



**Dottorato di ricerca in Sc. Agrarie, Forestali e Agroalimentari**  
Pianificazione forestale, selvicoltura e tecnologia del legno

# **Modeling stand dynamics in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests of the Southwestern Alps**

*Giorgio Vacchiano*

Tutor: prof. Renzo MOTTA

Coordinatore: prof. Vittorino NOVELLO

Università degli studi di Torino

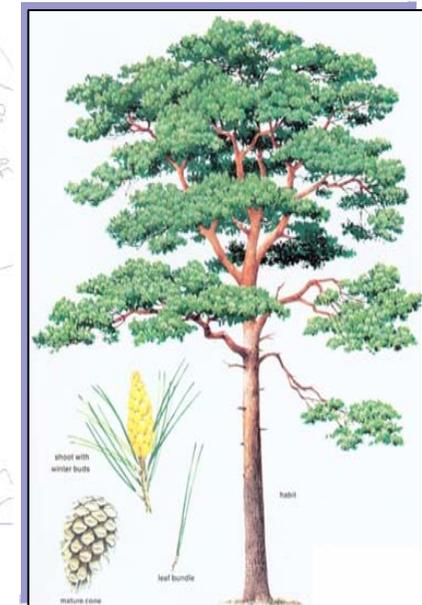
Dipartimento AgroSelviTer

# Introduzione

*Pinus sylvestris* L. in Europa:  
**28.000.000 ha**

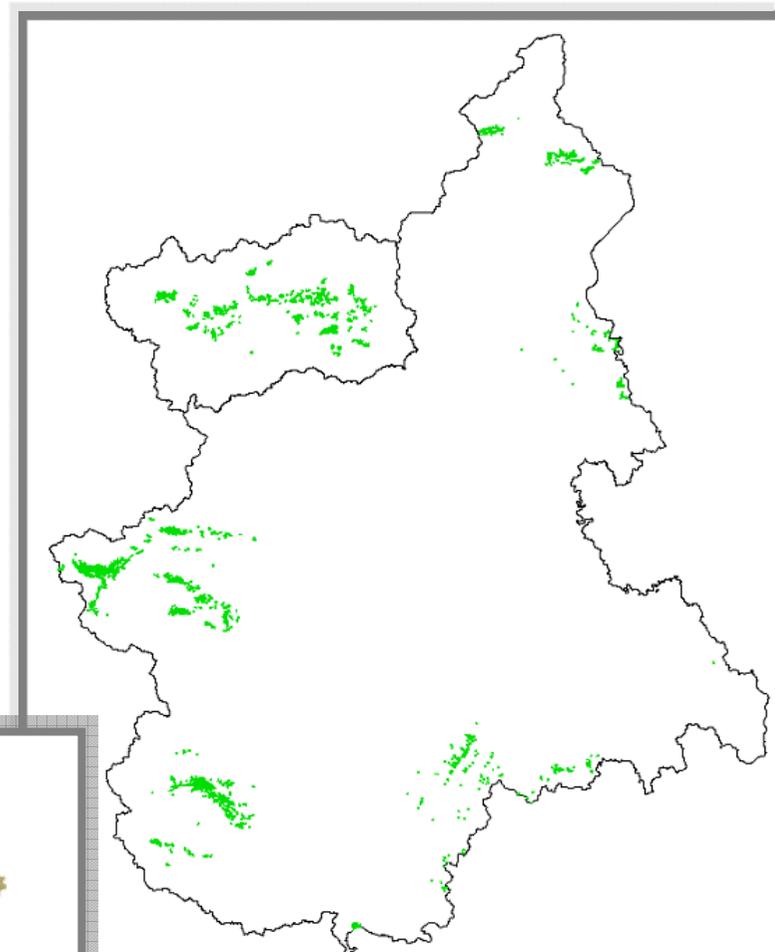
- Specie sub-boreale
- Elevata plasticità (euriecia)
- Ecotipi locali
- Multifunzionalità della foresta

Fonte: Mátyás et al., 2004



# Introduzione

- 31.000 ha nelle Alpi W
- Dal piano basale al montano
- Settori oceanici e continentali



Fonte: IPLA, 2003, 2004

# Problem statement

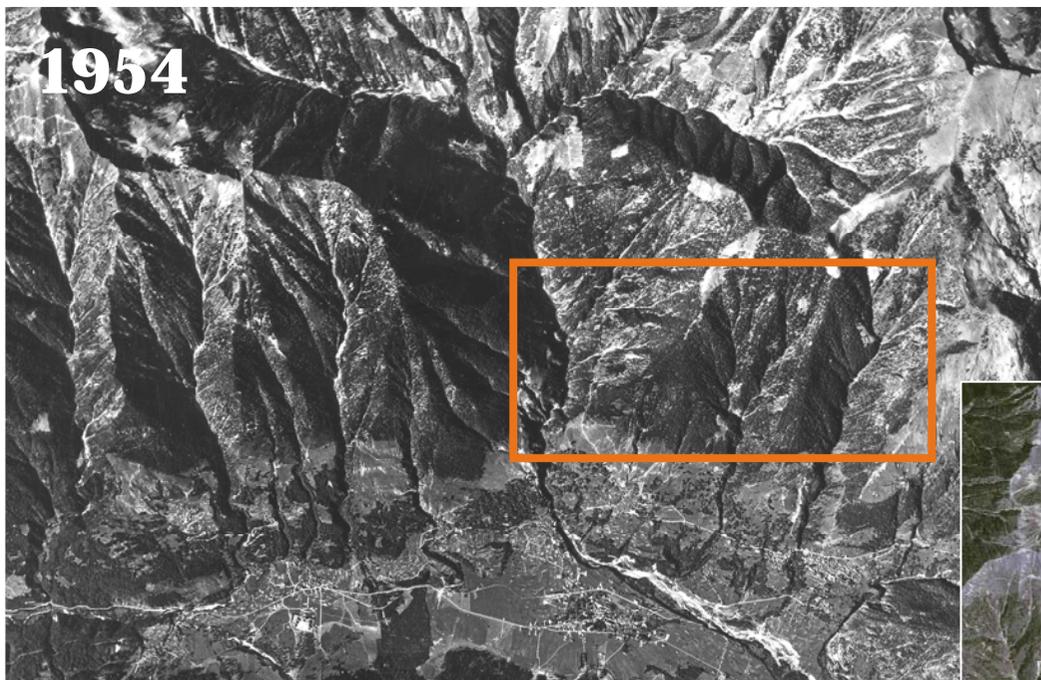
*Cambiamenti di uso del suolo*

*Cambiamento climatico*



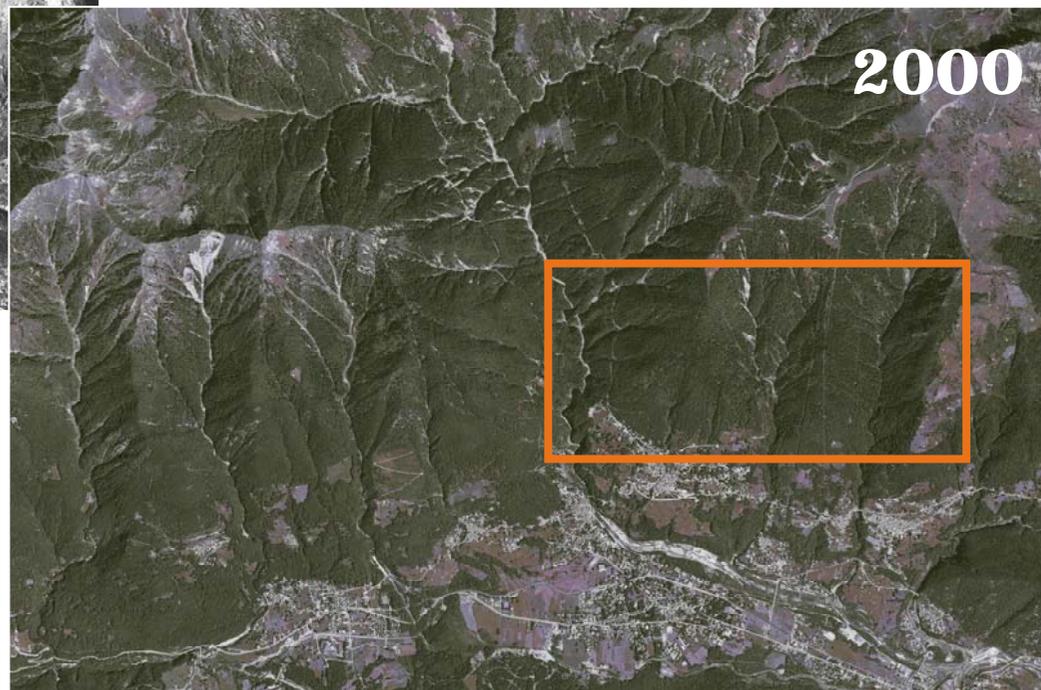
**Espansione e contrazione dei popolamenti**  
**Impatto sull'accrescimento e sulla struttura**  
**Dinamiche successionali**

# Problem statement



Toceno (VB)

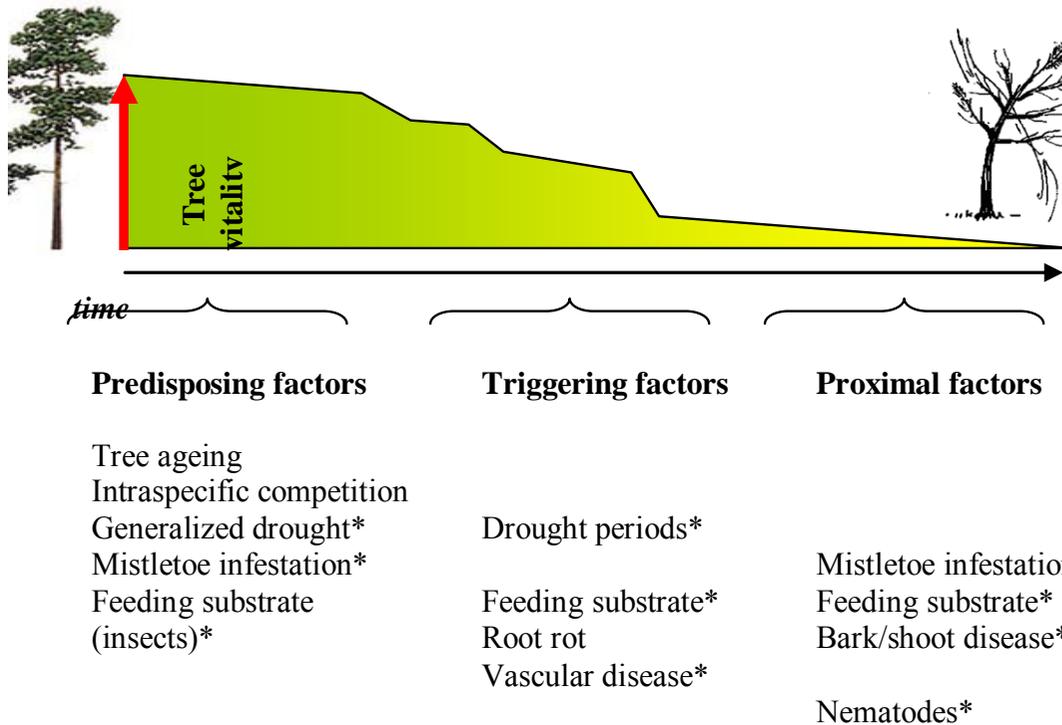
*Successione secondaria post-abbandono.*



*Modeling stand dynamics in Scots pine forests of the Southwestern Alps*

# Problem statement

*Deperimento nelle valli continentali e alle quote più basse per riduzione delle precipitazioni e l'azione di fattori scatenanti biotici e abiotici.*



da Rigling et al. (2006)

*Modeling stand dynamics in Scots pine forests of the Southwestern Alps*



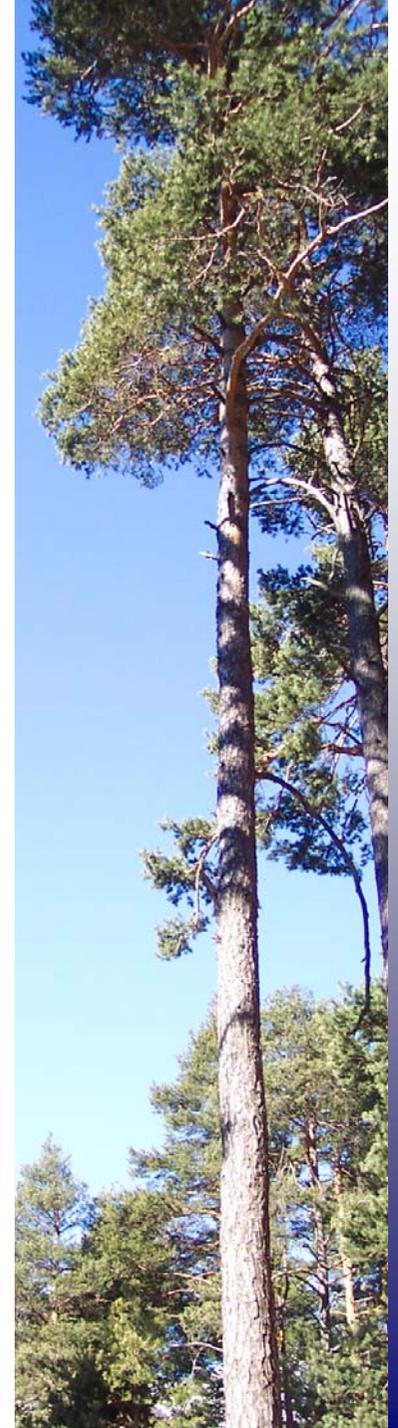
# Problem statement

La specie esibisce una risposta rapida ai cambiamenti ambientali e di uso del suolo.

Ampie superfici forestali sono in trasformazione, in aree strettamente legate alle attività antropiche.

## Sostenibilità della risorsa?

*Modeling stand dynamics in Scots pine forests of the Southwestern Alps*



# Obiettivo

*“Modeling stand structures and their development is the prerequisite for understanding and managing mountain forests”.*

(Schönenberger e Brang, 2001).

## Modello di simulazione delle dinamiche forestali delle pinete alpine:

- calibrato localmente
- risposta a land use e climate change

# Knowledge gaps

- ❑ Disponibilità di aree di monitoraggio di lungo periodo.
- ❑ Comprensione delle dinamiche forestali endogene ed esogene delle pinete alpine.
- ❑ Strumenti di previsione della struttura e composizione dei popolamenti, in supporto alla gestione selvicolturale.

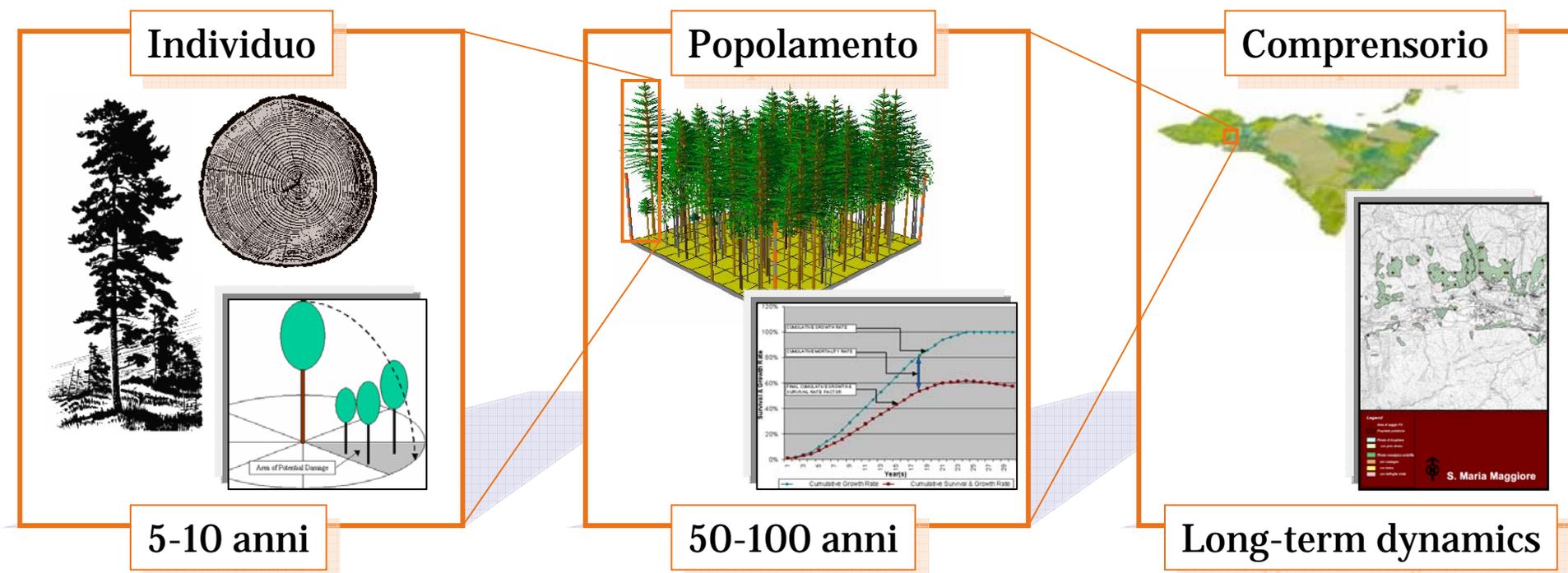
Dati

Processi

Strumenti

# Synopsis

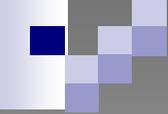
*Competizione intra- ed interspecifica:  
dinamica-chiave per lo sviluppo dei popolamenti.*



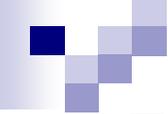
*Modeling stand dynamics in Scots pine forests of the Southwestern Alps*

# Synopsis

- I. Sistema di supporto alle decisioni selvicolturali, capace di prevedere lo sviluppo dei popolamenti a scala regionale, anche in presenza di scenari di cambiamento.
- II. Interazioni tra competizione, accrescimento/mortalità individuale e *land use history*.
- III. Testing di un modello di simulazione dell'accrescimento in vista della sua applicazione ai popolamenti analizzati.



***A Density Management Diagram for  
Scots pine in the Western Alps***



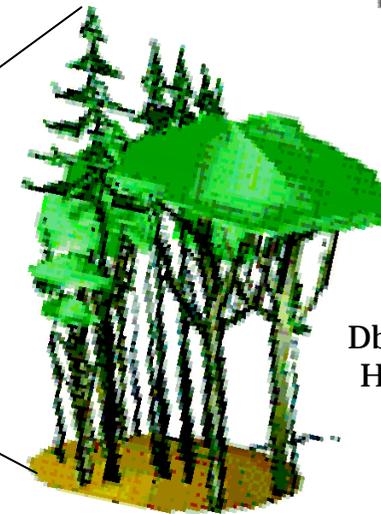
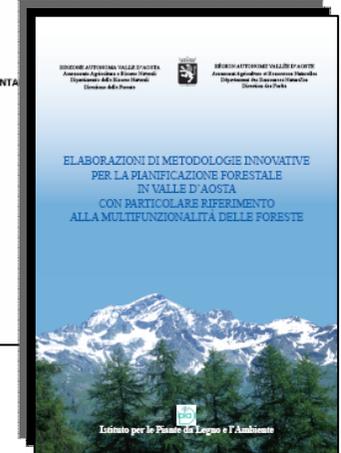
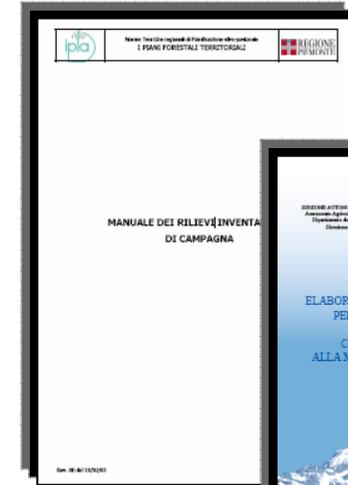
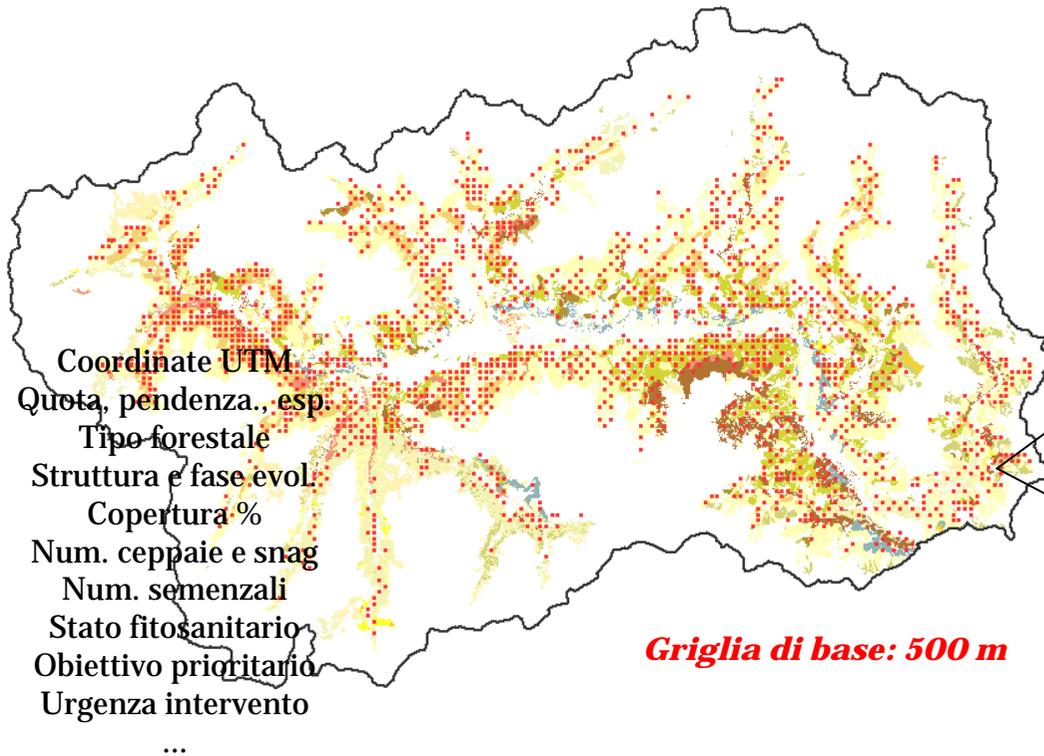
# Introduzione

## Diagramma di gestione della densità:

- ❑ Modello grafico di sviluppo dei popolamenti
- ❑ Basato su relazioni allometriche specie-specifiche
- ❑ Indirizzato alla gestione selvicolturale
- ❑ Vasta applicazione a pop. naturali e impianti  
(ma raramente in Europa).

# Database

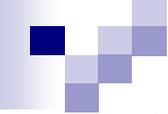
## Inventari Forestali Regionali Piemonte e Valle d'Aosta (IPLA 2003, 2004).



