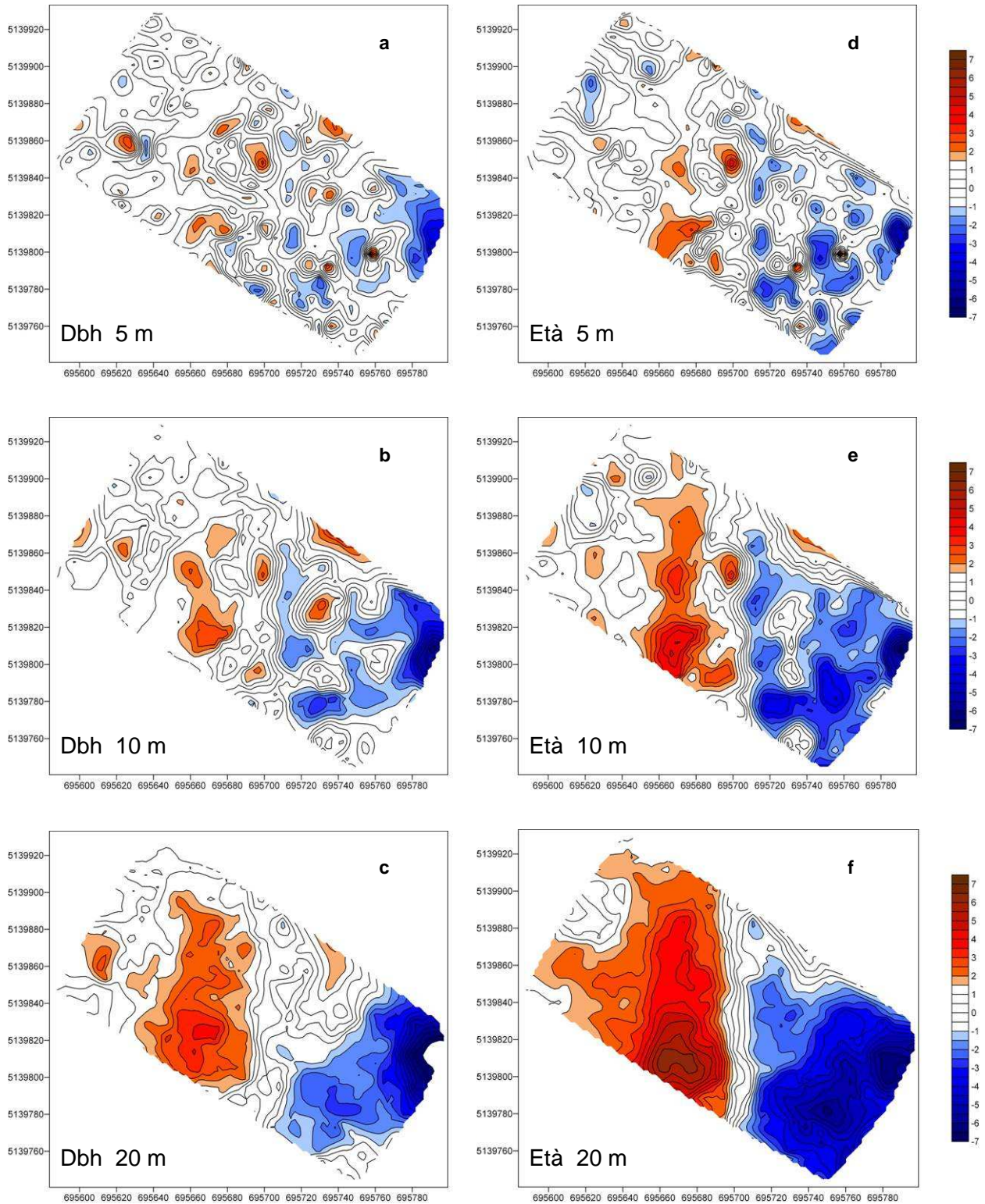
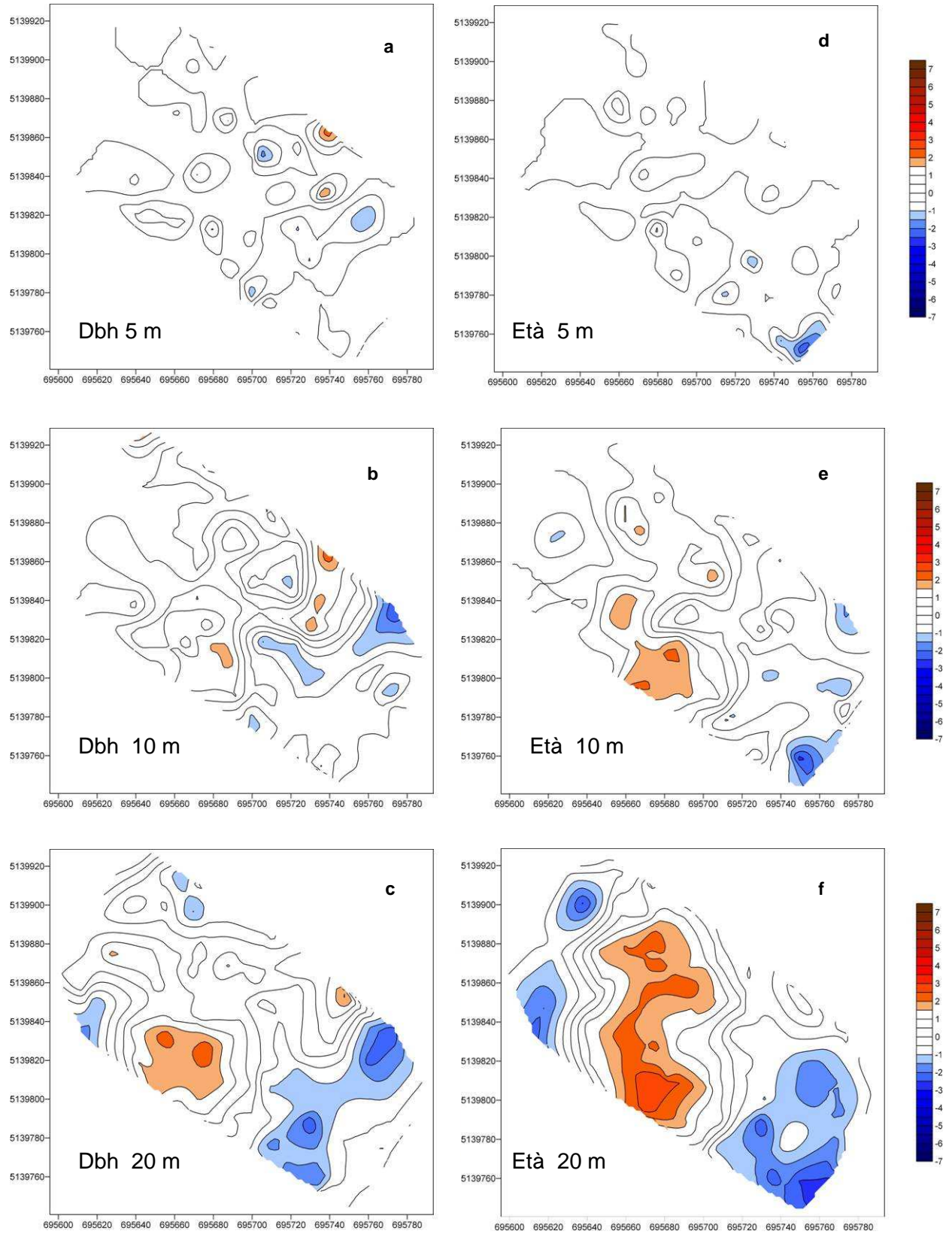