Dbh (>7.5 cm), specie  
H albero dominante

**Raggio: 8- 15 m**

*Modeling stand dynamics in Scots pine forests of the Southwestern Alps*

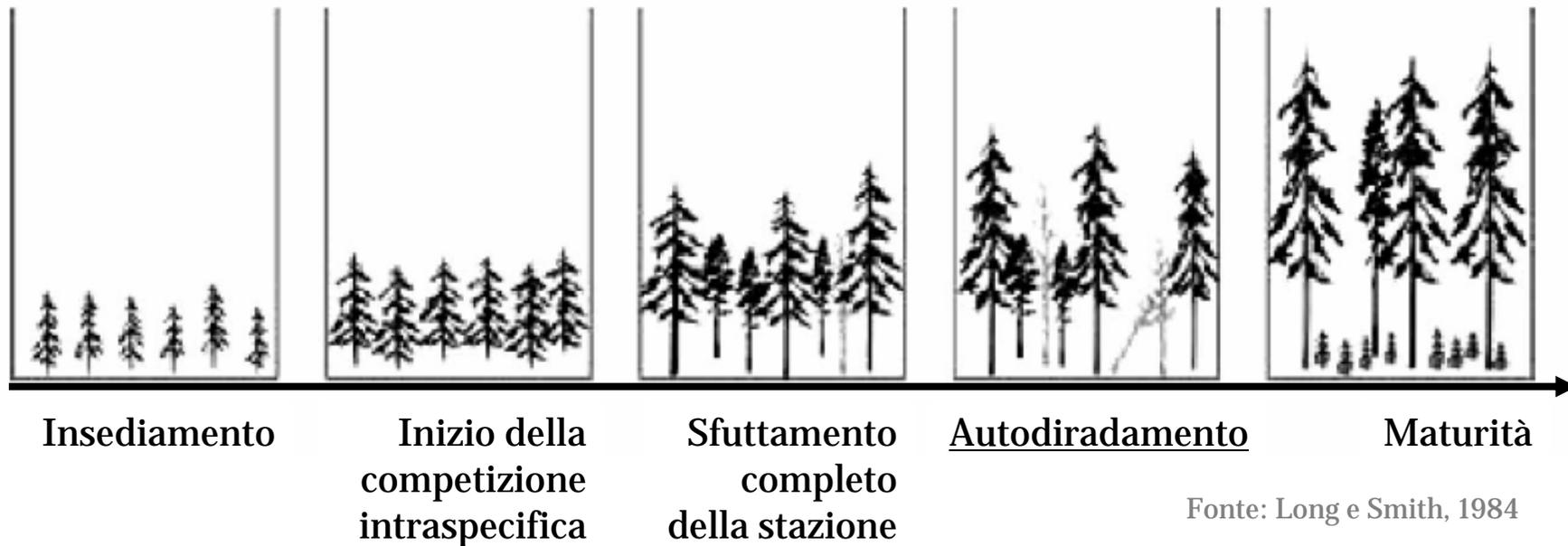


# Outline

1. Presupposti per l'applicazione
2. Materiali e metodi
3. Costruzione del diagramma
4. Esempi di applicazione

# Presupposti

## Popolamenti puri, coetanei e indisturbati



# Presupposti

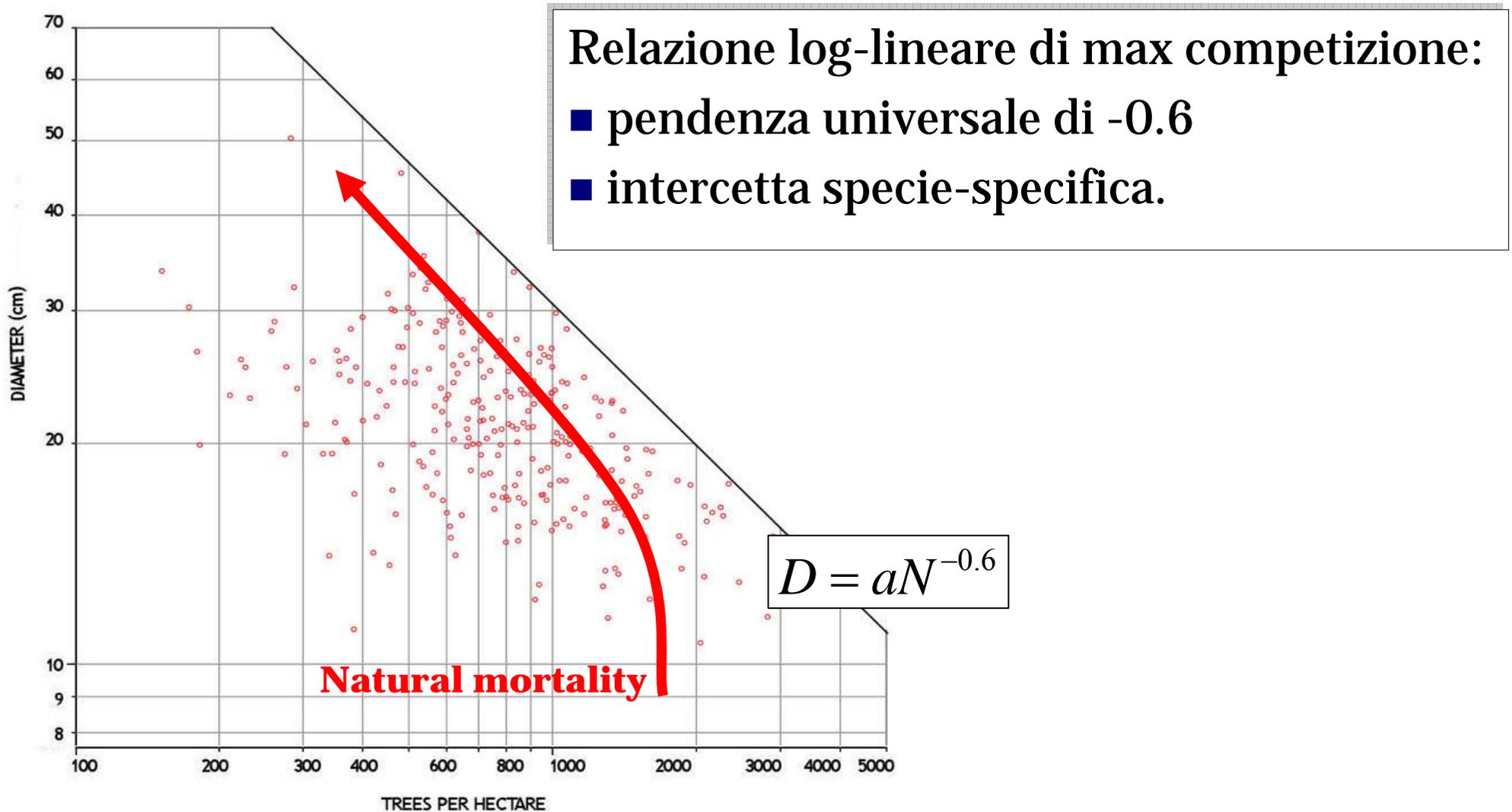
“Legge” dell’autodiradamento (Yoda et al., 1963):

A causa della competizione, dimensione degli individui e densità sono inversamente proporzionali.

Data una certa capacità portante, esiste un numero limite di alberi di una certa dimensione che possono coesistere sulla stessa area.



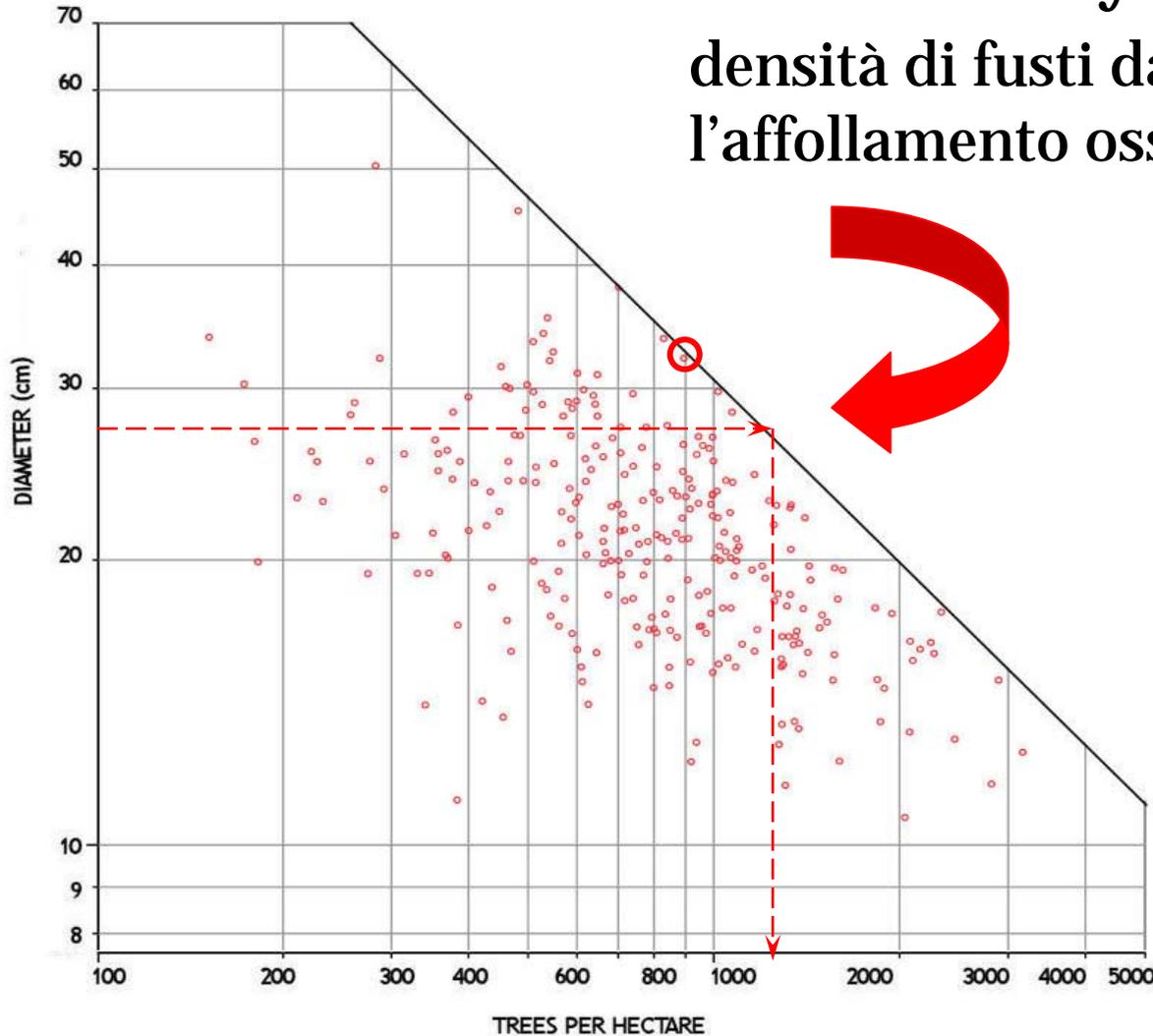
# Metodi



# Metodi

## Stand Density Index:

densità di fusti da 25 cm che esprime l'affollamento osservato (Reineke, 1933).



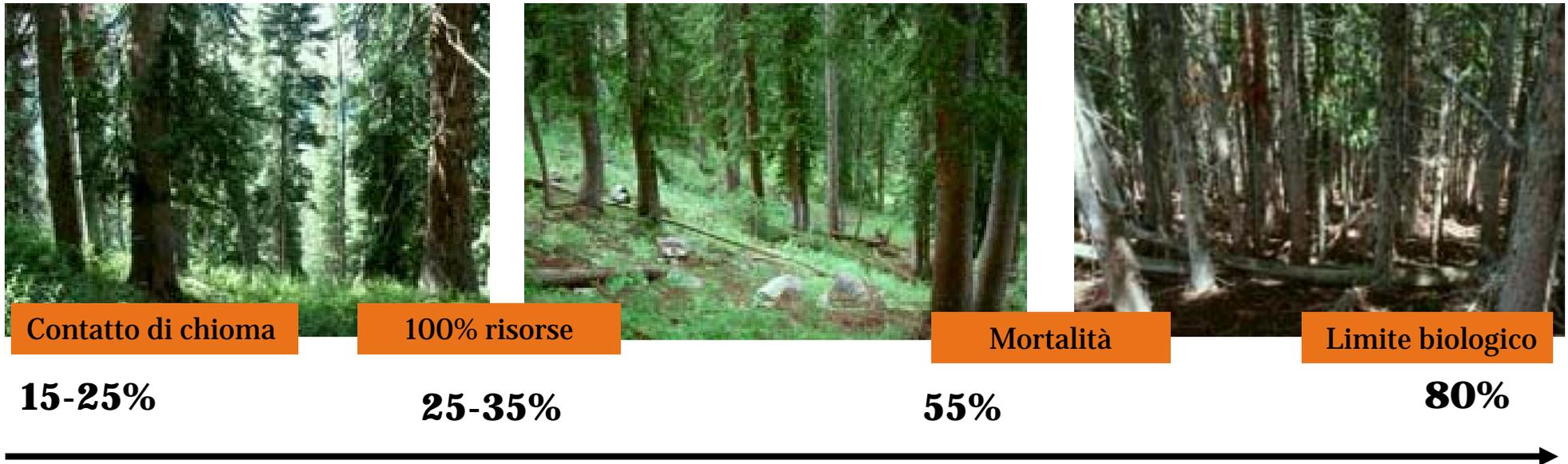
SDI additivo calcolato per ogni popolamento:

$$SDI_{sum} = \sum \left[ N_i \cdot \left( \frac{D_i}{25} \right)^{1.6} \right]$$

**SDI<sub>max</sub>: 98° percentile.**

# Metodi

Densità relativa: rapporto tra densità (SDI) osservata e massimo biologico della specie. Indica l'intensità di competizione intraspecifica nel popolamento.



# Metodi

$$D = 7.5 + (a + bN)(H - 1.3)^c$$

Fonte: Shaw e Long, in press

*H: altezza dell'albero dominante (di diametro maggiore) in ciascuna area di saggio [m].*

$$VOL = aND^b$$

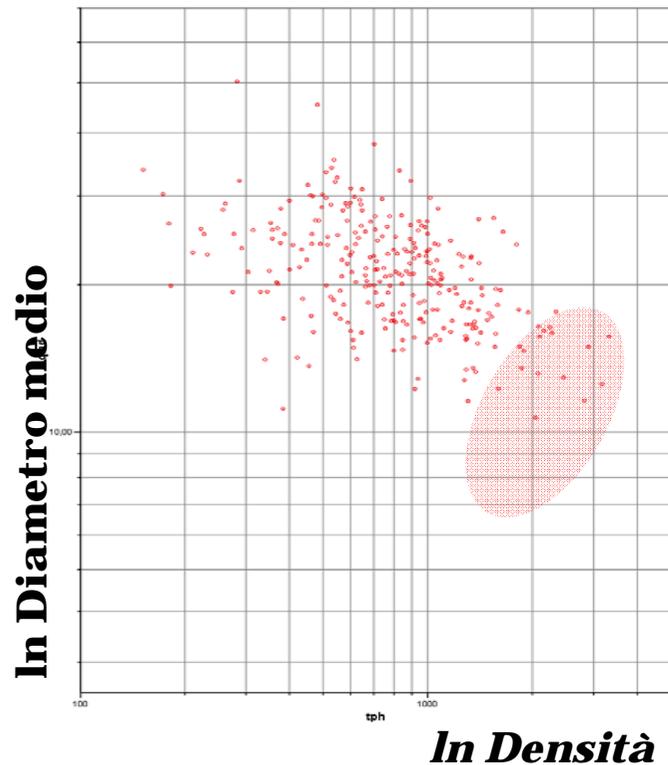
Fonte: Shaw e Long, in press; Tabacchi et al., 2000

*VOL: calcolato da funzioni paraboliche individuali a corredo dell'inventario utilizzato [m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>].*

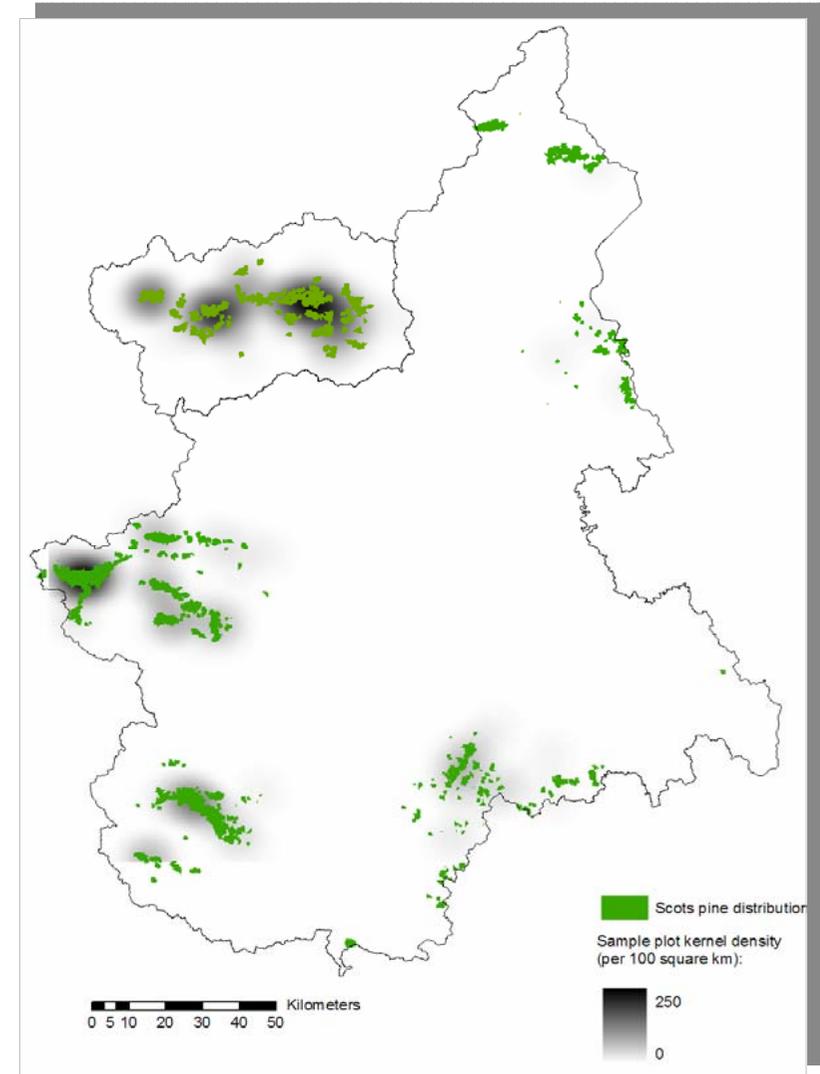
**Regressione nonlineare (SPSS 13) e validazione con dati da aree di monitoraggio permanenti.**

# Risultati

244 popolamenti puri (>70% BA),  
coetanei, indisturbati (<20% cepp.)



NB: Carenza di  
popolamenti giovani e  
densi



# Risultati

	<b>Mean</b>	<b>Minimum</b>	<b>Maximum</b>	<b>St.Dev.</b>
Plot area [m <sup>2</sup> ]	112	50	225	39.6
QMD [cm]	21.4	10.7	50.4	5.8
Trees ha <sup>-1</sup>	932	152	3318	525
Basal area [m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> ]	30.52	3.77	84.22	14.70
% Scots pine on BA	92.5%	70%	100%	8.3%
Height of dom. tree [m]	13.5	5	31	3.9
Standing volume [m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ]*	202.47	13.18	743.43	140.89

*\*Volume equations were available only for 118 plots.*

# Risultati

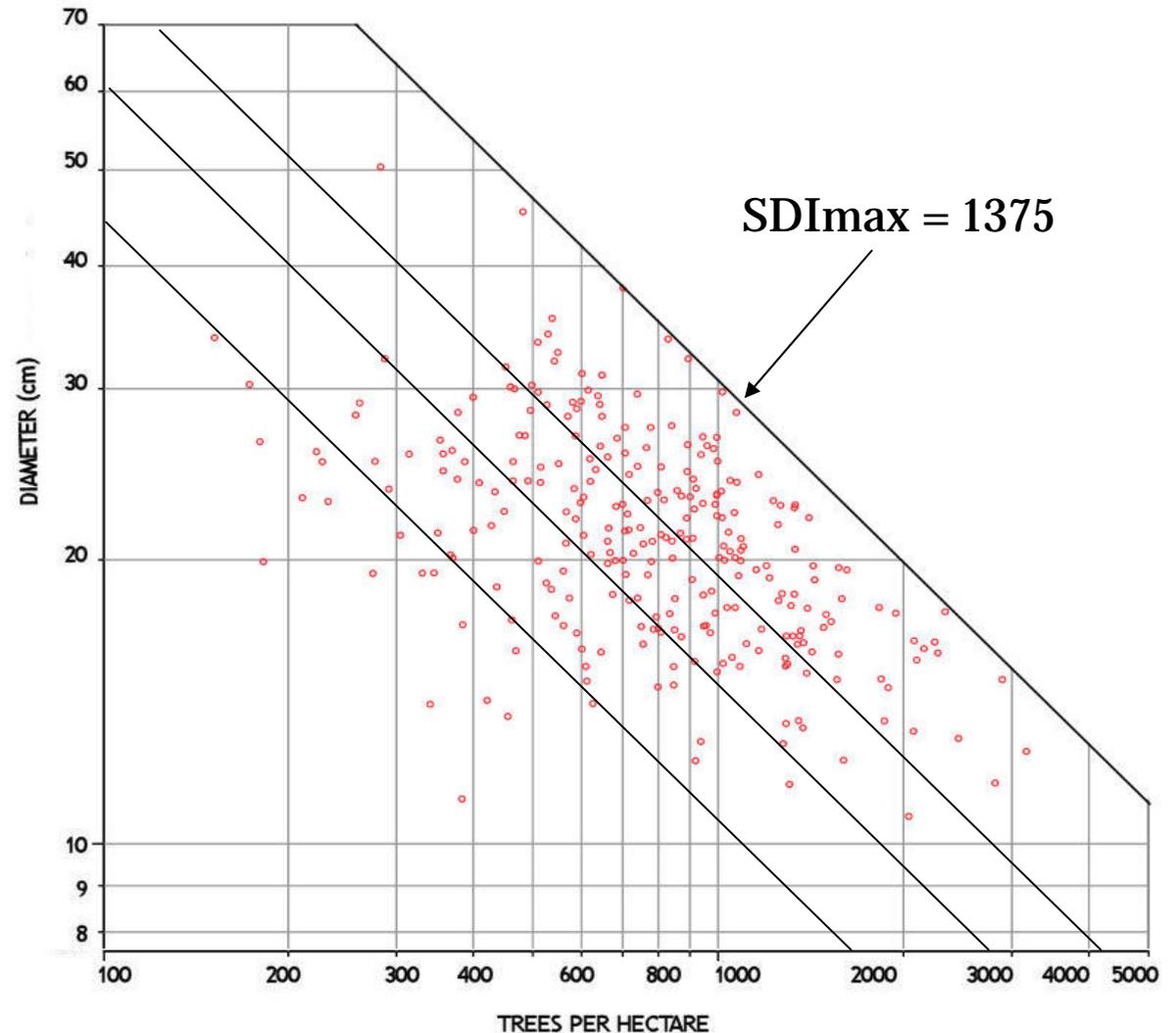
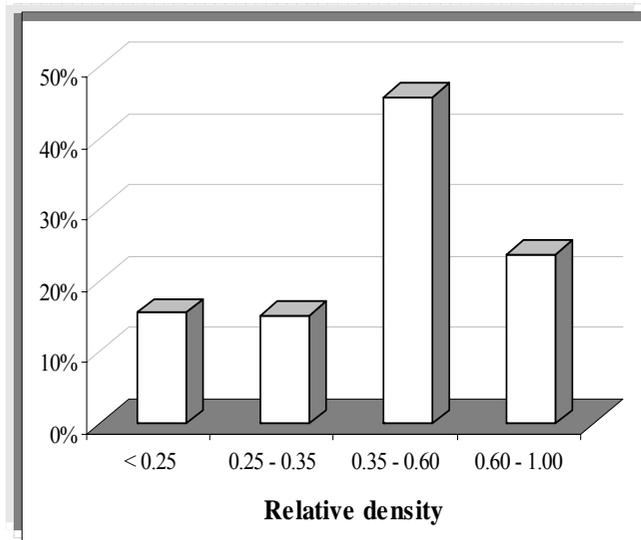
## RELATIVE DENSITY LINES

**0.25** crown closure

**0.35** full site occupancy

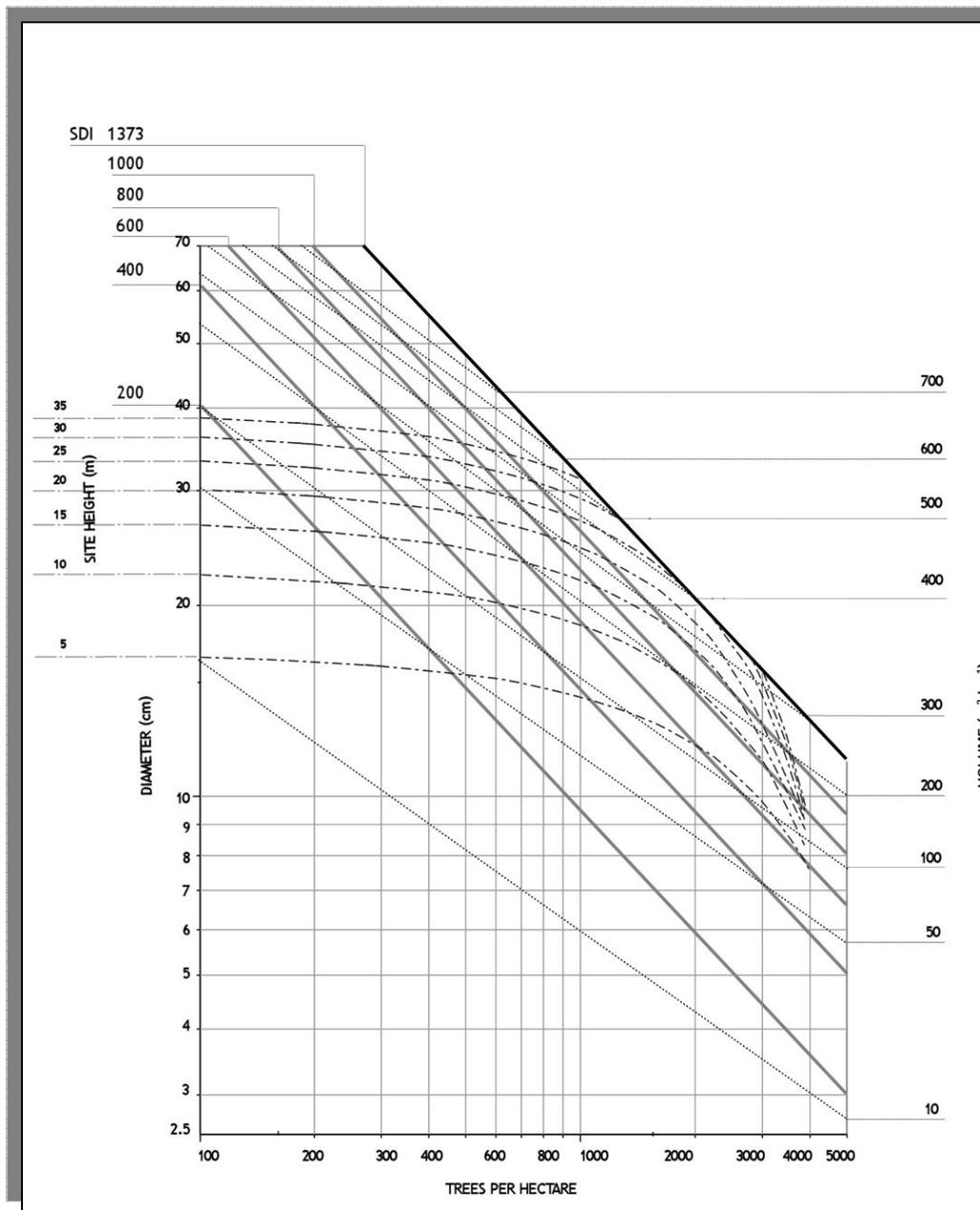
**0.60** onset of self-thinning

**1.00** species' biological limit

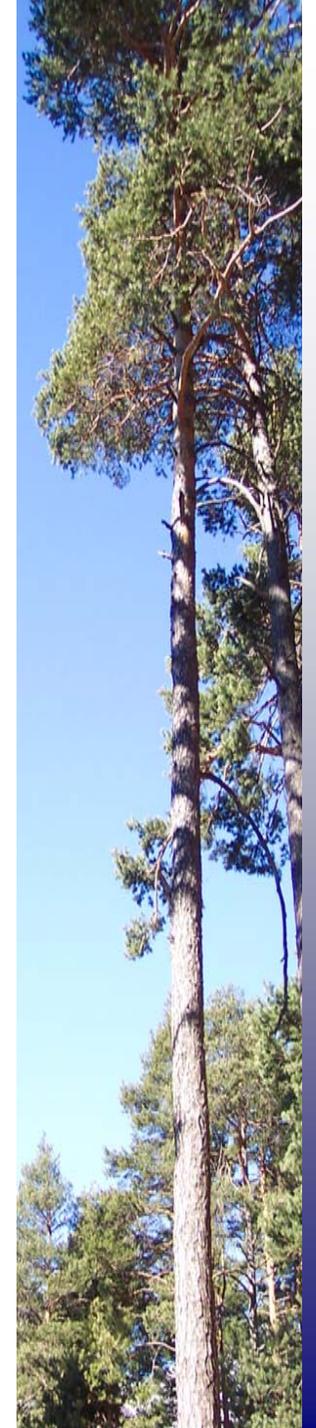


# Risultati

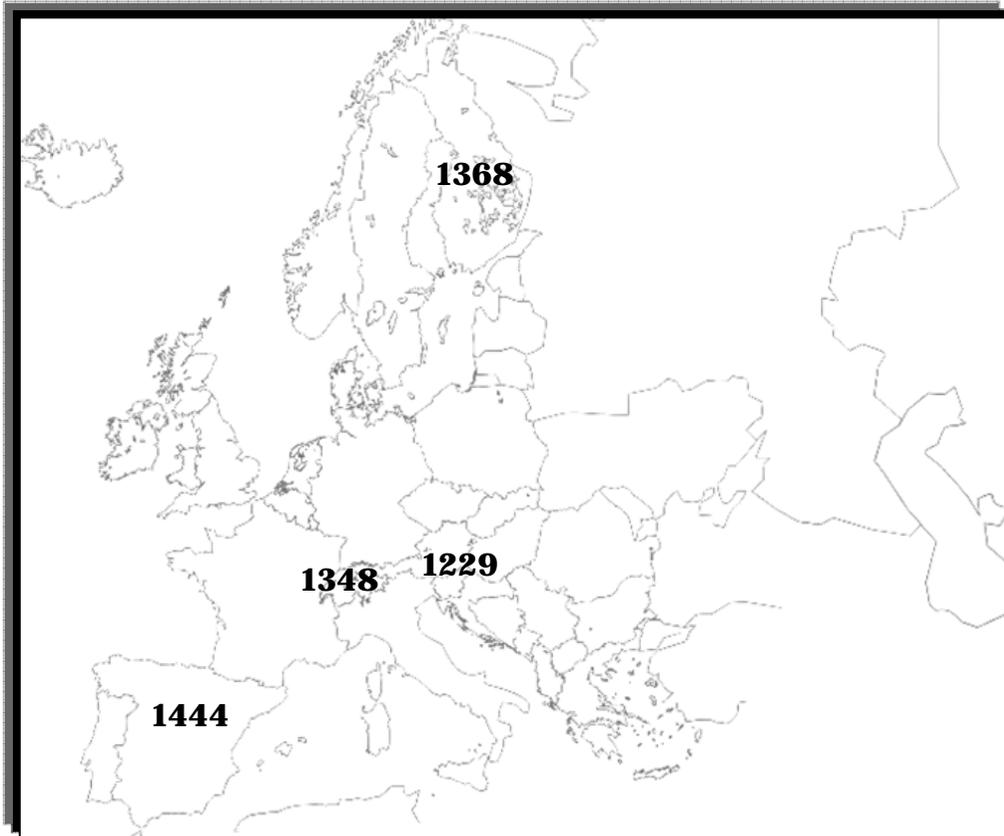
## Density Management Diagram per il pino silvestre nelle Alpi sudoccidentali.



*Modeling stand dynamics in Scots pine forests of the Southwestern Alps*

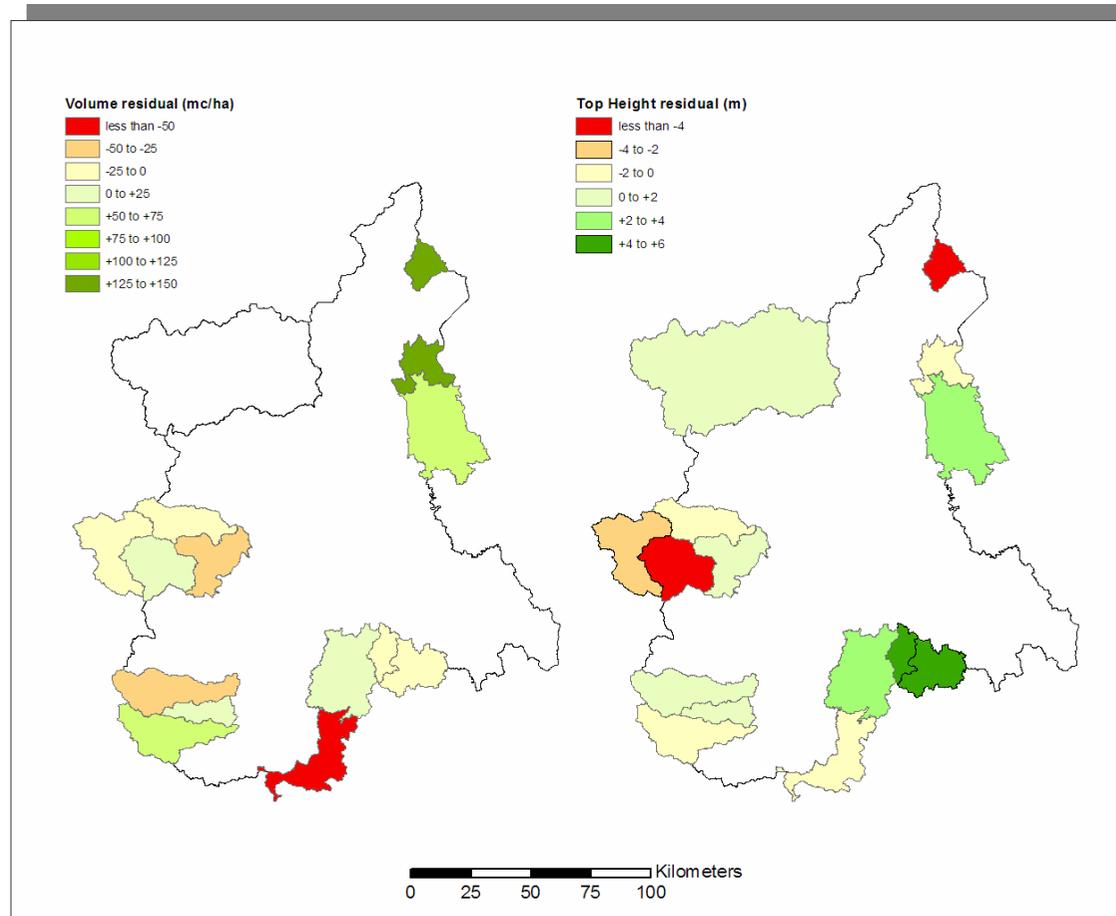


# Discussione



- SDI<sub>max</sub> simili in letteratura per il pino silvestre.
- 12-36% maggiore rispetto a tavole alometriche (massa incrementale?).
- Differenze significative (ANOVA) tra SDI medio per tipo forestale, ma campione limitato.

# Discussione



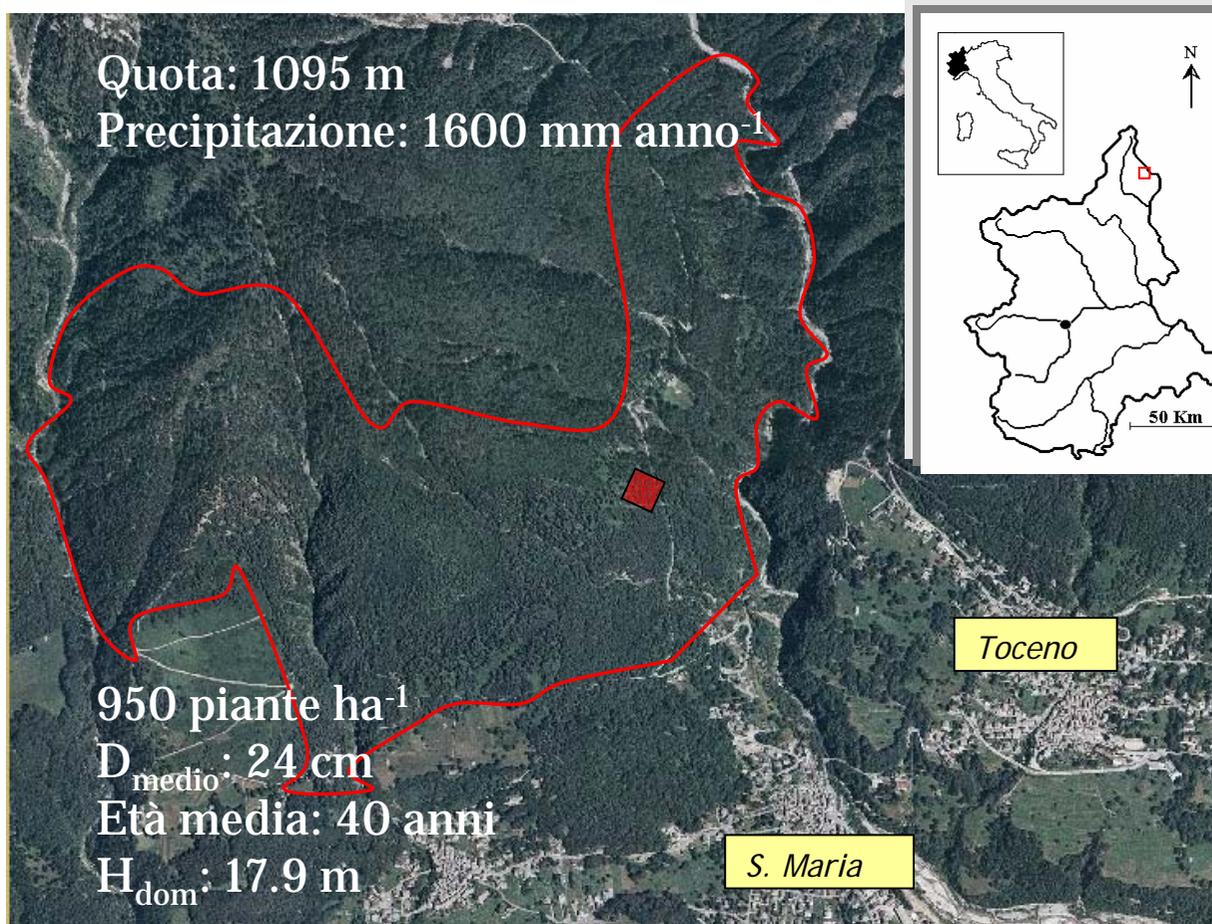
L'importanza da attribuire alle differenze locali dipende dall'uso del diagramma e dalla disponibilità di nuovi dati per la calibrazione.

## Uso del diagramma

Presupposto: l'obiettivo selvicolturale può essere espresso in termini di densità, diametro medio e densità relativa del popolamento.

*Zone of active management*: regione del DMD dove si desidera indirizzare l'evoluzione del popolamento.

# Caso I

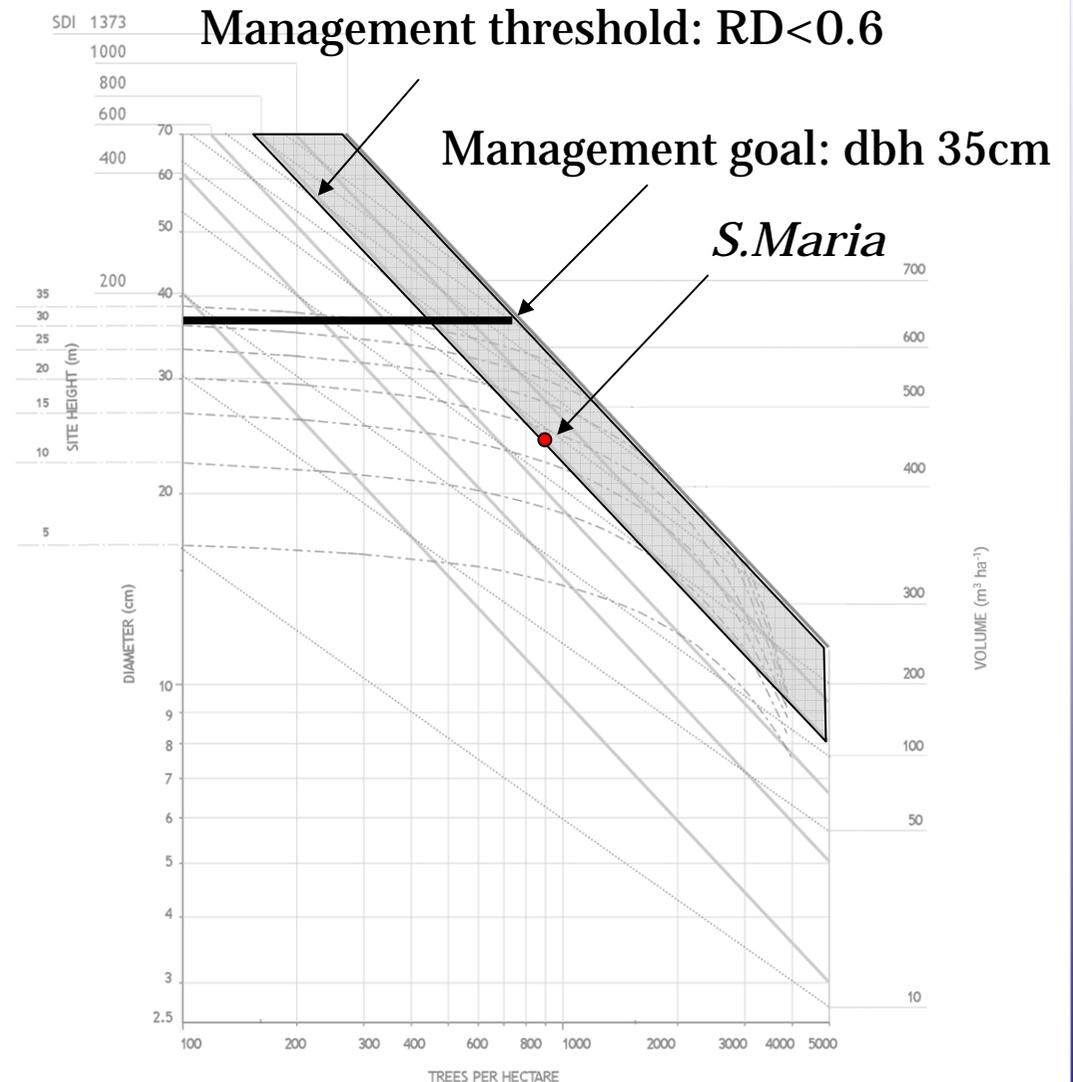


**8% delle pinete in Piemonte: funz. produttiva.**

Stazioni esalpiche fertili, spesso densi popolamenti di neoformazione.

# Caso I

1. Posizionare il popolamento sul diagramma, decidere obiettivo ( $D_{\text{medio}}$ : 35 cm) e zona di gestione attiva (es. evitare mortalità da competizione,  $RD < 0.6$ ).