Fig. 15 Proiezione sul piano orizzontale delle linee continue che congiungono eventi con eguale valore dell'indice  $G_i^*$  totale per il valore del diametro alla distanza di 5 (a), 10 (b) e 20 m (c), e per il valore dell'età alla distanza di 5 (d), 10 (e) e 20 m (f).



**LARICE**



**Fig. 16** Proiezione sul piano orizzontale delle linee continue che congiungono eventi con eguale valore dell'indice  $G^*$  del larice per il valore del diametro alla distanza di 5 (a), 10 (b) e 20 m (c), e per il valore dell'età alla distanza di 5 (d), 10 (e) e 20 m (f).

## ABETE ROSSO

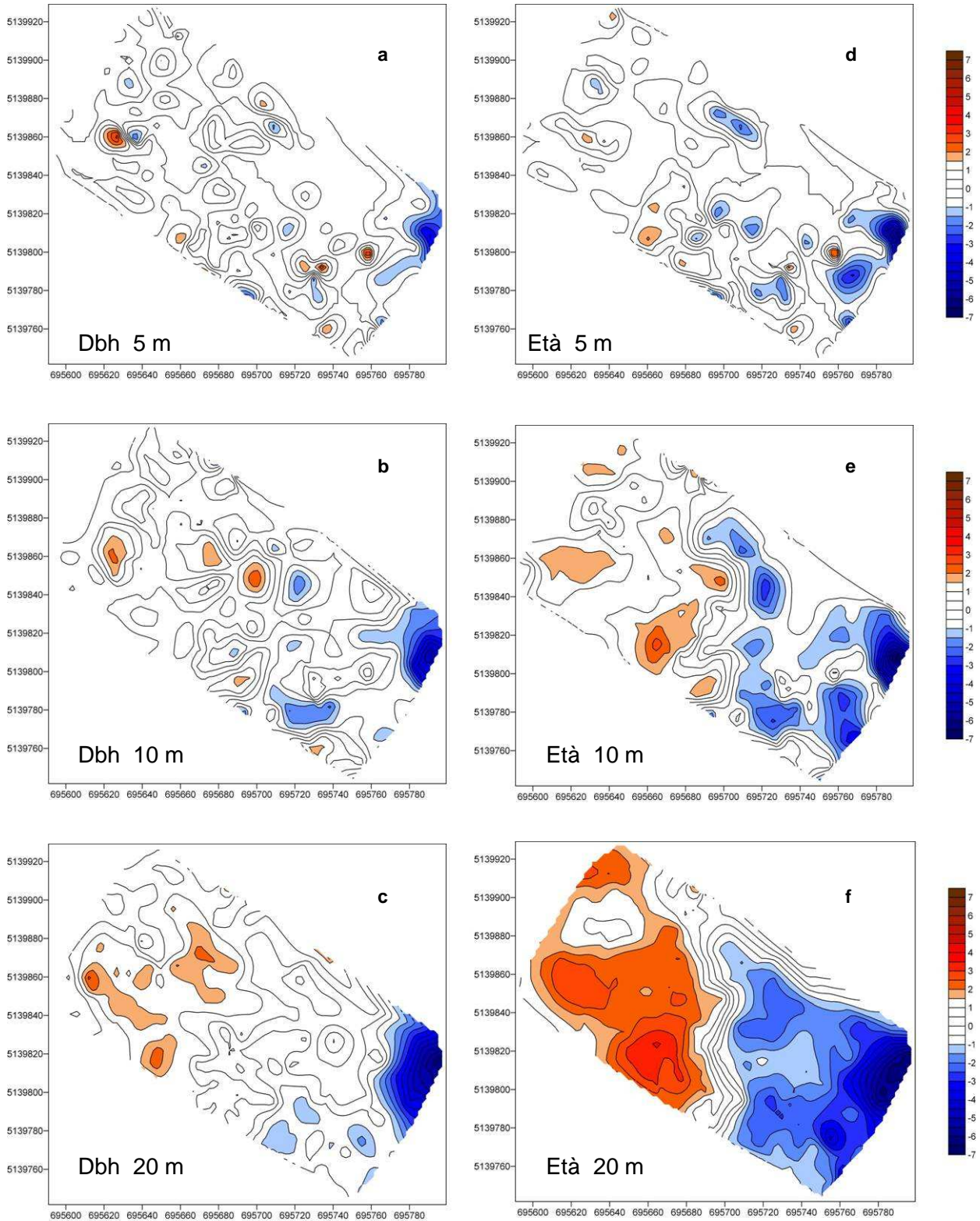
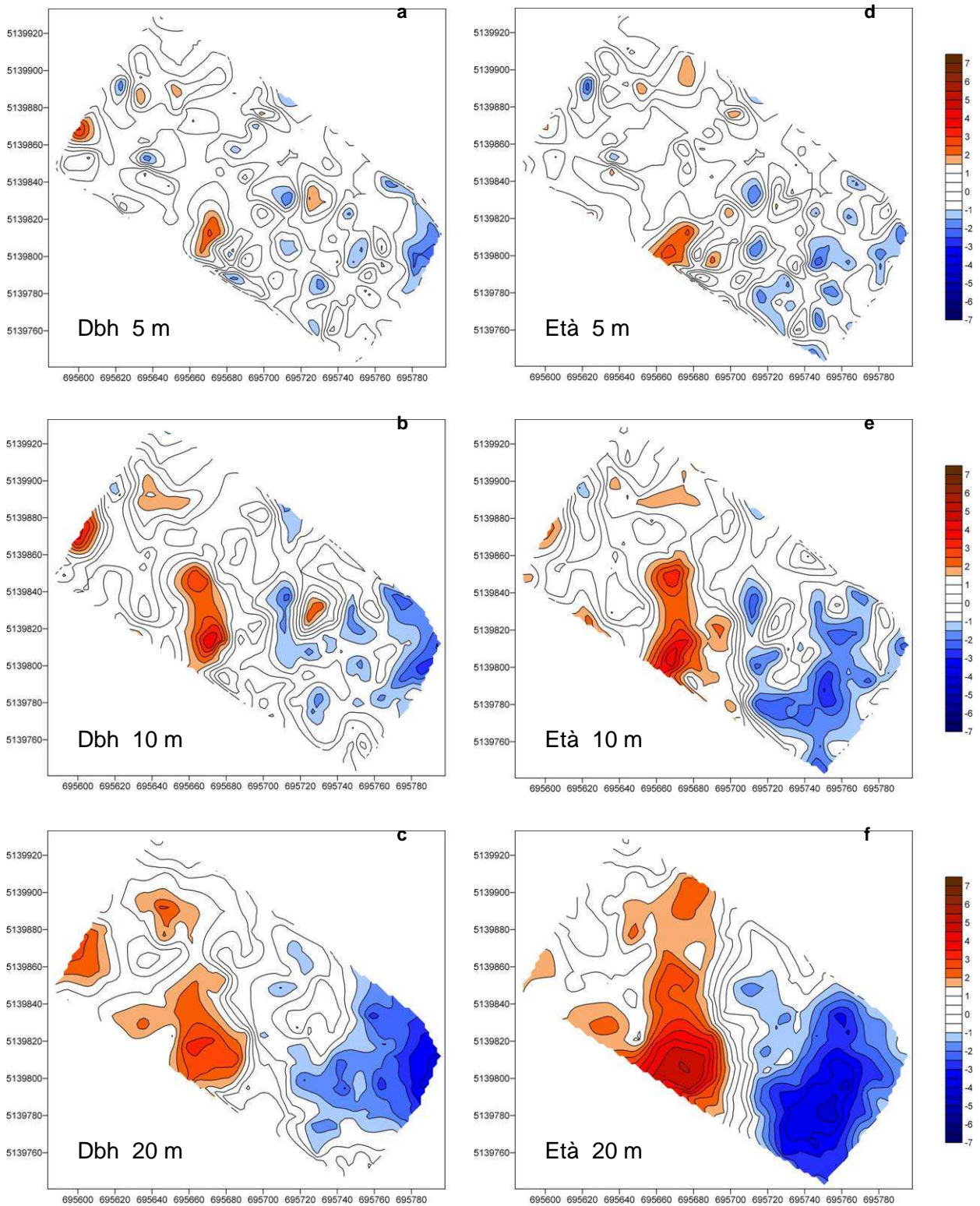