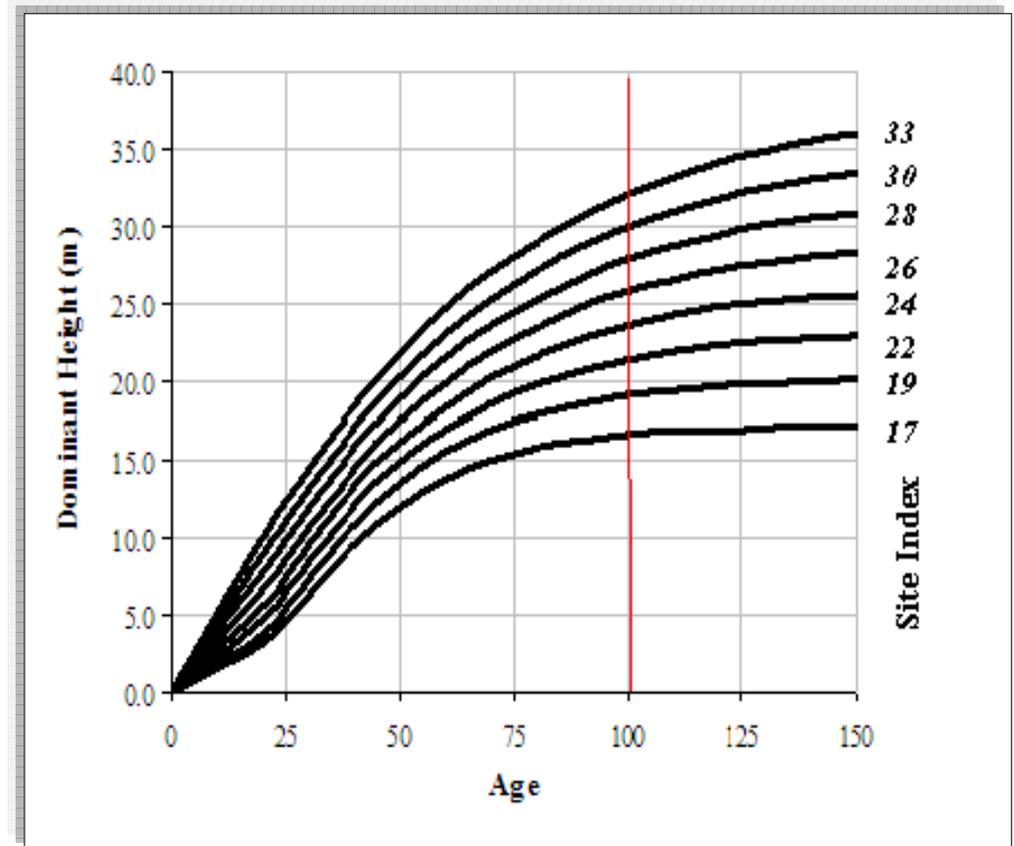


# Caso I

2. Calcolare l'indice di fertilità (*site index*: altezza dominante a 100 anni di età).

- Altezza<sub>dom</sub>: 17.9 m
- Età media popolamento:  
40 + età<sub>50cm</sub> = 45 anni

⇒ SI30



Tavole alsom. Pino silvestre in Austria (Marschall, 1976)

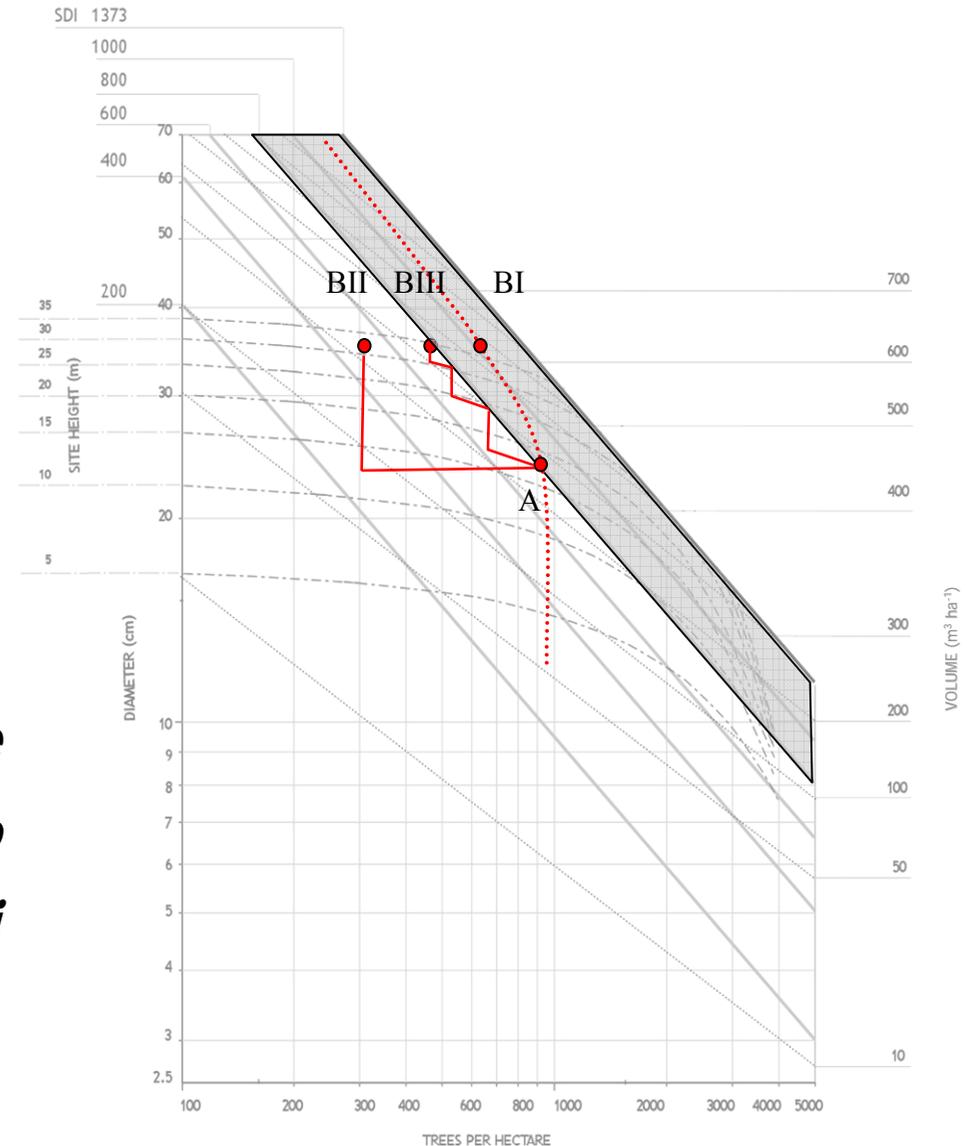
# Caso I

3. Elaborare le alternative gestionali e confrontarle con la traiettoria di evoluzione naturale (autodiradamento).

*BI: libera evoluzione*

*BII: 1 dirad. selettivo intenso*

*BIII: + dirad. dal basso moderati*



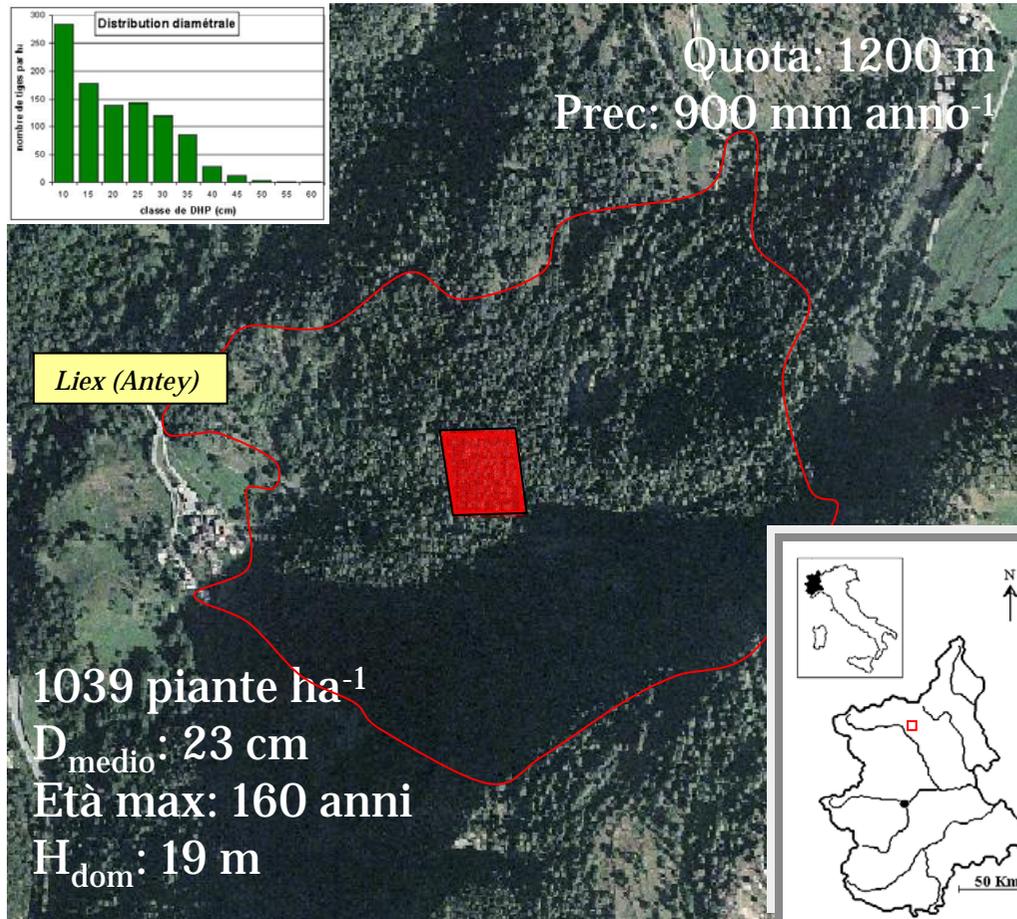
# Caso I

	<b>Age</b>	<b>H<sub>dom</sub> [m]</b>	<b>N<sub>before</sub></b>	<b>N<sub>after</sub></b>	<b>QMD<sub>before</sub> [cm]</b>	<b>QMD<sub>after</sub> [cm]</b>	<b>V<sub>removed</sub> [m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>]</b>
<b>Starting conditions</b>	<b>45</b>	<b>17</b>	<b>950</b>		<b>24</b>		
i) Final harvest	160*	37	660		35		492
<i>Total yield</i>							492
<i>MAI</i>							3.1
ii) LT1	45	17	950	700	24	25	50
ii) LT2	60	25	700	550	28	30	30
ii) LT3	85	31	550	470	32	33	40
ii) Final harvest	130	35	470		35		360
<i>Total yield</i>							480
<i>MAI</i>							3.7
iii) ST	45	17	950	300	24	23	200
iii) Final harvest	100	33	300		35		240
<i>Total yield</i>							440
<i>MAI</i>							4.4
<b>Reference (EOR)</b>	<b>80</b>						<b>150-350</b>

# Caso I

1. **Evoluzione naturale:** sviluppo lento, elevata intensità di competizione, provvigione massima ma parte dell'incremento è perso in mortalità o in fusti di bassa qualità.
2. **Diradamento selettivo:** elevato vigore individuale e individui stabili (coeff. snellezza), accrescimento veloce, ma terreno scoperto e massa intercalare di scarso valore.
3. **Diradamenti dal basso:** efficaci per popolamenti giovani, garantiscono vigoria della chioma, copertura costante e una certa competizione che promuove l'autopotatura e la qualità del fusto, ma economicamente impegnativi (*cf. Del Favero, 2004: 40 anni*).

# Caso II



30% delle pinete in Piemonte e Valle d'Aosta a funzione produttiva, di cui 4000 ha di protezione diretta.

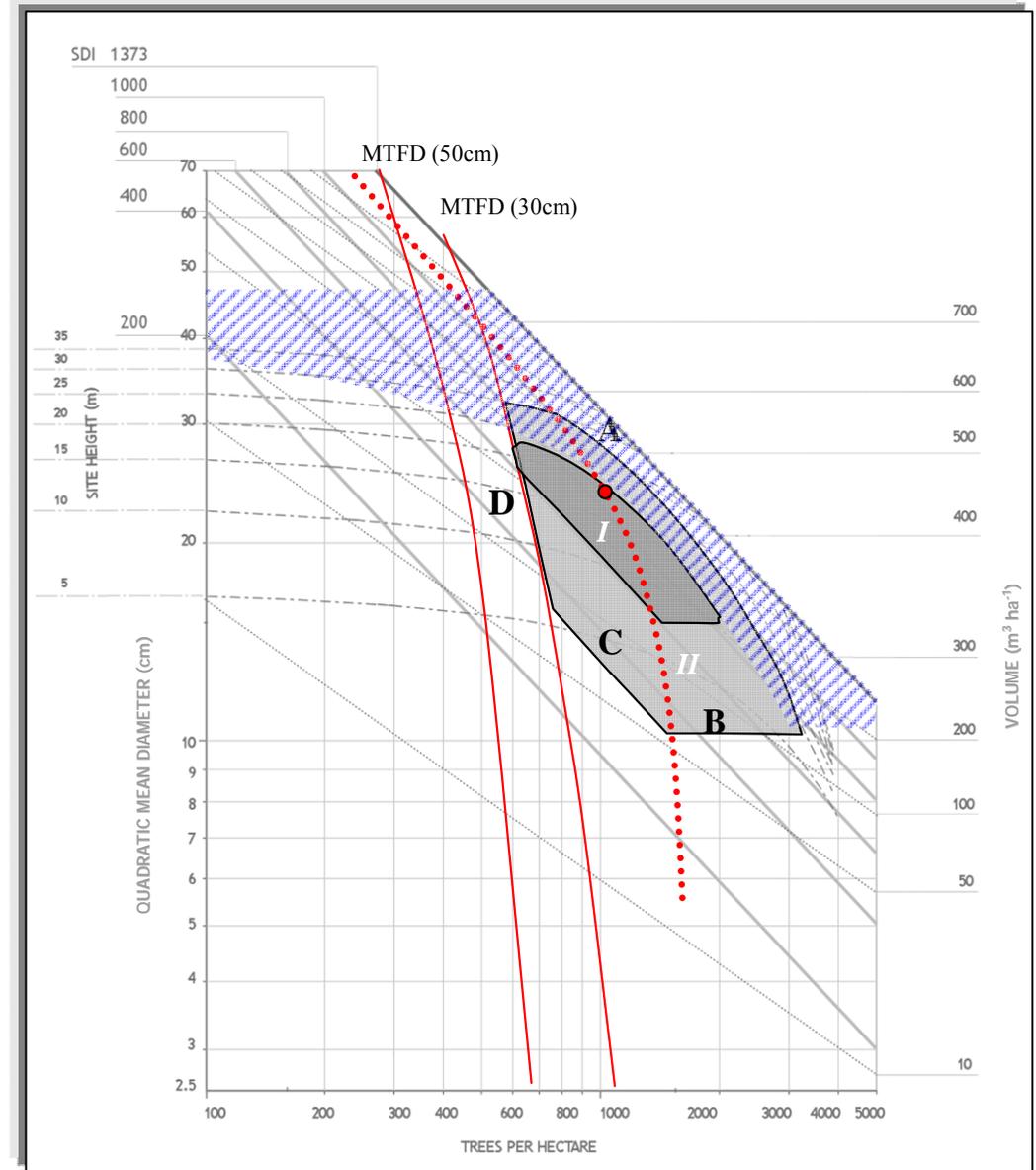
Considerata la localizzazione dei popolamenti, massima efficacia nei confronti della caduta massi.

# Caso II

## Criteri che massimizzano la funzione protettiva:

- A. Coeff. Snellezza < 80 (90)
- B.  $D_{\text{medio}} > D_{\text{masso}} \times 0.5$  (0.3)
- C. Copertura > 60%, calcolata in funzione della DR o secondo Long (1985).
- D. *Mean tree free distance* < 30 m (Frehner et al., 2005).

$$MTFD = \frac{A}{Nd_{\text{rock}} + \sum dbh}$$



## Caso II

Gestione consigliata: diradamento a gruppi per rimuovere gli elementi instabili, liberare quelli stabili dalla competizione e stimolare la rinnovazione e lo sviluppo delle latifoglie.

Il DMD mostra che un leggero diradamento selettivo impedirebbe al popolamento di entrare in zona II (efficacia minima) e ridurrebbe l'intensità della competizione.

Un diradamento intenso al punto da spingere il popolamento in zona II sarebbe accettabile se accoppiato a misure di protezione temporanee (tronchi a terra, palizzate) in grado di compensare l'accresciuto pericolo associato alla diminuzione della copertura e della densità.

# Conclusioni

- Valutare lo stadio di sviluppo attuale in base all'intensità di competizione (*approccio statico*).
- Caratterizzare obiettivi selvicolturali e confrontare alternative gestionali.
- Prevedere l'evoluzione futura e la risposta a disturbi naturali o antropici (*approccio dinamico*).
- Rapida applicabilità anche in campo, per uno o più popolamenti simultaneamente (*landscape mosaic*).

# Conclusioni

## Limiti e sviluppo futuro della ricerca:

- ❑ Disponibilità di inventari adeguati per un migliore adattamento statistico dei modelli allometrici.
- ❑ *Suitability zones* associate alle funzioni del bosco che si intendono perseguire; *sensitivity zones* associate ai disturbi naturali.
- ❑ Influenza dei regimi di disturbo sulle relazioni allometriche e di autodiradamento.
- ❑ Applicazione ad altre specie e a popolamenti nusti, disetanei o irregolari.

# ***Competition at the stand and tree scale in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests of Northwestern Italy***

Vacchiano G, Lingua E, Motta R (2006), *Pinus sylvestris* L forests in western Italian Alps: competition dynamics and canopy structure, in: Proceedings: Society of American Foresters 2005 National Convention. October 19-23, 2005, Fort Worth, TX [published on CD\_ROM, Bethesda MD, Society of American Foresters].

Relative density and competitive dynamics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests in western Italian Alps

Giorgio Vacchiano\*, Department of Agronomy, Silviculture and Land Management, University of Turin, Torino (Italy); Email: giorgio.vacchiano@unito.it  
Emanuele Lingua, Department of Land and Agro-Forest Systems, University of Padua, Padova (Italy)  
Fabio Motta, Department of Agronomy, Silviculture and Land Management, University of Turin, Torino (Italy)  
Renzo Motta, Department of Agronomy, Silviculture and Land Management, University of Turin, Torino (Italy).

\*corresponding author.

Acknowledgements: A. Battiston, S. Bernard, R. Berretti, D. Deminno, C. Ronelli, C. Sappone for field work; J. DeRose, J. Long, J. Shaw for advising and reviewing the paper. This study is a part of the EU-INTERREG project "ITA: The forests of the alpine valleys", with the co-financing of Regione Piemonte, Regione Autonoma Valle d'Aosta, Fondazione CRT and the collaboration of IPLA S.p.A.

Abstract: Forest stands with a major Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) component occupy more than 20,000 hectares in the western Italian Alps. The aim of this research is to analyse the intensity of competition for available resources and to describe past and actual dynamics of Scots pine stands. Data from a regional forest inventory provided the basis for the description of maximum achievable competition by means of Pinus's Stand Density Index. At a stand scale, tree data from three 0.5-ha permanent plots were analysed to study ongoing self-thinning dynamics by means of relative density competition and characterisation of live and dead tree size distributions.

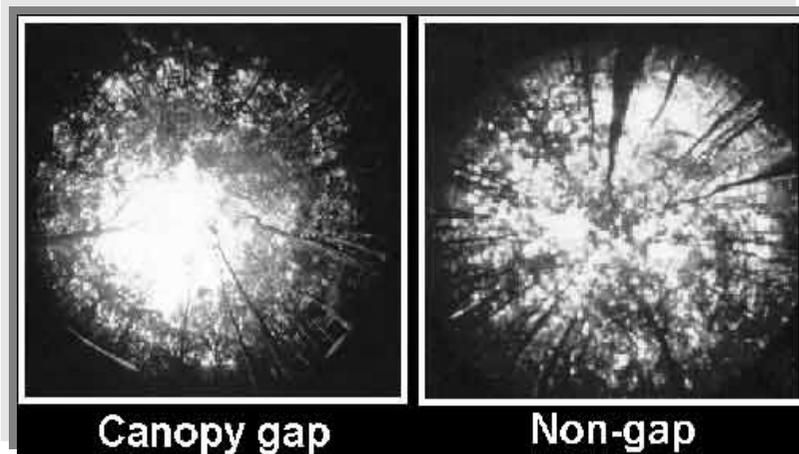
Keywords: *Pinus sylvestris* L., Competition, Self-thinning, Stand Density Index, Relative density.

# Introduzione

## Approccio all'analisi della competizione:

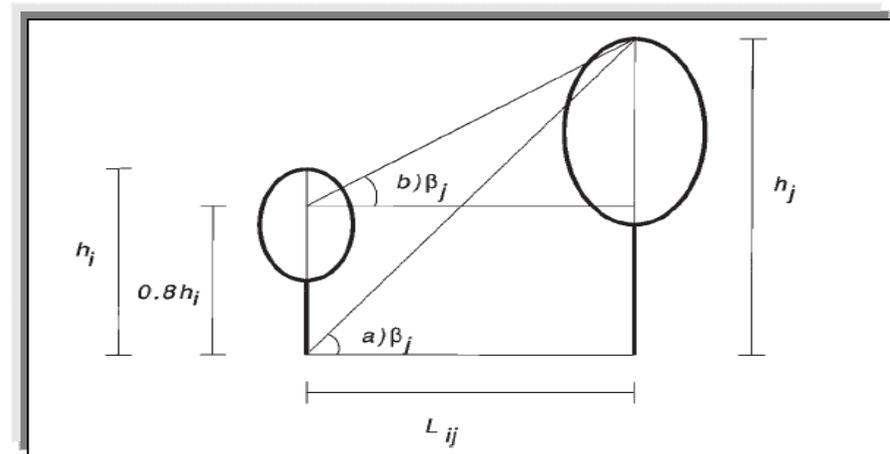
### *Process-based*

Effetti sulla distribuzione della risorsa; risposta alla sua alterata disponibilità.



### *Empirico (INDICI DI COMP.)*

Relazione tra accrescimento e dimensione, densità, posizione dei competitori.



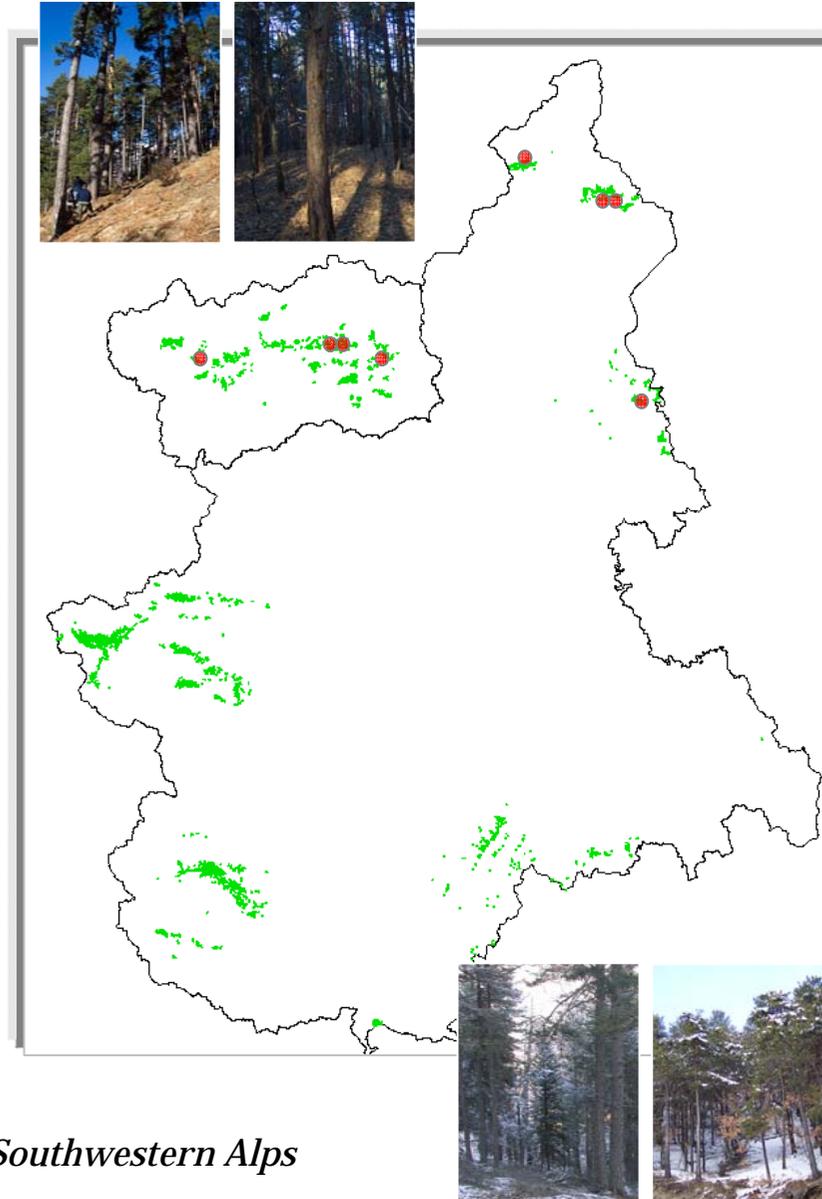
# Obiettivi

- a) Quantificare l'intensità di competizione in popolamenti di pino silvestre con differenti caratteri stazionali, regime di disturbo e storia passata.
- b) Ricostruire la storia del popolamento e la modalità di insediamento.
- c) Analizzare l'effetto della competizione attuale su accrescimento e mortalità individuale.
- d) Individuare l'indice di competizione più efficace in vista della sua applicazione in un modello di simulazione.

# Metodi

**8 aree permanenti (70x70 m) rappresentative dei tipi for. principali.**

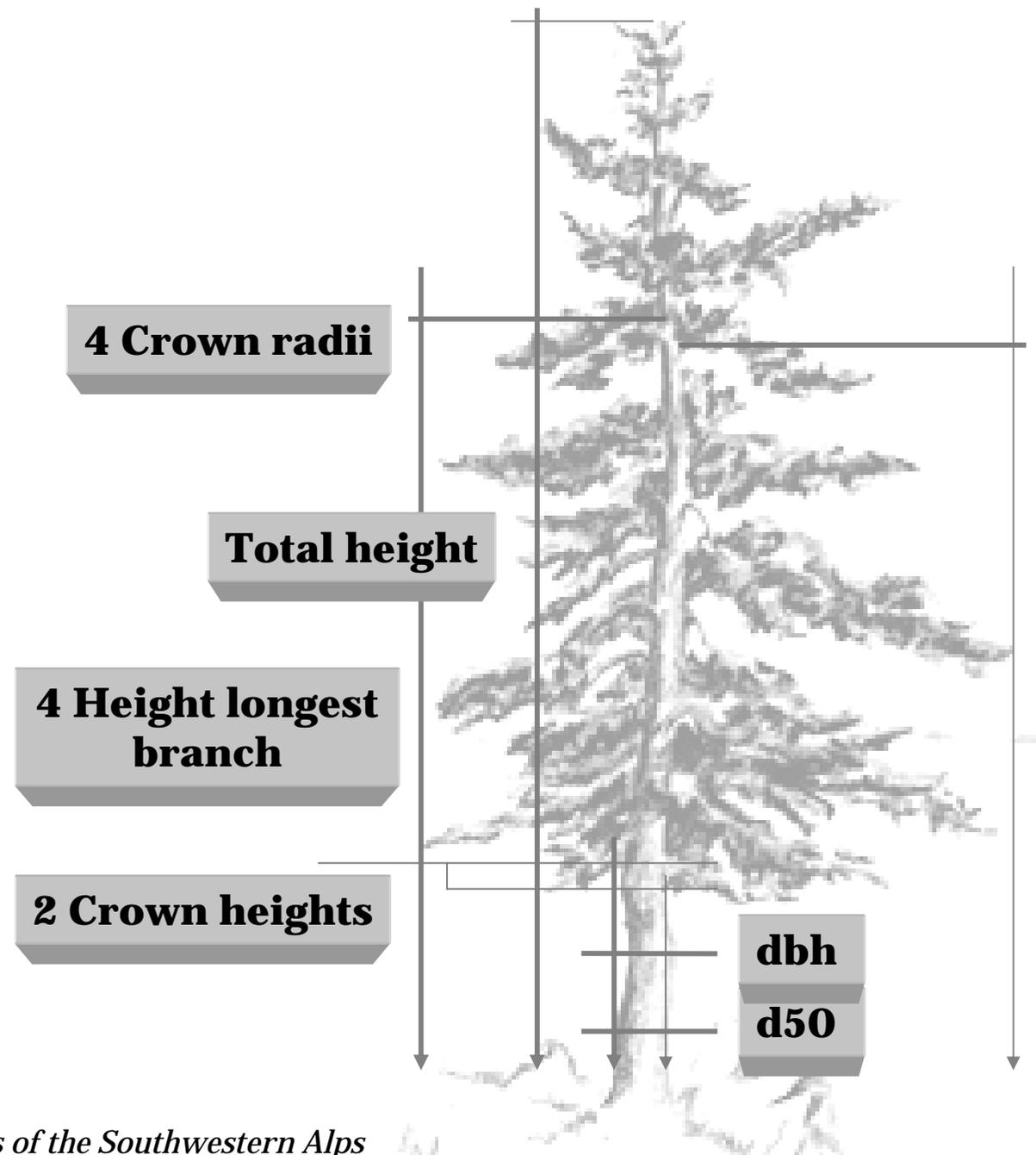
	<i>Location</i>	<i>UTM</i>	<i>Elevation [m]</i>	<i>Slope</i>	<i>Aspect</i>	<i>Age</i>
1	Challand St. Anselme (AO)	5062482 N 402270 E	1116	40%	W	90
2	St. Denis (AO)	5068071 N 387870 E	985	62%	SW	30
3	St. Denis (AO)	5068444 N 389978 E	1350	34%	SW	125
4	Morgox (AO)	5069859 N 344753 E	1091	77%	S	90
5	Borgo Ticino (NO)	5060489 N 467254 E	320	flat	-	100
6	S. Maria Maggiore (VB)	5110657 N 457763 E	1050	40%	E	45
7	Toceno (VB)	5110964 N 458567 E	1050	80%	W	90- 130
8	Trasquera (VB)	5118744 N 439503 E	1247	30%	SE	100 300



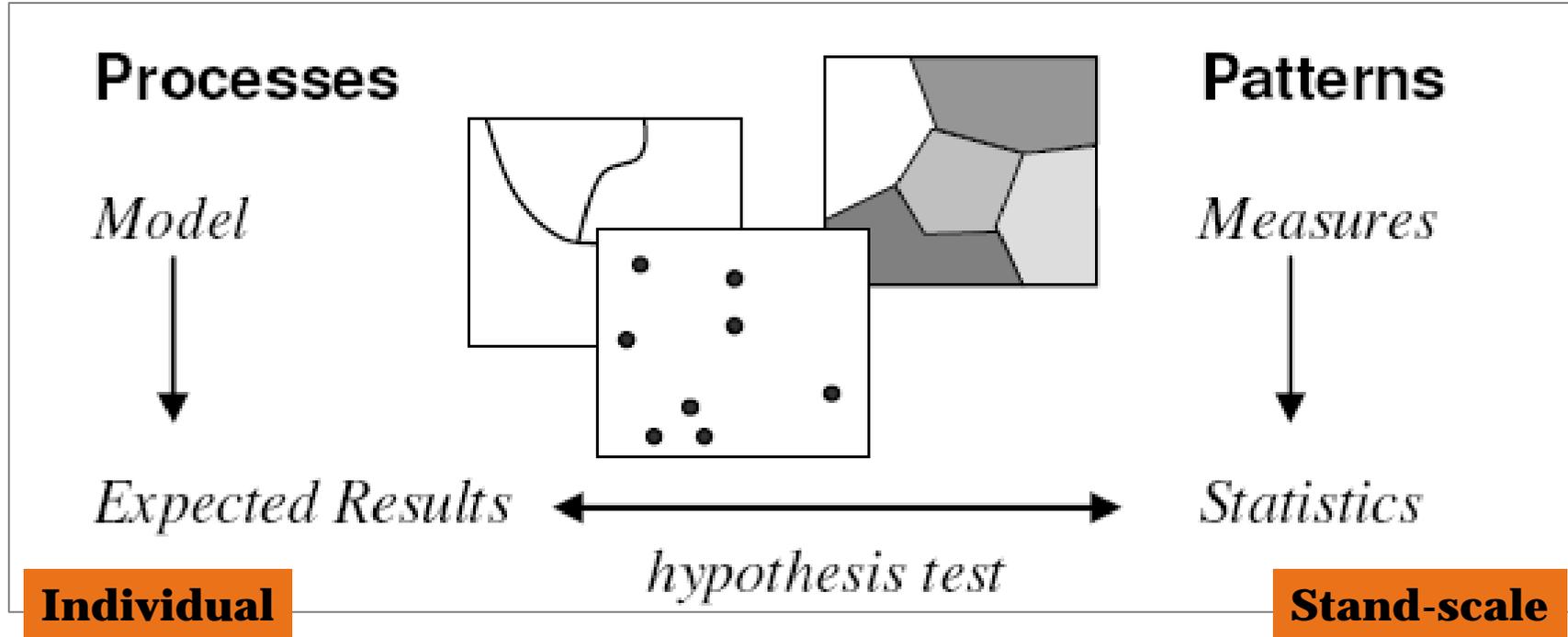
*Modeling stand dynamics in Scots pine forests of the Southwestern Alps*

# Metodi

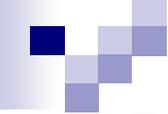
- Standing live and dead trees (dbh > 2.5 cm), stumps and logs (base diameter > 10 cm)
- x,y coordinates
- Origin, decay class 1-5 for cwd (Motta et al., 2006).
- 7300 points sampled and stored in ArGIS 8.3.



# Metodi



**Is the observed pattern a likely realization of the hypothesized process?**



# Metodi

## A scala di popolamento:

### ***Intensità di competizione***

SDI relativo (Reineke, 1933).

### ***Effetto, risposta alla comp.***

asimmetria dimensionale,  
spatial point pattern,  
autocorrelazione dell'età.

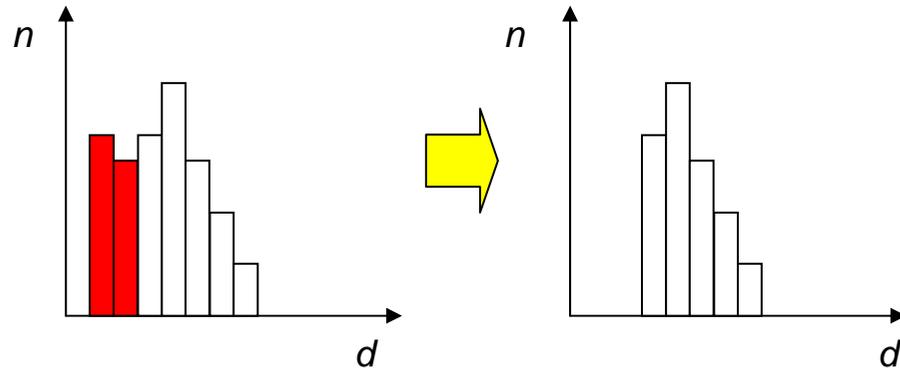
## A scala individuale:

### ***Importanza della competizione***

Relazione tra indici di  
competizione individuali e  
incremento periodico di area  
basimetrica.

# Metodi

## Size asymmetry



*Gini coefficient of inequality (Weiner, 1990)*

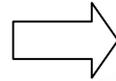
$$G = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |d_i - d_j|}{2n(n-1) \cdot d_{medio}}$$

L'asimmetria della distribuzione dei diametri è modificata prima dalla soppressione, quindi dalla mortalità indotta dalla competizione.

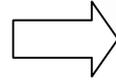
# Metodi

Distribuzione spaziale degli individui e della necromassa.

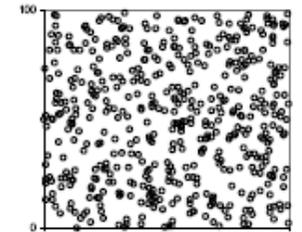
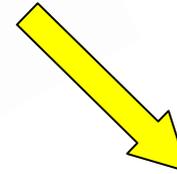
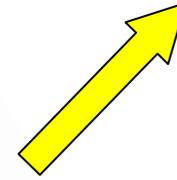
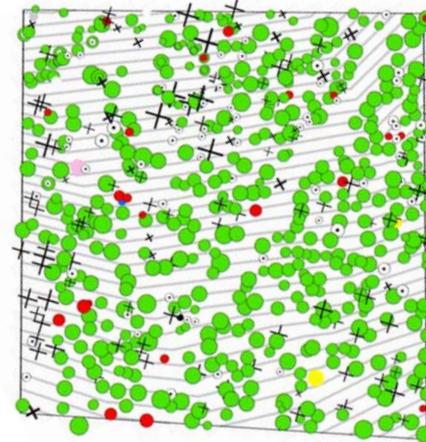
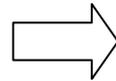
**Insediamiento e sviluppo  
della rinnovazione**



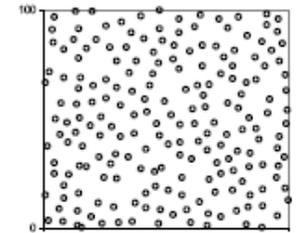
**Mortalità da competizione**



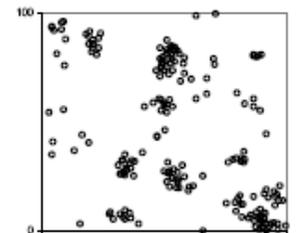
**Mortalità per altre cause  
(disturbi)**



*Casuale*



*Regolare*



*Aggregata*

# Metodi

*Monovariata (Ripley's  $K$ ):*

Distribuzione dei fusti di pino e della necromassa  
(ipotesi: regolarizzazione della struttura da  
competizione).

*Bivariata (Ripley's  $K_{12}$ ):*

Distribuzione delle altre specie in funzione dei  
fusti di pino

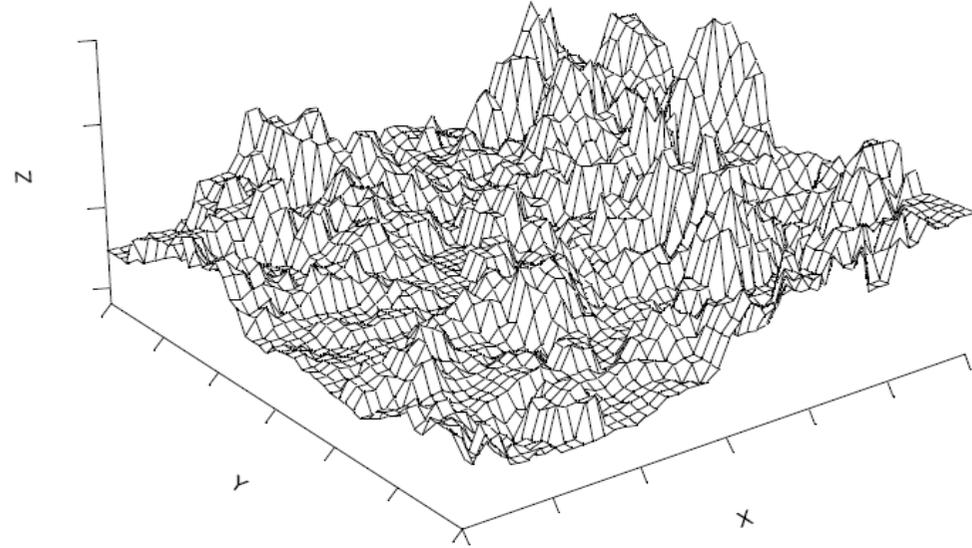
(ipotesi: specie pioniere e definitive, dinamiche  
successionali).

0-20 m  
Edge correction  
Crimestat III

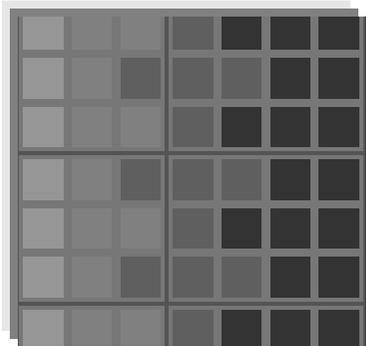
# Metodi

*Autocorrelazione spaziale  
(Moran's I):*

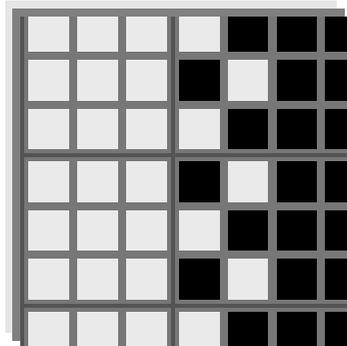
Grado di associazione di  
una variabile-intensità (età,  
dbh) a distanze crescenti.



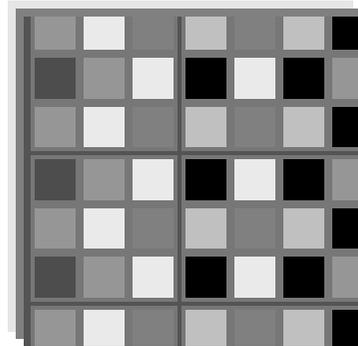
$I = +1$



$I = -1$



$I = 0$

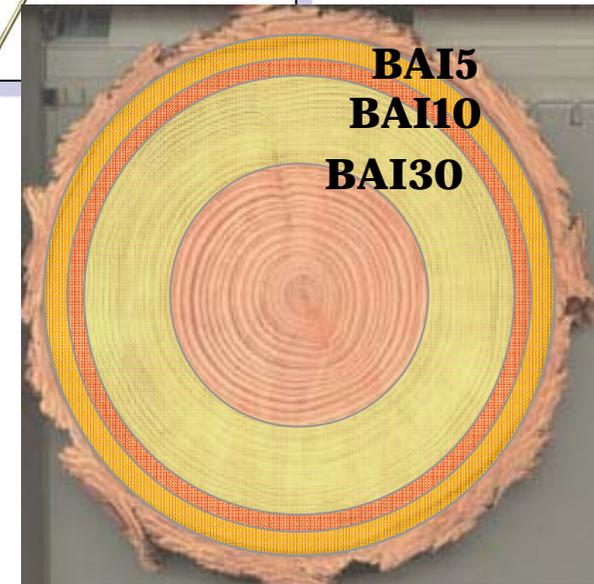


0-20 m  
Isotropia direzionale  
RookCase for MS-Excel

# Metodi

Prelievo di campioni incrementali da due subplot (50x50 m).

- altezza di prelievo: 50 cm
- soglia diametrica 7.5 cm
- preparazione dei campioni e lettura degli incrementi [0.01 mm]
- *cross-dating* ove possibile



$$BAI = \pi \left[ D\Delta r - (\Delta r)^2 \right]$$

# Metodi

Index	Source	Variables	Equation
Daniels	Daniels <i>et al.</i> (1986)	Dbh	$\frac{D_i^2 \cdot n}{\sum_{j=1}^n D_j^2}$
Hegy	Hegy (1974)	Distance, dbh	$\sum_{j=1}^n \frac{D_j / D_i}{(L_{ij} + 1)}$
R.K. <sub>1</sub>	Rouvinen and Kuuluvainen (1997)	Distance, dbh	$\sum_{j=1}^n \frac{D_j / D_i}{L_{ij}^2}$
R.K. <sub>2</sub>	Rouvinen and Kuuluvainen (1997)	Distance, dbh	$\sum_{j=1}^n \frac{(D_j / D_i)^2}{L_{ij}}$
P.K.	Pukkala and Kolström (1987)	Distance, height	$\sum_{j=1}^n \arctan \frac{(H_j - H_i)}{L_{ij}}$
CCS	Alvarez <i>et al.</i> (2003)	Distance, crown area <sup>1</sup>	$\sum_{j=1}^n \frac{A_j}{A_i \cdot L_{ij}}$
CAI	Castagneri <i>et al.</i> (2007)	Distance, crown area, height	$\sum_{j=1}^n \frac{\left( \frac{A_j \cdot H_j}{A_i \cdot H_i} \right)^2}{L_{ij}}$

■ variabili ritenute influenti ai fini dei rapporti competitivi

■ dipendenti o meno dalla distanza

■ misure effettuate alla fine del periodo di modellizzazione (!)

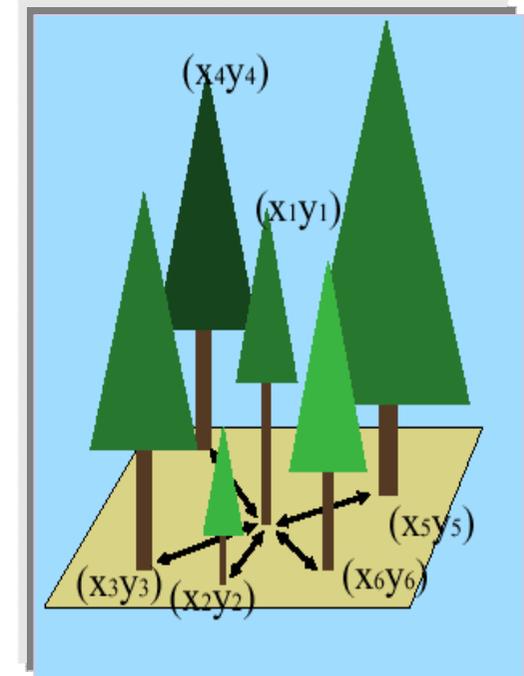
# Metodi

Selezione dei competitori:

1. Distanza fissa (5m, 10m)
2. Dipendente dalla zona di influenza del soggetto: estensione massima della chioma.



OGT =  $f(h)$ , da Hasenauer (1997)



# Metodi

$$\ln BAI_{periodic} = a_0 + a_1 \ln dbh + bCI$$

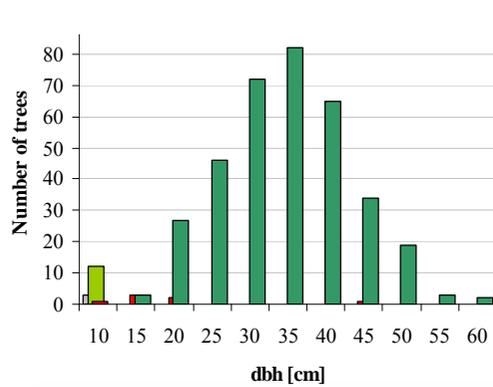
Potenziale biologico

Interazione  
negativa

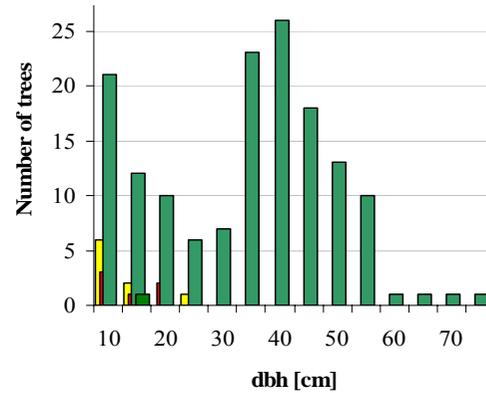
- Regressione non lineare *stepwise*
- Parametrizzazione separata per ciascuno deisiti indagati (non sono necessarie variabili stazionali).
- $\beta$ : intensità di competizione;  $R^2_{adj}$ : importanza.

# Risultati

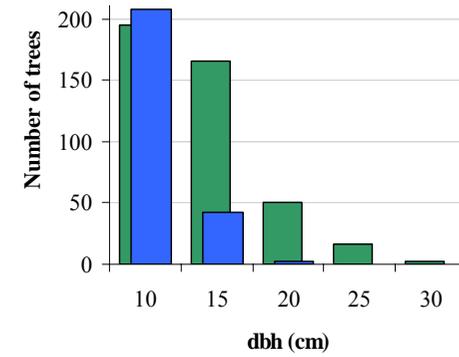
## Distribuzione diametrica coetaneiforme, bimodale o disetaneiforme.