Fig. 17 Proiezione sul piano orizzontale delle linee continue che congiungono eventi con eguale valore dell'indice  $G_i^*$  dell'abete rosso per il valore del diametro alla distanza di 5 (a), 10 (b) e 20 m (c), e per il valore dell'età alla distanza di 5 (d), 10 (e) e 20 m (f).



## PINO CEMBRO



**Fig. 18** Proiezione sul piano orizzontale delle linee continue che congiungono eventi con eguale valore dell'indice  $G_i^*$  del pino cembro per il valore del diametro alla distanza di 5 (a), 10 (b) e 20 m (c), e per il valore dell'età alla distanza di 5 (d), 10 (e) e 20 m (f).

## **DISCUSSIONE DEI RISULTATI**

### ***STRUTTURA E CARATTERI DEL POPOLAMENTO***

La composizione del soprassuolo adulto permette di inquadrare il popolamento nella tipologia forestale del larici – cembreto con abete rosso.

Nelle aree dove l'attività alpicolturale è cessata da lungo tempo e il processo di ricolonizzazione è avvenuto più velocemente, si nota una maggior partecipazione nel larici cembreto dell'abete rosso che può localmente anche prevalere (Filipello et al.1981). Questa tipologia forestale rappresenta una fase transitoria, più o meno lunga, che mette in contatto i larici cembreti con le peccete subalpine e nella quale l'aliquota di abete rosso è legata alle caratteristiche microstazionali e alla distanza temporale dall'abbandono o dalla diminuzione dell'attività pascoliva (Del Favero 2003).

Nell'area cembro e abete rosso rappresentano le specie che dominano la struttura del popolamento, nel quale il larice riveste una sua importanza soprattutto per le dimensioni dei soggetti ma è ormai chiara la sua marginalità per quanto riguarda le fasi giovanili dove salvo il verificarsi di particolari disturbi antropici o naturali di una certa entità la specie è destinata a ridursi a pochi individui, avendo ormai esaurito il proprio ruolo ecologico e non trovando più condizioni ideali per l'insediamento.