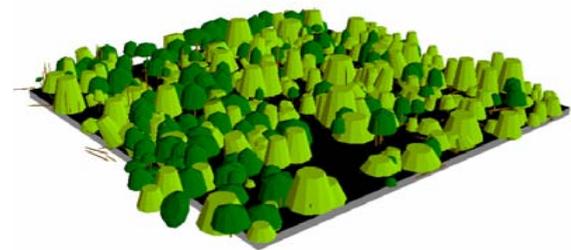
Toceno



Trasquera



St. Denis I

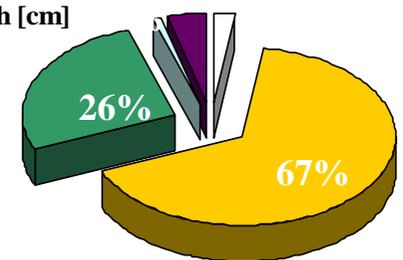
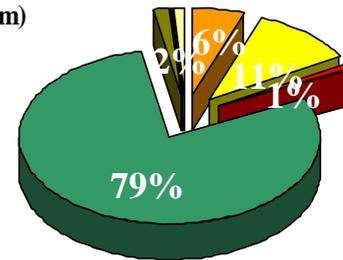
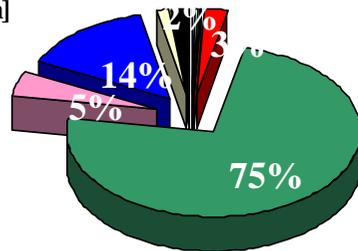
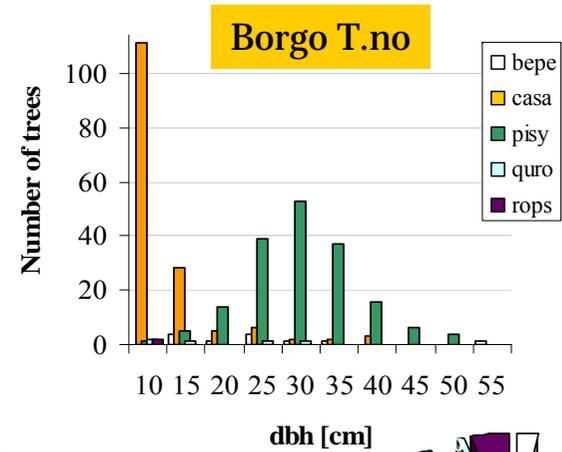
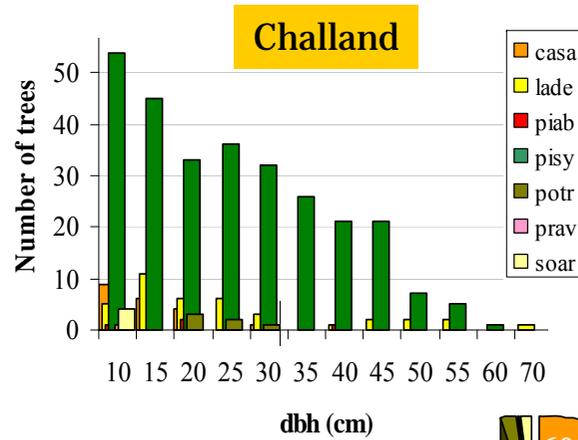
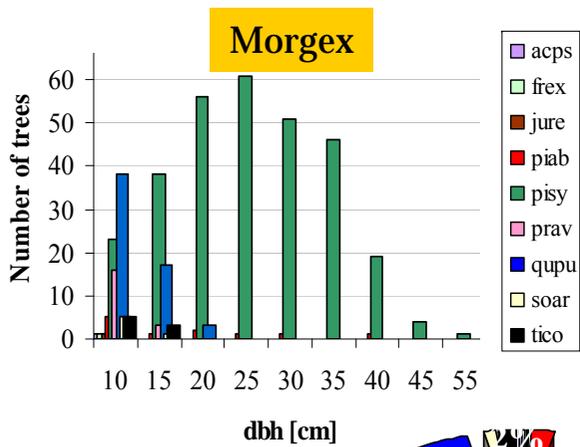


# Risultati

- Mortalità naturale: 1-26% nell'ultimo anno.
- La distribuzione della mortalità nelle classi diametriche segue quella del popolamento in alcuni casi, in altri è concentrata sui diametri minori.
- Influenza antropica: da trascurabile a significativa (% di ceppaie da utilizzazione).

# Risultati

**Latifoglie:** componente dinamica, specie a temperamento differente ma sempre a struttura disetaneiforme.



# Risultati

## BIVARIATE PATTERN

<i>Site</i>	<i>Interaction</i>	<i>t [m]</i>											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Challand</b>	PS-Broadleaved		-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
<b>St.Denis I</b>	PS-Downy oak	+	+			+	+	+	+	+	+	+	
<b>Morgex</b>	PS-Downy oak												
<b>Borgo Ticino</b>	PS-Chestnut	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Toceno</b>	PS-Late seral											+	+

Effetto del temperamento e della storia del popolamento.

# Risultati

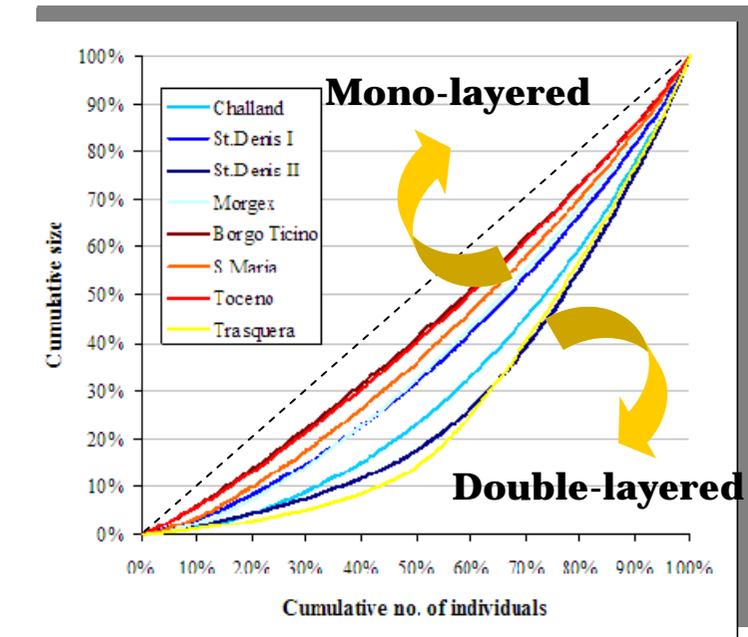
## Interazione tra storia dell'uso del suolo e mortalità.



# Risultati

## Asimmetria dimensionale: ruolo della fase evolutiva e delle latifoglie.

Plot	GC All trees	GC Scots pine	GC Other species
Challand	0.39	0.37	0.34 ( <i>Larix d.</i> )
St.Denis (lower)	0.29	0.25	0.25 ( <i>Quercus pub.</i> )
St.Denis (upper)	0.43	0.43	-
Morgex	0.38	0.29	0.25 ( <i>Quercus pub.</i> )
Borgo Ticino	0.47	0.13	0.34 ( <i>Castanea s.</i> )
S.Maria	0.22	0.20	-
Toceno	0.21	0.14	-
Trasquera	0.48	0.44	0.34 ( <i>Larix d.</i> )



# Risultati

## UNIVARIATE PATTERN (live Scots pine)

Site	<i>t</i> [m]																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
<b>Challand</b>	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<b>St.Denis I</b>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<b>St.Denis II</b>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
<b>Morgex</b>	+	+	+																		
<b>Borgo Ticino</b>																			+	+	+
<b>S.Maria</b>	●	●	●																		
<b>Toceno</b>	●	●	●	●																	
<b>Trasquera</b>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	

Clumped snags 1-20 m

Clumped snags 2-9 m

Clumped snags 1-12 m

**Density-independent disturbances**

**Relative density above self-thinning limit**

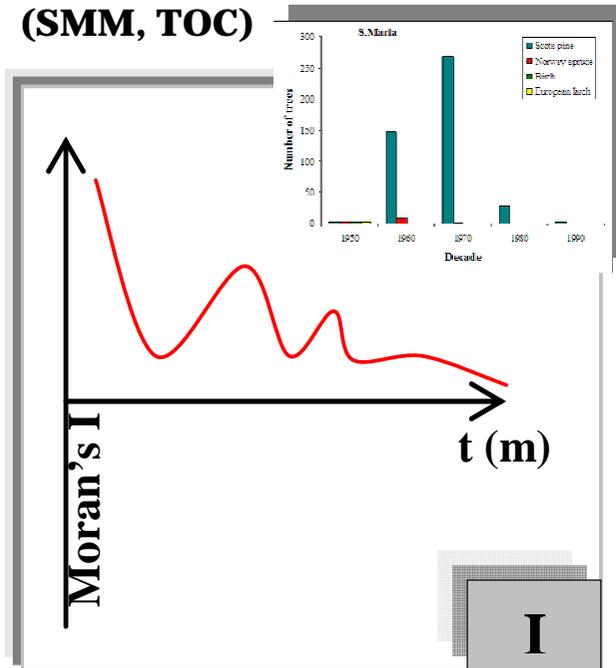
Significatività: 95%

L'autodiradamento regolarizza il pattern.

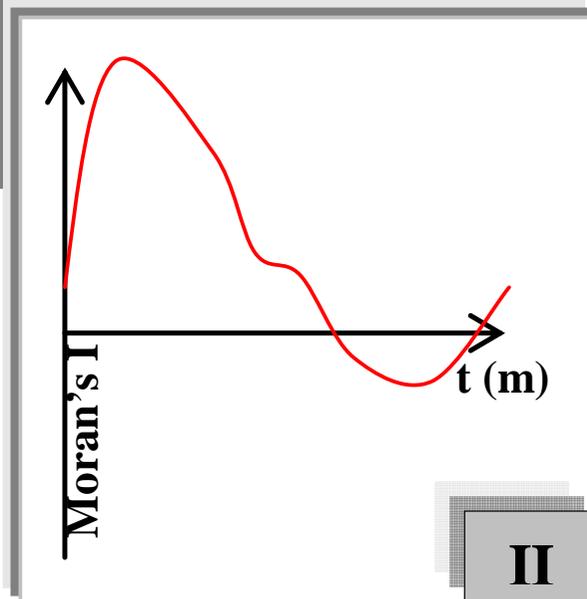
# Risultati

L'autocorrelazione spaziale dell'età (diametro) evidenzia la modalità di rinnovazione.

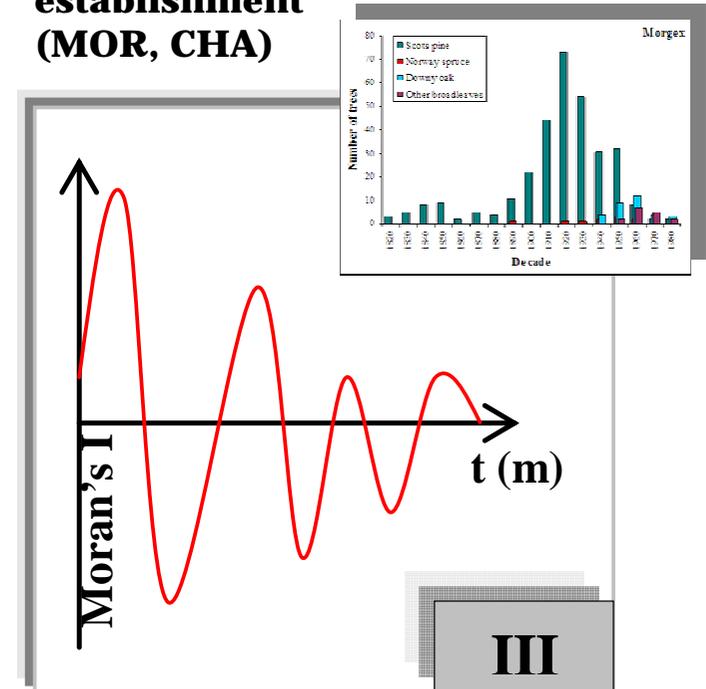
**Secondary invasion of non-forested land (SMM, TOC)**



**Gap-related seedling patches (STDII, TRAS)**



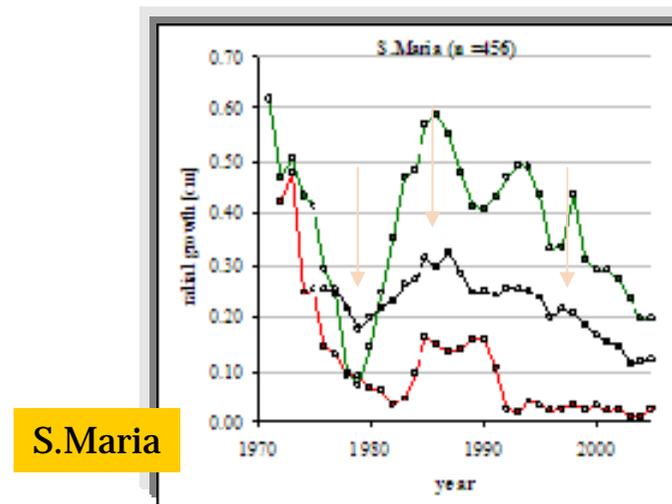
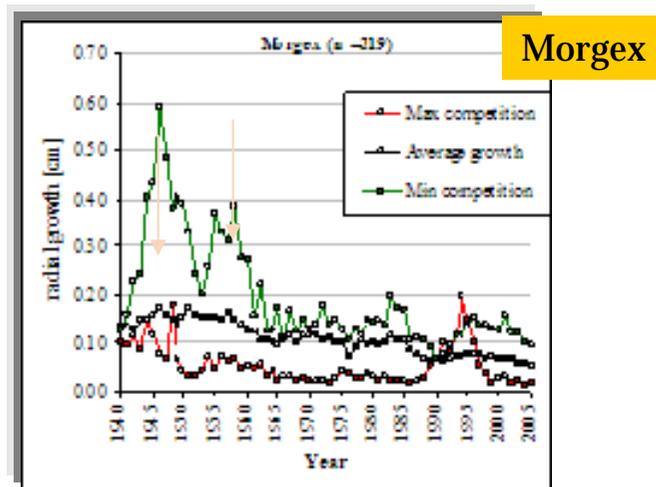
**Small-scale heterogeneous establishment (MOR, CHA)**



# Risultati

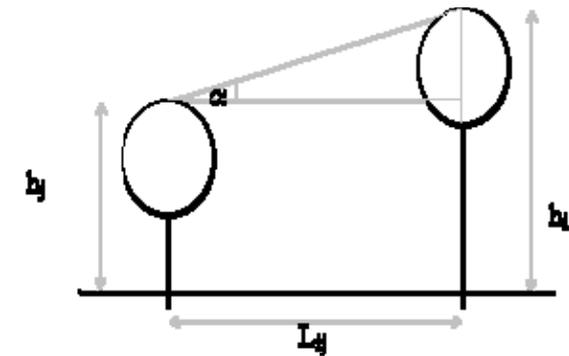
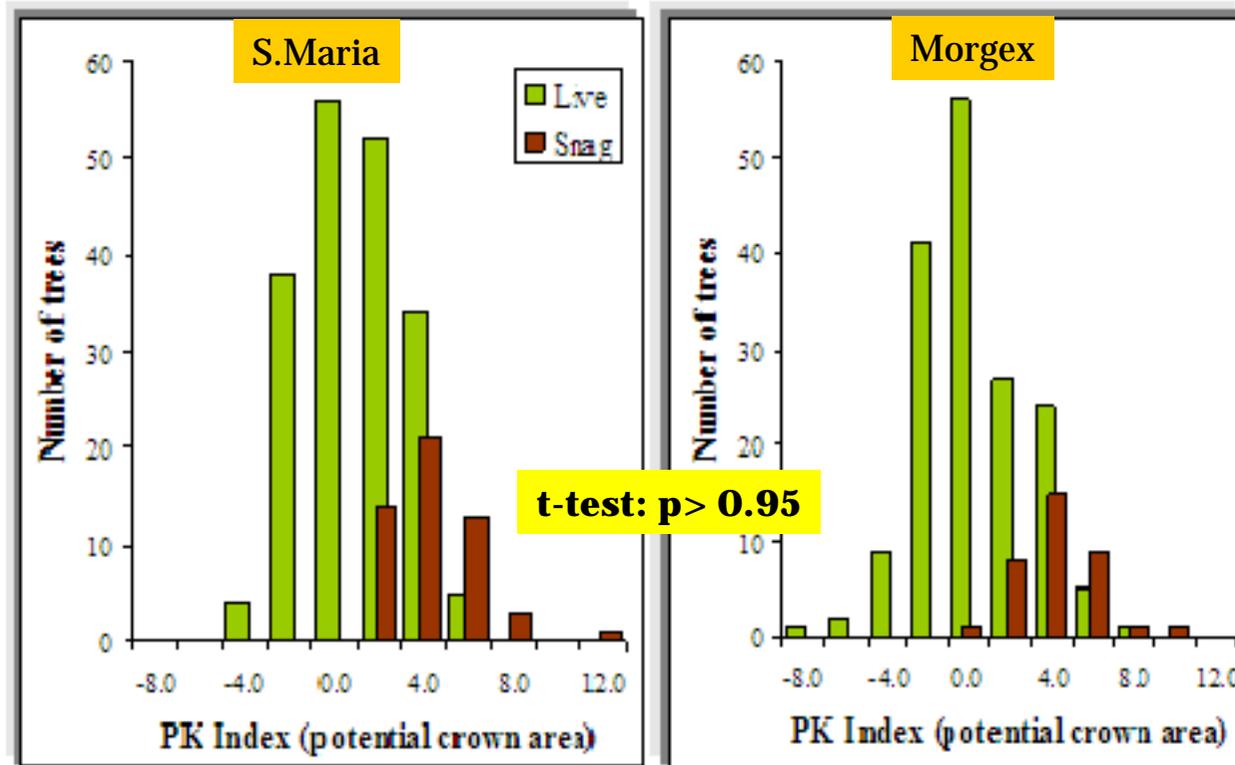
## Analisi dendrocronologica:

- 358 alberi soggetto di tutte le classi di età/dbh
- BAI variabili entro due ordini di grandezza
- Incrementi più sostenuti a SMM, più variabili (nel tempo e nello spazio) a MOR



# Risultati

Indici di competizione individuali e mortalità.



competition

# Risultati

Importanza: inv. proporzionale alle limitazioni stazionali.

Intensità: localmente elevata nel popolam. più eterogeneo.

## Popolamento regolare

Competizione per la luce



Interferenza di chioma (*CCS*)



Media distanza (10m)

## Popolamento a gruppi

Competizione epigea+ipogea



Rapporti di dominanza (*PK*)



Breve distanza (5m)

## Discussione

- Ruolo della distanza: significativo (*Daniels CI*) ma meno influente dei rapporti di dominanza/soppressione entro la zona di influenza individuata.
- Il diametro è il miglior predittore dell'accrescimento individuale (incorpora la competizione passata).

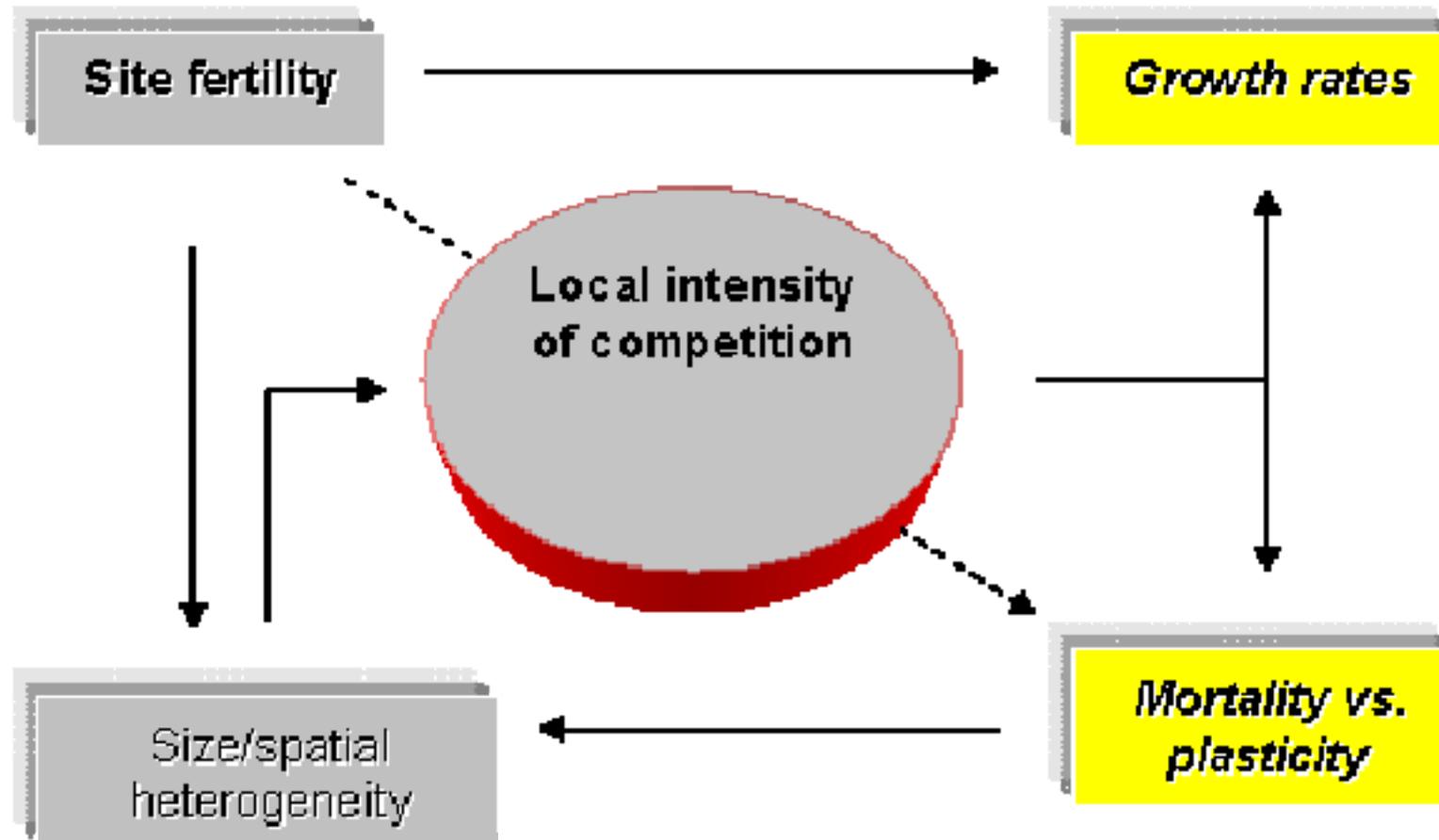
# Discussione

Densità relativa → importanza.

Discrepanza tra intensità di competizione e mortalità:

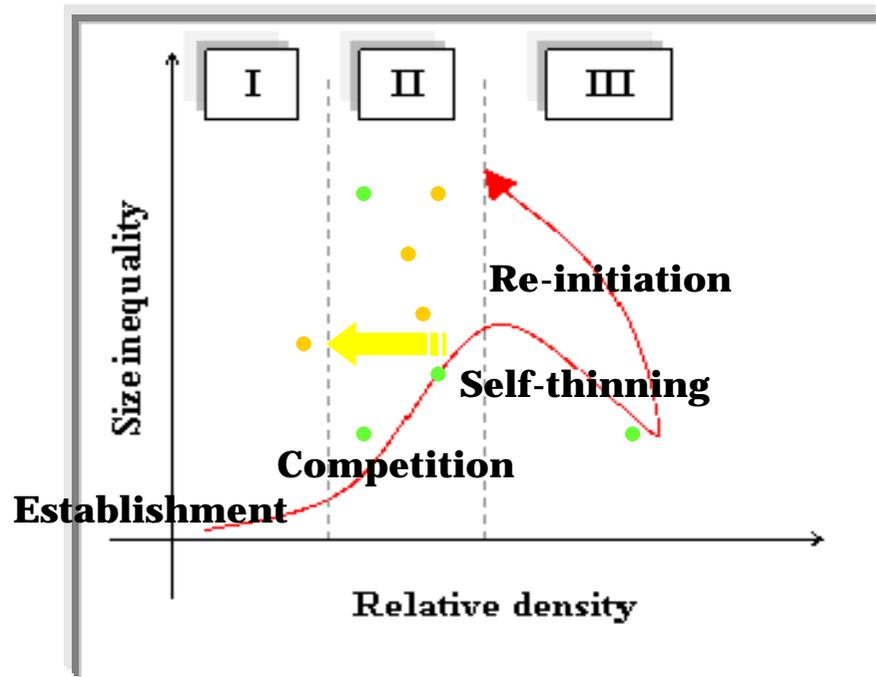
Una competizione locale più intensa in ambiente limitante può suscitare una risposta plastica anziché mortalità immediata?

# Discussione



# Discussione

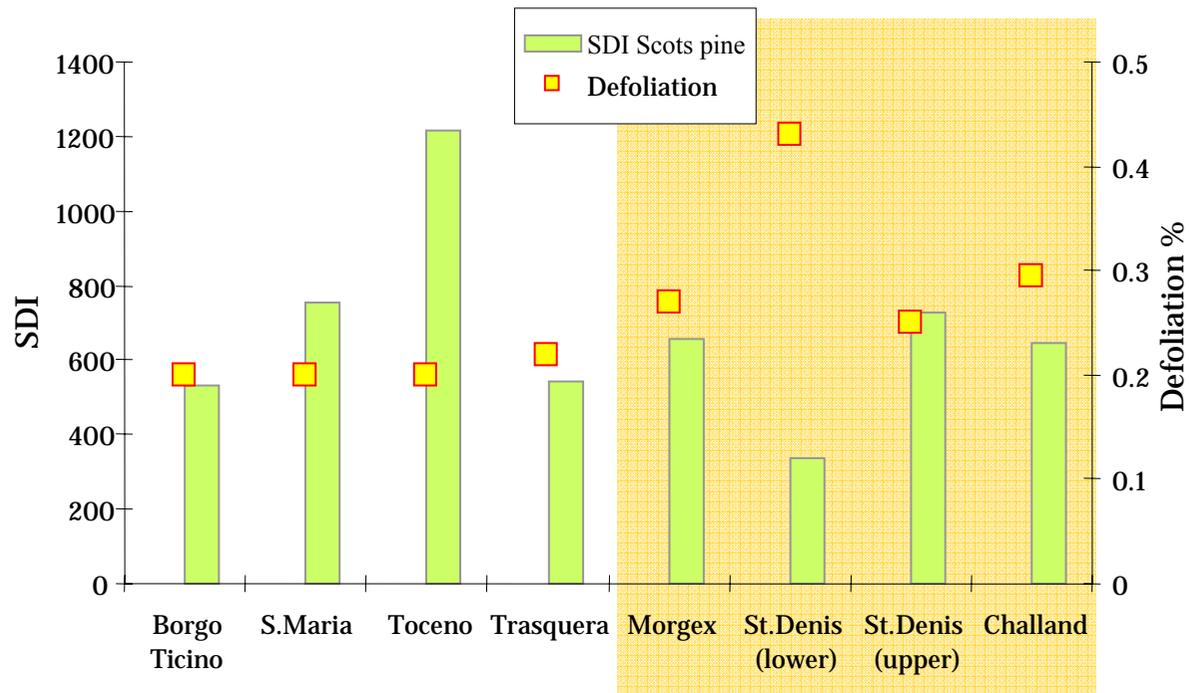
La competizione per la luce (asimmetrica) è responsabile dell'autodiradamento.



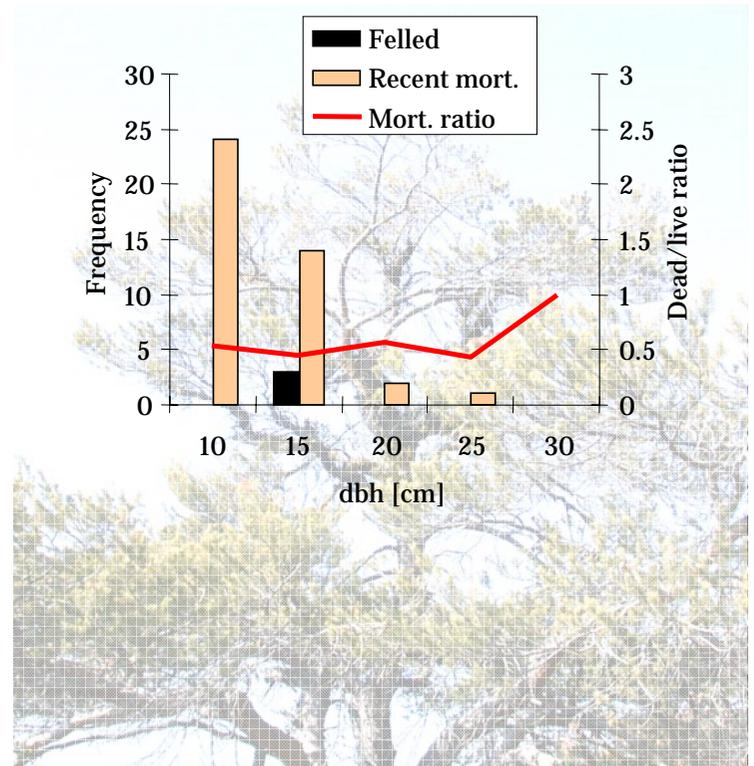
*Suchecki (1947): self-thinning in Scots pine of central Europe begins at 30-40 years (sooner on poorer sites) and peaks at 40-50 years.*

# Discussione

## Fattori di regolazione indipendenti dalla densità.



Fonte: Dobbertin, unpublished



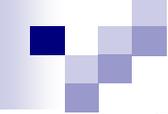
# Conclusioni

*Qual è l'indice di competizione più efficace?*

- Struttura e tessitura del popolamento
- Tipo di risorsa limitante
- Includere variabili che esprimano i rapporti di dominanza e la modalità di competizione in corso.



**modelli di accrescimento  
specie-specifici.**



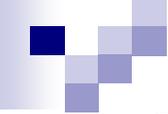
# Conclusioni

## Analisi a scala di popolamento (& documentali):

Interazioni tra *pattern* e *process* (storia dell'uso del suolo, disturbi esogeni, competizione endogena).

## Analisi individuali:

Componenti della competizione (intensità, importanza, modalità, effetto).



# Conclusioni

Sviluppi della ricerca:

- Dinamiche successionali pino-roverella (*resource-based*).
- Modelli allometrici per il pino s. (4000 alberi modello).
- Relazione tra competizione e deperimento a scala di individuo e di popolamento (es. *pattern* di trasparenza delle chiome e CI).

**NB: network di aree monitoraggio a lungo periodo.**



# ***Testing suitability and calibration power of an individual-based, spatially independent stand growth model***

Shaw JD, Vacchiano G, DeRose RJ, Brough A, Kusback A, Long JN (2006), Local Calibration of the Forest Vegetation Simulator (FVS) Using Custom Inventory Data, in: Proceedings: Society of American Foresters 2006 National Convention. October 25-29, 2006, Pittsburgh, PA. [published on CD-ROM, Bethesda MD, Society of American Foresters]

Local Calibration of the Forest Vegetation Simulator (FVS)  
Using Custom Inventory Data

John D Shaw, Rocky Mountain Research Station, Ogden, UT (jshaw@fs.fed.us);  
George Vacchiano, Università di Torino, Dip. AgroSilvTic, Torino, Italy; R. Justin  
DeRose, Agra Brough, James Kusback, and James N. Long, Utah State University,  
Department of Wildland Resources, Logan, UT

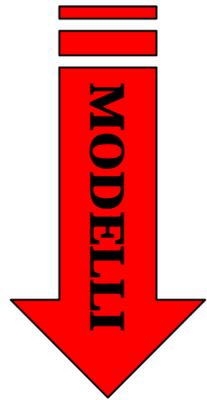


Citation: Shaw, J.D., G. Vacchiano, R.J. DeRose, A. Brough, A. Kusback, and J.N. Long.  
2006. Local calibration of the Forest Vegetation Simulator (FVS) using custom inventory  
data. Proceedings: Society of American Foresters 2006 National Convention, October 25-  
29, 2006, Pittsburgh, PA. [published on CD-ROM]: Society of American Foresters,  
Bethesda, MD.

# Introduzione

Inventari forestali

Misure individuali

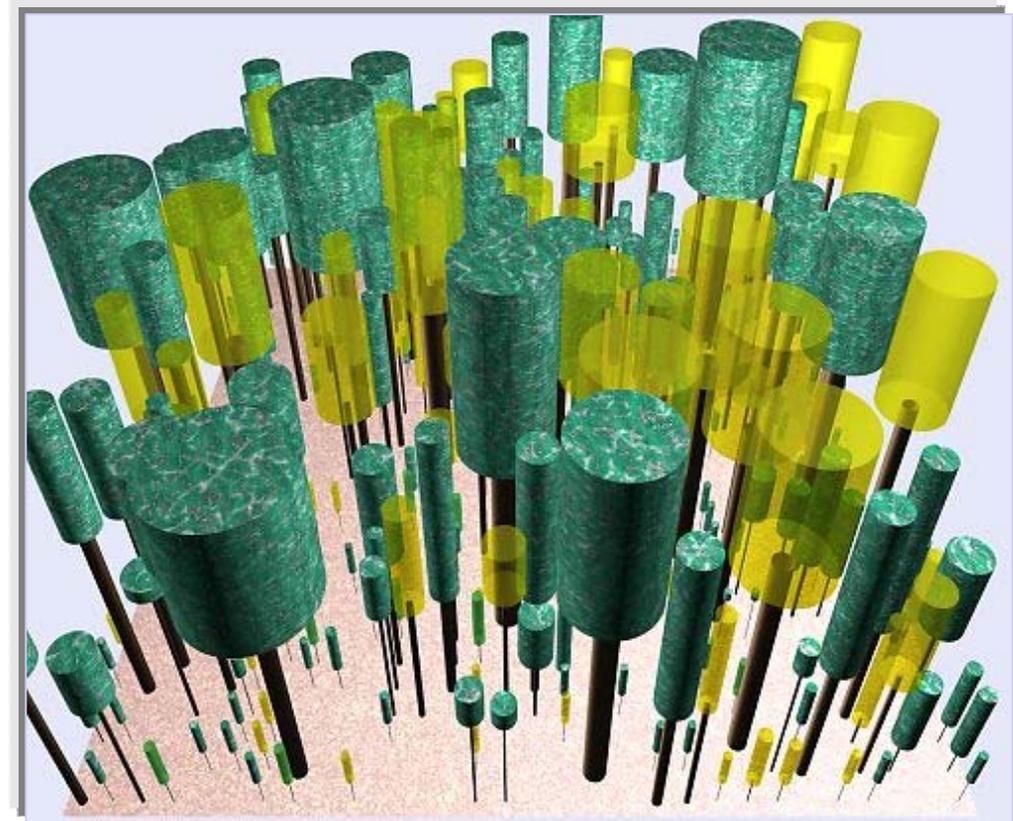


*Pattern*  
*Interazioni*

Previsione

**Funzioni**

**Gestione sostenibile**



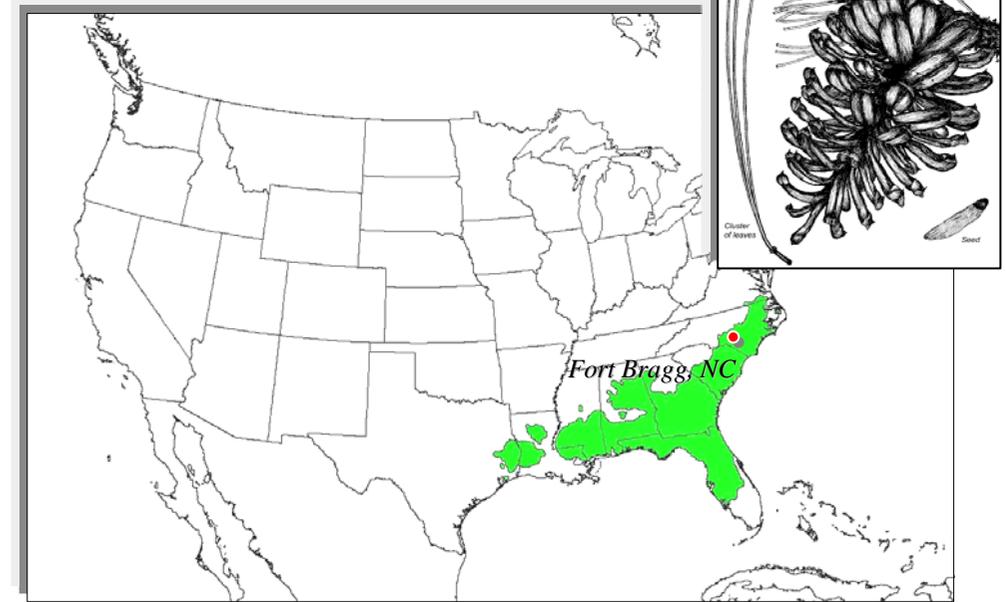
# Introduzione

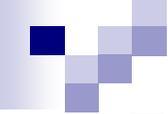
*Pinus palustris* Mill.  
Fort Bragg: 29.000 ha



*Picoides borealis*  
(Vieillot, 1809)

NC Nat. Wildlife Refuge





# Introduzione

1990: primo inventario forestale (valutazione dell'habitat) con previsione di accrescimento.

Problema:

*I modelli utilizzati sono affetti da sovrastima della provvigione e della sensibilità.*

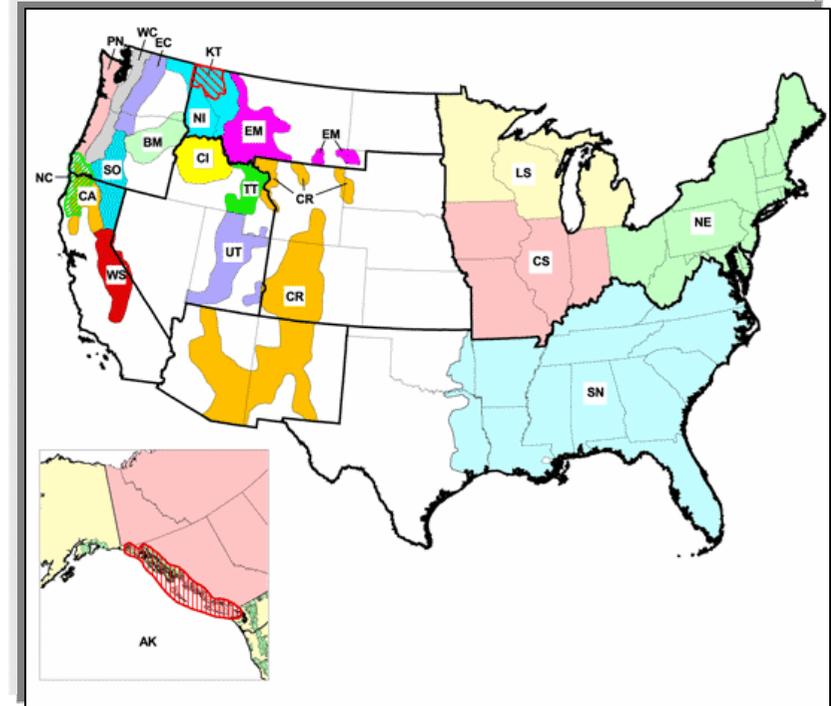
# Introduzione

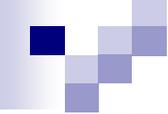
## ***FOREST VEGETATION SIMULATOR:***

A family of growth and yield computer models. It forecasts future stand conditions based on the expected growth and mortality of individual trees within a stand.

## ***22 geographic variants***

*Southern Variant (2001):* 13 stati, modelli specie-specifici talvolta localizzati per tipo forestale o regione geografica.





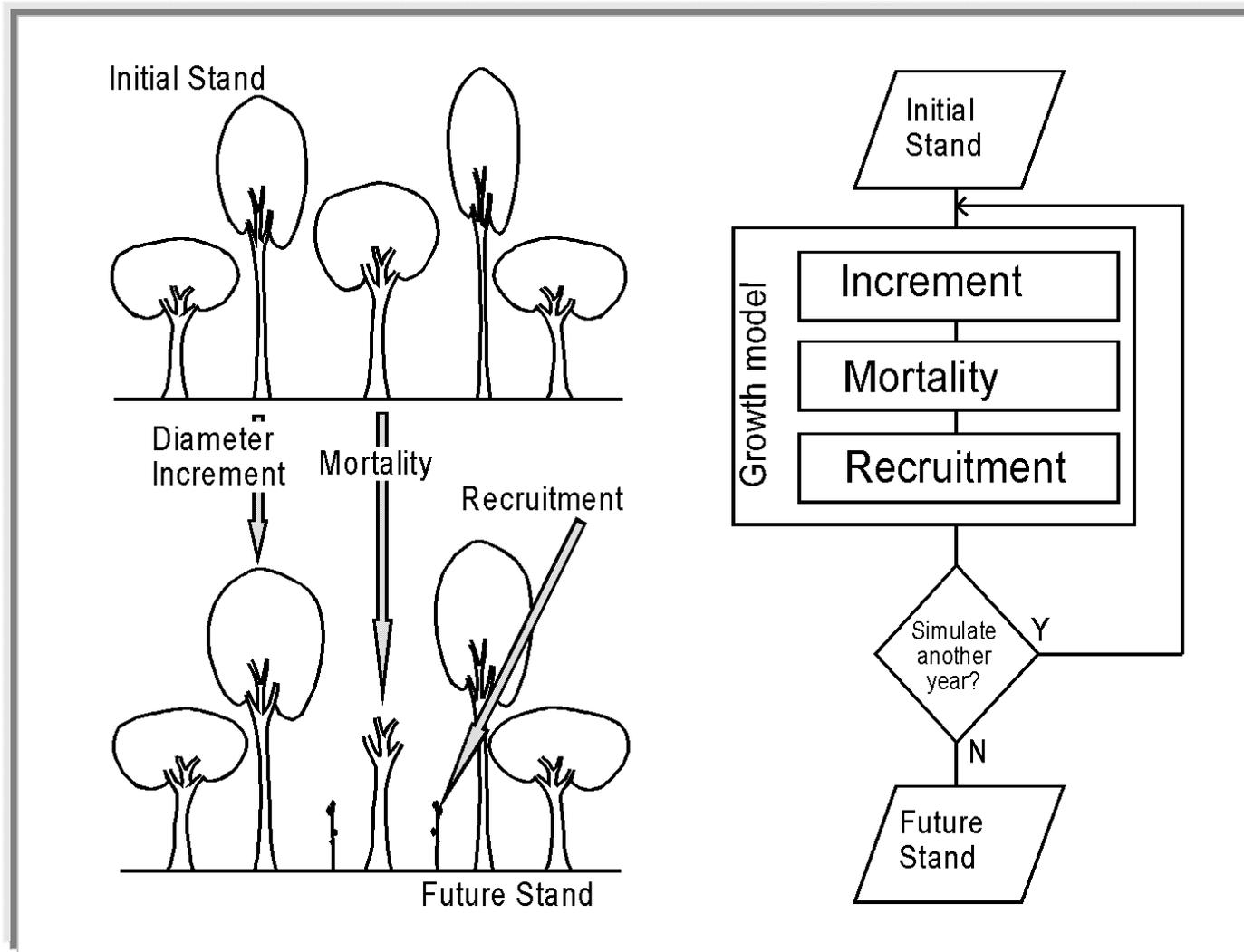
# Introduzione

Secondo inventario nel 2000, inclusivo di variabili utili alla calibrazione di FVS.

## Obiettivo:

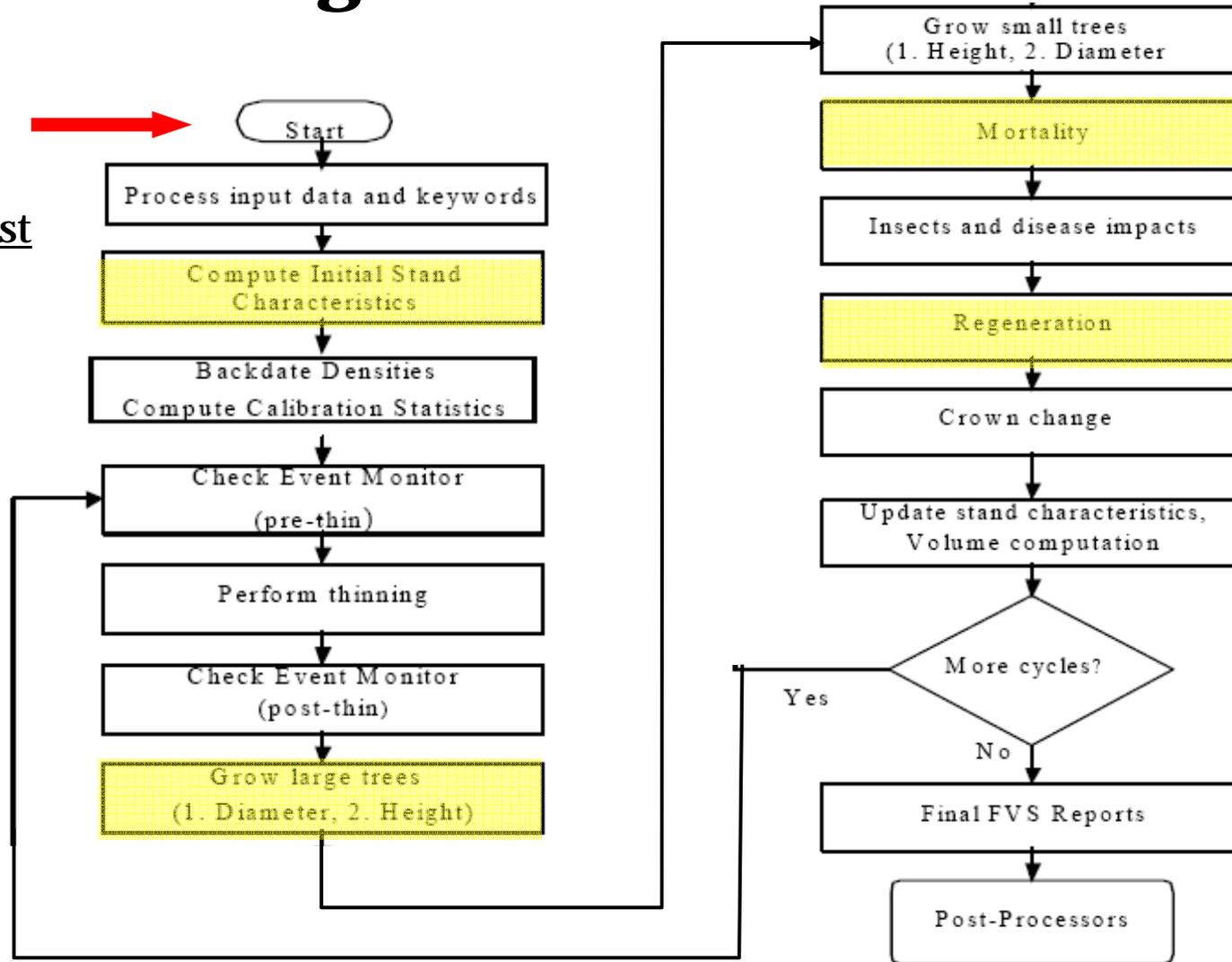
sviluppare una variante locale di FVS,  
calibrata sui dati di inventario disponibili a  
Fort Bragg.