La distribuzione dei diametri del popolamento sembra definire una struttura biplana con prevalenza di larice e abete rosso nel piano dominante e cembro e abete rosso nel piano dominato ma osservando la mappa della distribuzione spaziale delle specie e dei diametri si può osservare come le piante generalmente si distribuiscano per gruppi misti per specie e per diametro con alcuni gruppi di piante piccole che si sono insediate nelle zone prive di copertura delineando una struttura per collettivi misti disetanei

L'andamento plurimodale della distribuzione delle età è probabilmente legato a fasi di colonizzazione successive che hanno visto inizialmente le tre specie coesistere assieme 140 – 180 anni fa con una prevalenza di abete rosso e una buona partecipazione del larice, il quale è stato successivamente fortemente limitato, ma anche abete rosso e cembro sono diminuiti fino a una sessantina di anni fa quando hanno avuto una nuova espansione, ulteriori ingressi di cembro e più limitatamente di abete rosso sono avvenuti negli ultimi 20 anni. Se risulta piuttosto difficile reperire notizie storiche sul periodo di 140 – 180 anni fa è invece più facilmente spiegabile, l'ingresso osservabile una sessantina di anni fa quando fu istituito il divieto di pascolamento in bosco.

## ***PATTERN SPAZIALI***

I pattern spaziali denotano una spiccata tendenza all'aggregazione, aggregazione che diventa crescente con l'aumentare della distanza. Anche specie come abete rosso e cembro che in genere mostrano nella breve distanza un picco legato alla presenza di nuclei o cespi di rinnovazione, hanno qui un andamento del tutto simile a quello del larice, cioè quello di una specie che mostra un pattern ad aggregazione crescente come risultato di una forma di colonizzazione massiccia dell'area legata a una dinamica invasiva della specie. E' possibile che tale pattern sia il risultato della somma delle successive fasi di colonizzazione di cui si è detto in precedenza riferendosi alla struttura cronologica del popolamento. Lo studio della funzione K di Ripley bivariata evidenzia in generale la repulsione delle piante giovani delle tre specie da quelle di grandi dimensioni di abete rosso che con le loro chiome basse creano condizioni di ombreggiamento che impediscono alla rinnovazione di insediarsi per carenze di luce e calore. L'attrazione delle piante giovani di cembro per le piante di grosse dimensioni di larice è frequente e legato sia al fatto che la rinnovazione di cembro si trova molto frequentemente sotto la copertura del larice (Motta e Dotta 1994); questo fenomeno è spesso favorito dalla spessa vegetazione erbacea presente al di sotto delle chiome dei larici che impedisce al seme leggero di altre specie, come lo stesso larice e l'abete rosso, di raggiungere il suolo minerale. Il cembro, invece, supera questo problema grazie all'azione della nocciolaia (Motta e Dotta 1994) la quale predilige, tra gli altri siti, anche la parte basale dei fusti e le cavità formate dalle radici (Tomback 1995). Meno frequente è invece l'attrazione di piante piccole di abete rosso per piante di grandi dimensioni di larice, che forse può essere legata alla presenza di vecchie ceppaie di larice che favoriscono l'insediamento della rinnovazione di abete rosso e l'affrancamento di questa dalla competizione per la luce con lo strato erbaceo e arbustivo.

## ***ANALISI DELLA STRUTTURA***

Il risultato del correlogramma totale per il diametro su 4 ha mostra la presenza di un doppio gradiente, cioè nell'area vengono individuate due zone con caratteristiche diametriche simili, separate da un area con caratteristiche diametriche diverse rispetto alle due precedenti. Nella breve distanza infatti vi è una elevata autocorrelazione positiva, i gruppi di piante con caratteristiche diametriche simili sono tra loro vicini, mentre ad una distanza di 100 m in genere si trovano gruppi con caratteristiche diverse. Questi risultati confermano quanto individuato dalla statistica *Local Gi\** che mostra la presenza di due aree (delineate in colore blu) che si caratterizzano per avere al loro interno piante di diametro simile e minore rispetto alle piante situate nella zona di colore rosso che sono di diametro maggiore. Questo sembra suggerire che le aree di colore blu siano state interessate



da qualche fenomeno di disturbo, probabilmente di tipo antropico tale da consentire un ingresso massiccio di rinnovazione. Sia sul lato nord che nella parte sud dell'area sono presenti due piste per esbosco piuttosto evidenti e riportate anche in cartografia. Nella parte nord dell'area i nuclei sono di dimensioni più contenute, forse legati ad interventi selvicolturali su piccoli gruppi, mentre nella parte sud dell'area, anche per brevi distanze le dimensioni dei gruppi coetanei sono maggiori, in questo caso l'intervento sembrerebbe essere più riconducibile a un taglio marginale o comunque ad un intervento lineare di maggiore intensità. Sia la statistica "T" di Moran che la statistica *Local Gi\** per il larice riferita al diametro sui 4 ha rende difficile l'individuazione di una struttura vera e propria, probabilmente nel tempo le piante di larice si sono progressivamente ridotte in numero in seguito ad interventi localizzati legati a tagli effettuati alla bisogna per le esigenze della popolazione locale che ha inciso diffusamente su quella che è anche la specie più appetibile dal punto di vista tecnologico, visto che anche le piante di abete rosso sono piuttosto rastremate e ramosi. Sono comunque individuabili dei nuclei di larice con diametro minore che si situano nelle posizioni corrispondenti a quelle già individuate in precedenza a livello totale.

Abete rosso e cembro sono le specie che strutturalmente caratterizzano il popolamento, infatti sia la statistica "T" di Moran che la statistica *Local Gi\** delle due specie sono molto simili tra loro e in generale determinano quello che è il risultato già visto nella statistica totale. In generale si può osservare che il cembro tende a mantenere più del abete rosso la struttura a cespi che in genere lo caratterizza.

Mettendo a confronto la morfologia dell'area attraverso il grafico delle curve di livello e i risultati ottenuti con la statistica *Local Gi\** totale per i diametri, (**Fig. 18**) appare evidente un legame tra la morfologia del terreno e l'autocorrelazione locale dei diametri. Si può notare come le piante con diametro minore siano situate nelle aree a quote inferiori e dove le pendenze sono meno marcate mentre le piante con diametro maggiore si trovano nelle zone più rilevate e a maggiore pendenza, inoltre buona parte di entrambe le zone caratterizzate da diametri minori sono raggiunte dalle piste di esbosco (evidenziate dalle linee tratteggiate) che invece interessano solo marginalmente le aree con diametri maggiori. E' molto probabile che anche questa corrispondenza sia da attribuire all'azione dell'uomo che è intervenuto con il taglio nelle zone più comode e vicine alle vie di esbosco rilasciando invece le piante poste nelle posizioni più scomode e ripide, è infatti palese che la maggiore concentrazione di piante di diametro maggiore si situa lungo le linee di massima pendenza mentre è il contrario per le piante di dimensioni maggiori.

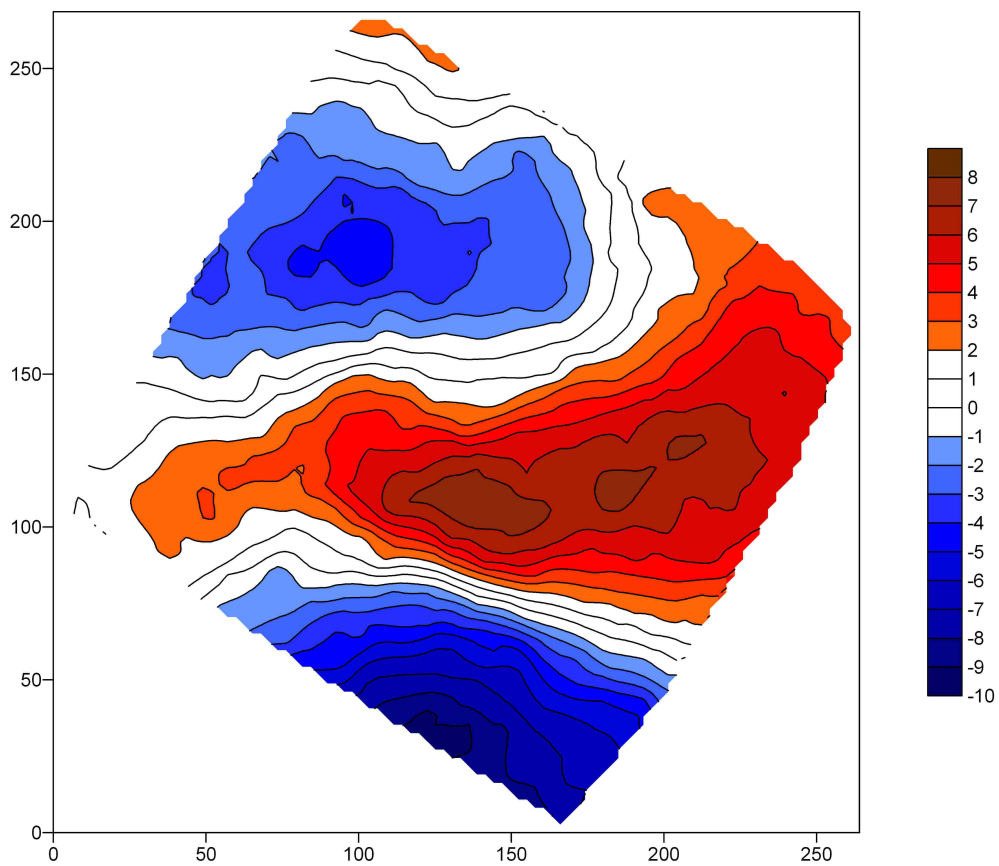
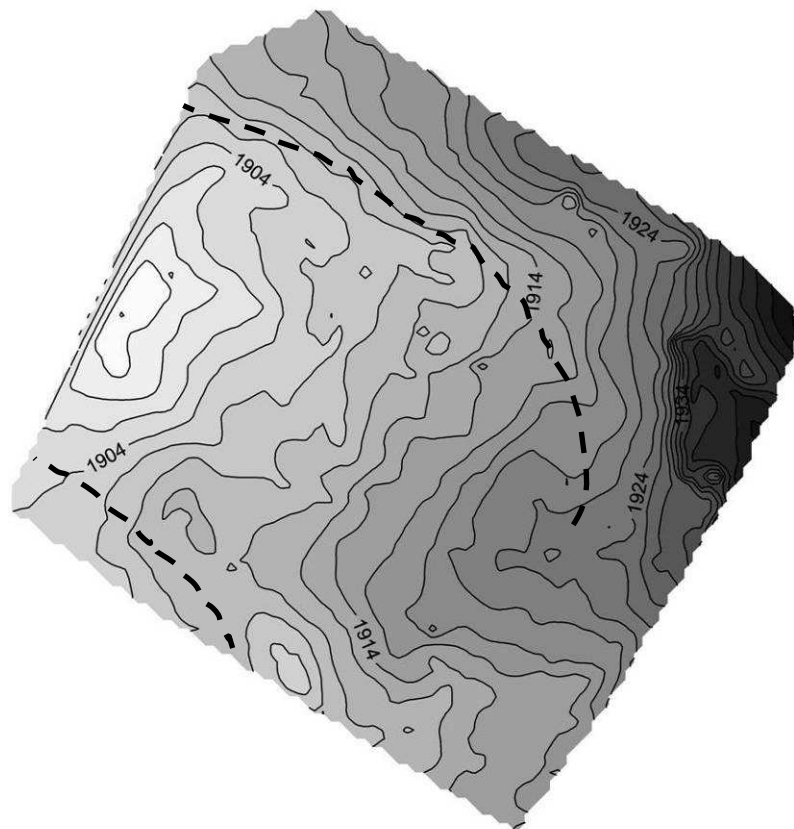


Fig. 19 confronto tra l'orografia dell'area e la statistica totale *Local Gi\** per il diametro

### ***Analisi della struttura, confronto tra i dati di età e di diametro su 2 ha***

Poiché la determinazione dell'età non è stata ancora completata su tutta la superficie si è condotto un confronto dei risultati ottenuti per le porzioni di area disponibile sulle due serie di dati. Entrambi i dati sono disponibili solo su metà della superficie, il confronto con i risultati ottenuti sui 4 ha deve essere valutato con prudenza, tuttavia anche in questo caso viene individuato parte del gradiente già visto in precedenza.

Ciò che si vuole mettere in evidenza è la maggiore sensibilità del dato dell'età rispetto a quello del diametro. Sia nella statistica "I" di Moran che in quella *Local Gi\** appare evidente che la variabile età fornisce valori di autocorrelazione più elevati e permette di ottenere una migliore risoluzione spaziale della struttura del popolamento evitando possibili confusioni legate a ridotti accrescimenti per competizione o eccessiva copertura delle piante sottomesse, fenomeno questo risultato piuttosto frequente all'interno dell'area e di cui si è già potuta intuire la presenza dal confronto tra la distribuzione dei diametri e quella delle età che vedeva un elevato numero di piante di diametro ridotto ma l'assenza di un corrispondente numero di piante di giovane età..

Appare quindi chiaro che il diametro può senz'altro fornire una prima sommaria definizione della struttura spazio-temporale del popolamento ma è solo l'età che permette di determinare le reali dimensioni di gruppi coetanei e le dinamiche che nel tempo hanno portato alla formazione degli assetti strutturali attuali.

## **CONCLUSIONI**

La conclusione dell'analisi dendrocronologica legata soprattutto ai dati di età potrà fornire ulteriori informazioni sulle dinamiche spazio temporali del popolamento, permettendo di capire come gli interventi selvicolturali abbiano inciso sul pattern del popolamento e le diverse attività antropiche possano influire su più fattori ecologici, dando origine ad una sommatoria di effetti indiretti. Negli ultimi decenni si è assistito però ad una forte riduzione delle attività umane legate all'agricoltura e ad un radicale mutamento delle strategie e obiettivi della selvicoltura. In passato l'uomo ha pesantemente condizionato la struttura dei popolamenti di alta quota e quindi anche le dinamiche della rinnovazione. In alcuni casi la pressione antropica non è realmente cessata ma ha assunto forme diverse, legate ad altre attività, in particolare quelle turistiche, sempre più localmente inserite nelle zone di alta montagna. E' importante valutare se tale pressione possa ritardare il raggiungimento di quella stabilità ecologica necessaria a garantire l'ottimale perpetuazione nel

tempo dei sistemi forestali, alterando ciclicità che sono, comunque, per modalità e durata, molto lontane dalle generalmente limitate prospettive temporali che caratterizzano la pianificazione, così come le altre attività umane legate alla gestione e all'utilizzo delle risorse forestali. In questo senso le informazioni ottenute dallo studio della struttura spaziale, abbinata a quelle della struttura cronologica, diventano importanti. Dai *pattern* distributivi possiamo, infatti, comprendere i processi che li hanno prodotti e fornire un aiuto per la previsione delle traiettorie evolutive future, che condizioneranno la continuità spaziale e temporale della rinnovazione e quindi del popolamento forestale nel suo complesso.

## BIBLIOGRAFIA

- Aniol R W (1983) Tree-ring analysis using CATRAS. *Dendrochronologia* 1:45-53
- Anselin L (1995) Local Indicators of Spatial Association – LISA Geographical Analysis 2:93-115
- Bailey TC Gatrell AC (1996). Interactive spatial data analysis. Longman, Essex, UK.
- Cliff, A D, J K Ord (1973) *Spatial Autocorrelation* London. Pion London UK
- Cliff, A D, J K Ord (1981) Spatial processes: models and applications. Pion London UK
- Del Favero R (2003) Appunti del corso di Selvicoltura Speciale. AA 2002/2003
- Filipello S, Sartori F, Villardini M (1976) Le associazioni del cembro nel versante meridionale dell'Arco Alpino. *Atti Ist Bot Di Pavia* 21-104
- Fotheringham AS, Brunson C (1999) Local forms of spatial analysis. *Geogr Anal* 31:340–358
- Getis A, Ord JK (1992) The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geogr Anal* 24(3):189–206
- Fotheringham AS, Brunson C, Charlton M (2000) Quantitative geography: Perspectives on spatial data analysis Sage Publications, Thousand Oaks, CA
- Getis, A, e JK Ord (1996) Local spatial statistics: An overview P 261–277 in Spatial analysis: Modeling in a GIS environment Longley P, M Batty (eds) Wiley New York
- Levine N (2002). CrimeStat: A Spatial Statistics Program for the Analysis of Crime Incident
- Motta R e Dotta A (1994) Some aspects of cembran pine regeneration in the Italian Cottian Alps  
Proceedings international workshop on subalpine stone pines and their environment: the status of our knowledge St Moritz INT-GTR 309, St Moritz, Switzerland, 5-11 September 1992 Intermountain Research Station, UT, USA:254 260
- Ripley BD (1977). Modelling Spatial Patterns. Journal of the Royal Statistical Society. Series B
- Sawada M (1999) Rookcase: an Excel 97/200 visual basic add-in-exploring global and local spatial autocorrelation. *Bull Ecol Soc Am* 80:231–234
- Sokal R R, Oden N L (1978a) Spatial autocorrelation in biology: 1 Methodology. *Bioll JI of Linn Soc* 10:199–228
- Sokal, R R, Oden N L (1978b) Spatial autocorrelation in biology: 2 Some biological implications and four applications of evolutionary and ecological interest. *Biol J Linn Soc* 10:229–249
- Tomback DF (1995) Ecological relationship between Clark's Nutcracker and four wingless-seed strobis pines of Western North America Proceedings of the International Workshop on Subalpine Stone Pines and their Environment: the Status of our Knowledge, INT-GTR 309, St Moritz, Switzerland, 5-11 September 1992 Intermountain Research Station, UT, USA:221-224
- Unwin A (1996) Exploratory spatial analysis and local statistics. *Comput Stat* 11:387–400
- Upton GJG Fingleton B (1985) Spatial data analysis by example Vol 1: Point pattern and quantitative data. Jon Wiley & Sons, New York, NY