# Forest Vegetation Simulator



# Forest vegetation simulator

.loc  
.key  
treelist

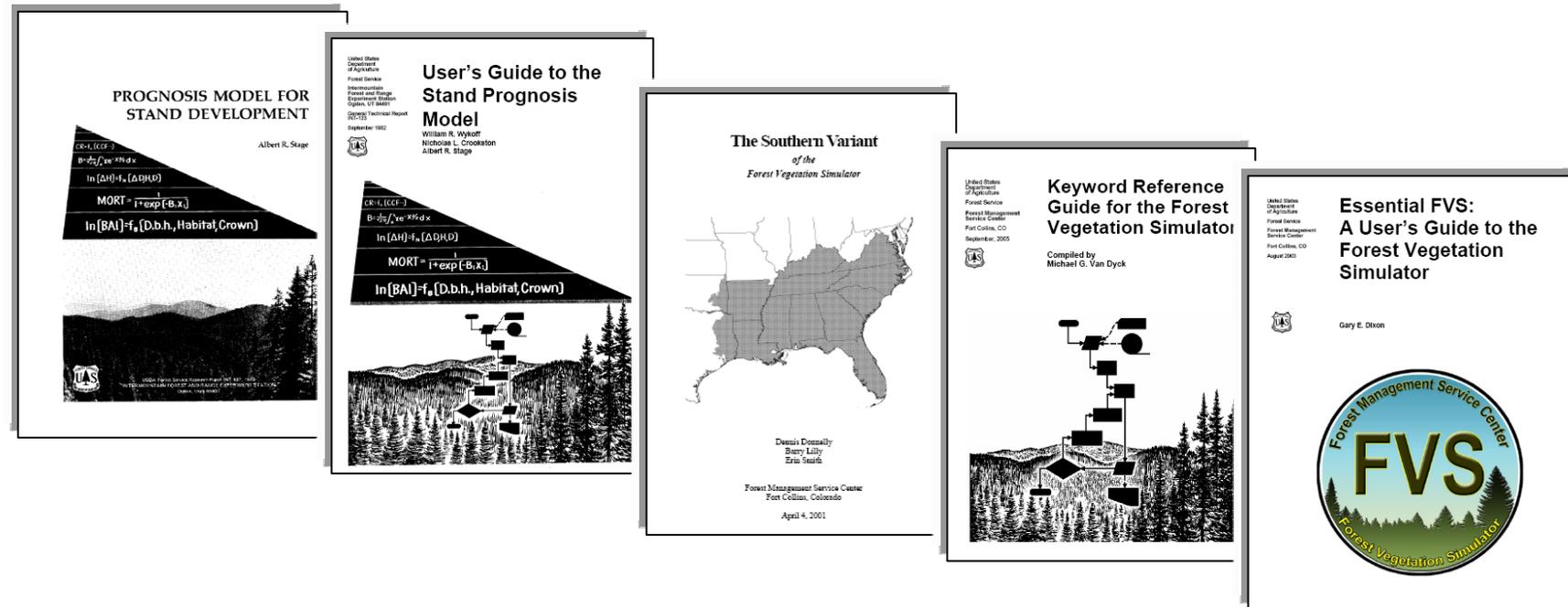


**5 anni**

# Metodi

## Fase 1:

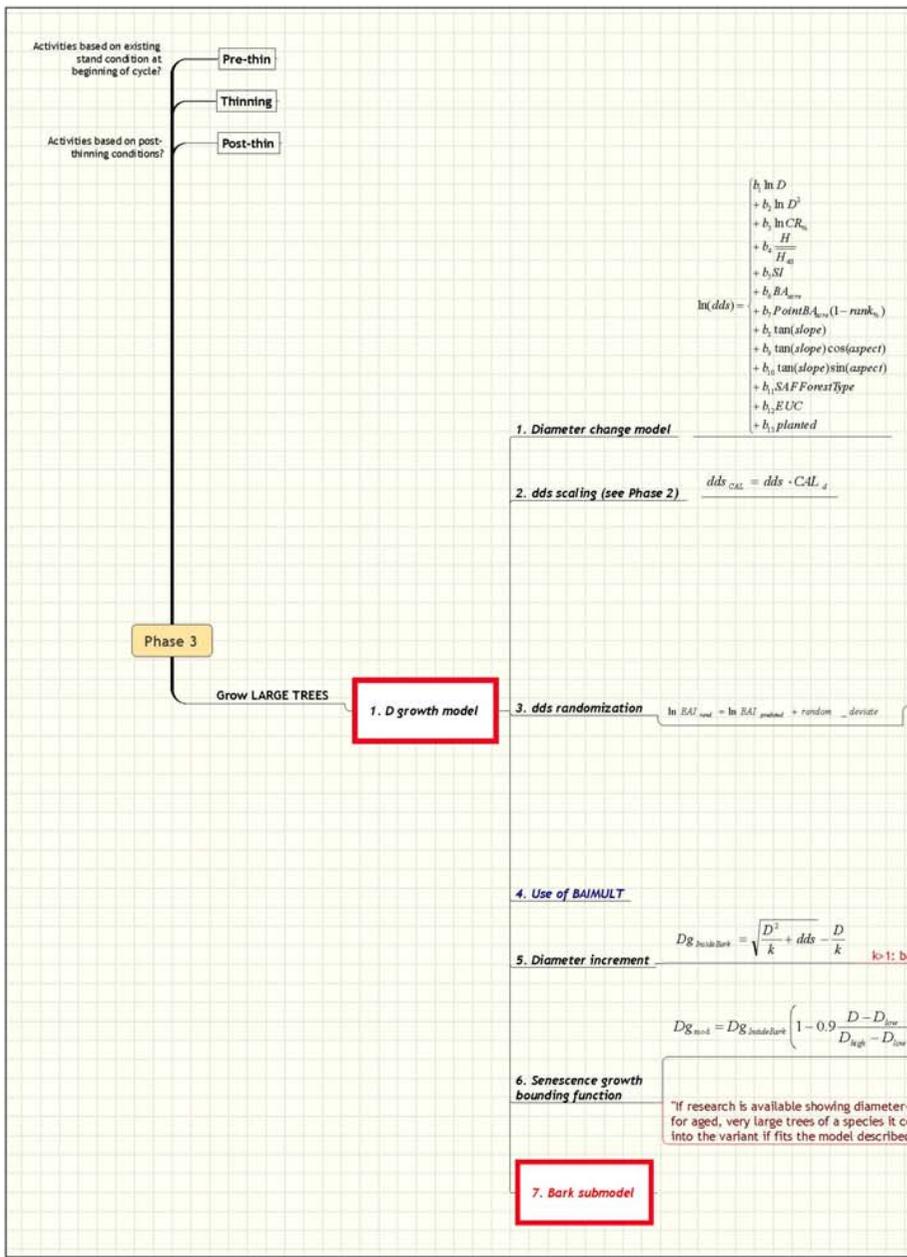
Scomposizione delle routine di programma (manuale operativo + codice FORTRAN).



*Modeling stand dynamics in Scots pine forests of the Southwestern Alps*

```

CALCULATE STAND BA AT INVENTORY DATE FOR HT DUBBING CALCULATIONS
C-----
    BAT=0.
    DO 68 I=1, ITRN
    BATREE= 0.005454154*DBH(I)*DBH(I)*PROB(I)
    BAT=BAT+BATREE
    68 CONTINUE
    
```



- H40 = average height of 40 larger trees per acre
- SI equivalency (Donnelly Table 12) and thresholds (Donnelly Table 9)
- rank = percentile position of subject tree in dbh distribution
- Forest Type group (Donnelly p.19; Bulletin #94)
- EUC-Subsection code (Donnelly Table 8); default = 231Dd
- Categorical variable for plantation mgmt
  - Sand pine
  - Slash pine
  - Longleaf pine
  - Eastern white pine
  - Loblolly pine

$\mu = 0$

$$\sigma^2 = \frac{w_1 \sigma_{(ln dds)}^2 + w_2 \sigma_{(residuals_{ln dds})}^2}{w_1 + w_2}$$

w1: n. obs per habitat type  
w2: n. growth sample trees

Record 1:  
TPA\_mod = 0.60TPA  
 $\ln BAI_1 = \ln BAI_{pred} + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{d}{\sigma}} \frac{e^{-x^2/2}}{\sigma} dx$

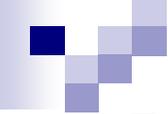
Record 2:  
TPA\_mod = 0.25TPA  
 $\ln BAI_2 = \ln BAI_{pred} + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{d}{\sigma}} \frac{e^{-x^2/2}}{\sigma} dx$

Record 3:  
TPA\_mod = 0.15TPA  
 $\ln BAI_3 = \ln BAI_{pred} + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\frac{d}{\sigma}} \frac{e^{-x^2/2}}{\sigma} dx$

Use of RANNSEED, NOTRIPLE, NUMTRIP, DGSTDEV

Random numbers are drawn based on a 3-"seeded" routine from a normal error distribution (within  $\pm 2\sigma$ ).

If less than (1350/3) trees, each tree record is tripled until total number of trees exceeds 1350; all data are replicated but ln(dds) and TPA. Random deviate from each record is drawn from a part of the error distribution.



# Metodi

## Fase 2:

Debugging del database e formattazione delle variabili di interesse (140131 tree record, 18286 plot in MS-Access).

1. Ordinary measurements
2. Site measurements (50% plot, alberi dominanti)
3. Intensive measurements (5% plot, alberi dominanti)

# Metodi

<b>Tree variables</b>	<b>Stand (plot) variables</b>
ID codes	ID codes
Inventory type	Inventory type
Species (FIA codes)	Inventory date
Dbh	Spatial location (UTM NAD <sub>83</sub> )
Rank (stand-wise dbh distribution)*	Trees per hectare *
Point Basal Area Larger*	Quadratic mean dbh*
Total Height	Basal area*
Crown width <sub>1,2</sub>	Additive Stand Density Index*
Crown width mean*	Reineke's Stand Density Index*
Crown ratio estimate	SDI <sub>sum</sub> /SDI <sub>Reineke</sub> ratio
Tree crown class estimate	Relative SDI*
Height to crown base	Species-specific Site Index
Live crown ratio	Species-specific asymptotic height <sup>1*</sup>
Radial increment	Point Basal Area*
5-year diameter increment	Slope %
Basal Area (outside bark)*	Slope (°)*
Age at breast height	Aspect (°)
Age*	Forest type code
Relative height (Height H <sub>40</sub> <sup>-1</sup> )*	EUC
Tree condition code <sup>1</sup>	H <sub>40</sub> * <sup>1</sup>
Bark thickness	Age minimum, maximum*
Bark ratio*	Age mean, median*

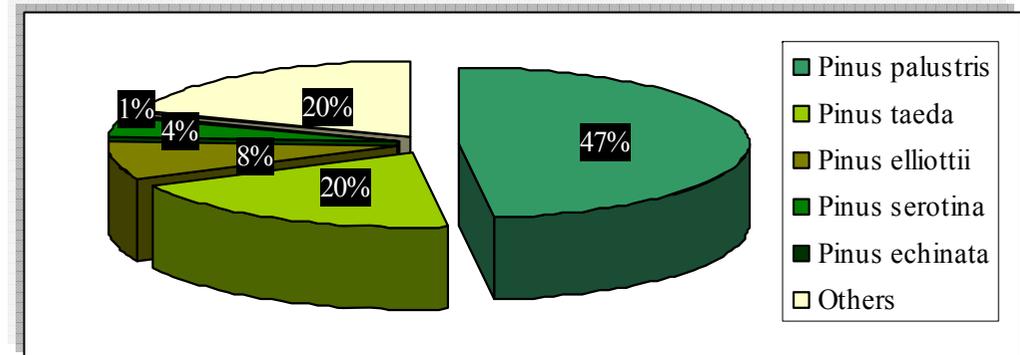
1384 popolamenti  
individuati per  
fotointerpretazione  
(2-243 ha)

*Modeling stand dynamics in Scots pine forests of the Southwestern Alps*

# Metodi

Oltre 50 specie presenti a Fort Bragg, ma l'analisi è stata ristretta alle 5 specie di pini principali:

- longleaf pine (*Pinus palustris* Mill.)
- loblolly pine (*Pinus taeda* L.)
- slash pine (*Pinus elliottii* Engelm.)
- pond pine (*Pinus serotina* Michx.)
- shortleaf pine (*Pinus echinata* Mill.).

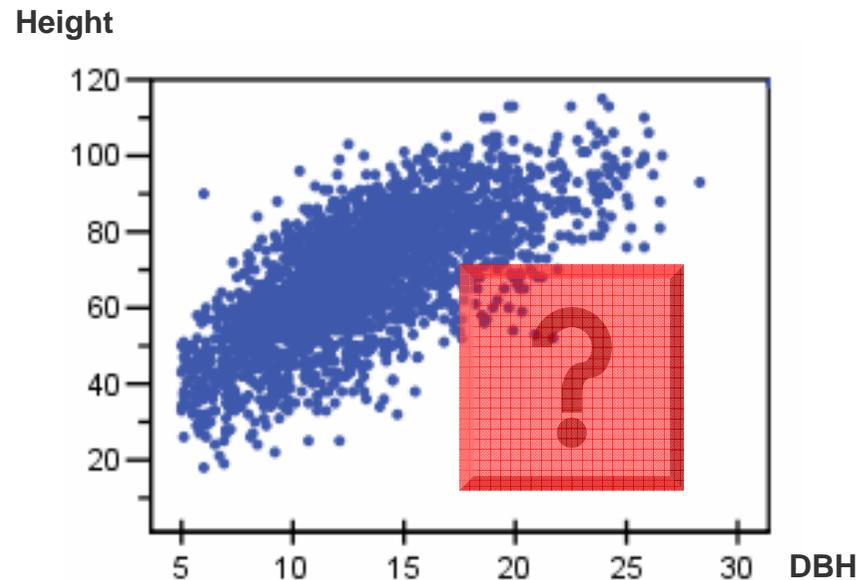


# Metodi

## Fase 3:

Validazione dei modelli allometrici.

Es. *height dubbing* (curva ipsometrica).

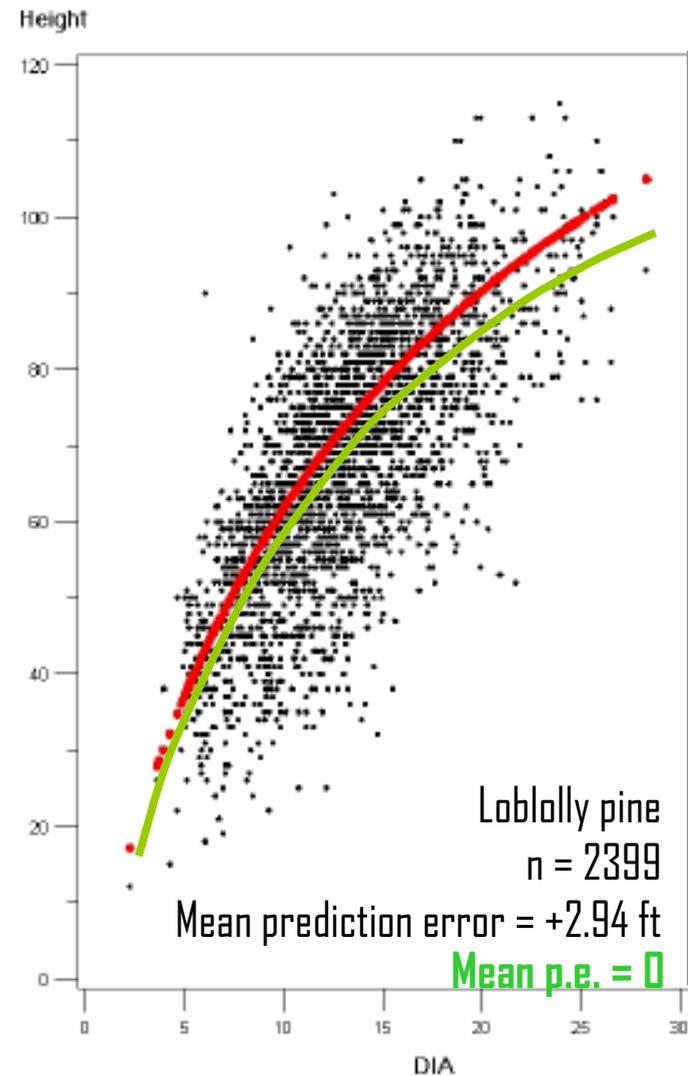
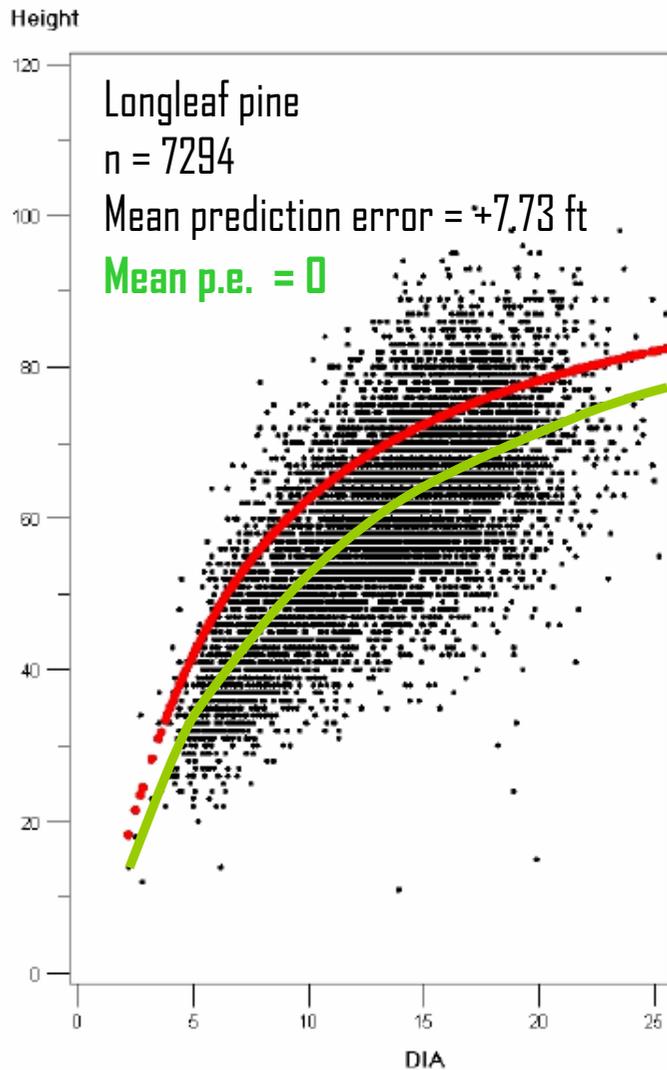


**H in funzione di dbh:**

- Modello specie-specifico
- Un solo set di parametri

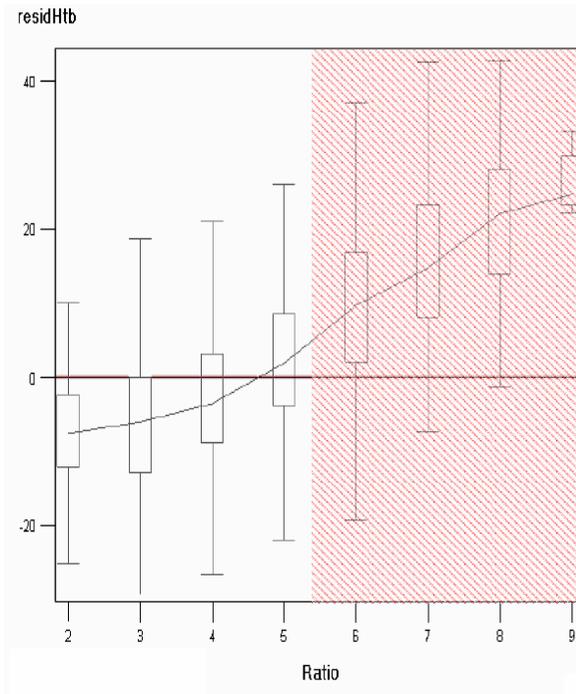
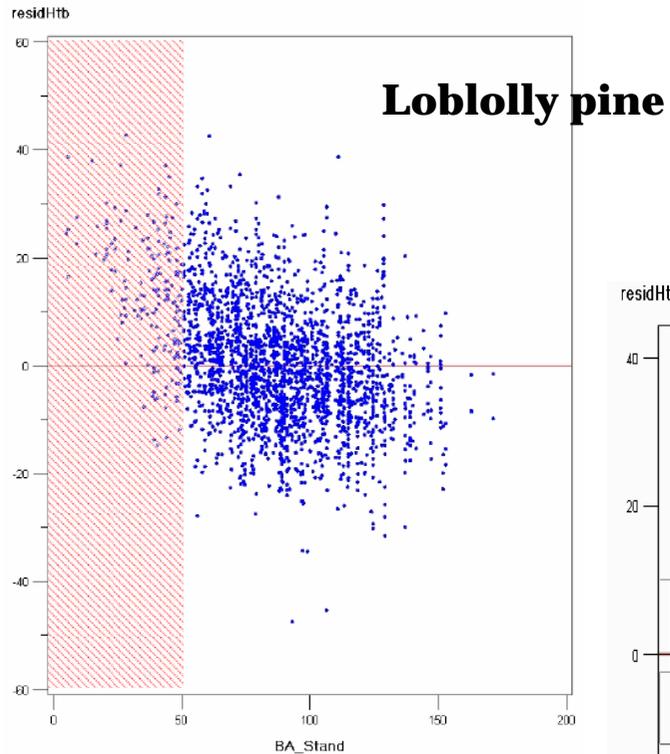
$$H = 4.5 + p_2 e^{-p_3 DBH^{p_4}}$$

# Modelli allometrici



*Modeling stand dynamics in Scots pine forests of the Southwestern Alps*

# Modelli allometrici



## Variabili influenti:

- area basim.
- crown ratio
- età

## Strategie:

- includere nel modello
- raccomandazioni per campionamento (open-grown trees)

# Metodi

## Fase 4:

Modelli di accrescimento.

Es. *diameter increment submodel*

*“...it is unreasonable to assume that growth responses in locations with substantially different environmental limitations will be the same.”*



13 variabili indipendenti

Adattamento mediocre ai dati iniziali

Parametri ecologicamente errati

# Modelli di accrescimento

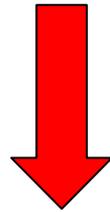
	Variable	Description	
ln(dds)* =	$b_0$	intercept	<b>Tree potential</b>
	$+ b_1 \cdot \ln dbh$	log of dbh (at beginning of estimation period)	
	$+ b_2 \cdot dbh^2$	squared dbh	
	$+ b_3 \cdot \ln crwn$	log of percent crown ratio	
	$+ b_4 \cdot hrel$	relative height	<b>Competition</b>
	$+ b_5 \cdot SI$	site index for the species	
	$+ b_6 \cdot plttba$	plot basal area	
	$+ b_7 \cdot pntbal$	plot basal area in trees larger than subject tree	<b>Site factors (constant or non influential)</b>
	$+ b_8 \cdot \tan slp$	tangent of slope in degrees	
	$+ b_9 \cdot f \cos$	tangent of slope, cosine of aspect	
	$+ b_{10} \cdot f \sin$	tangent of slope, sine of aspect	
	$+ b_{11} \cdot fortype$	categorical variable for forest type group	
	$+ b_{12} \cdot ecounit$	categorical variable for ecological unit group	
$+ b_{13} \cdot plant$	categorical variable for planted stands		

\* dds = (diameter inside bark at time<sub>0</sub> + periodic diameter growth)<sup>2</sup> – diameter inside bark<sup>2</sup> (Wykoff et al., 1982).

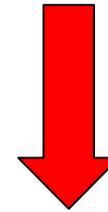
# Modelli di accrescimento

## Analisi della sensitività (SA):

Influenza dell'input sulla variabile dipendente  
(Saltelli et al., 2004).



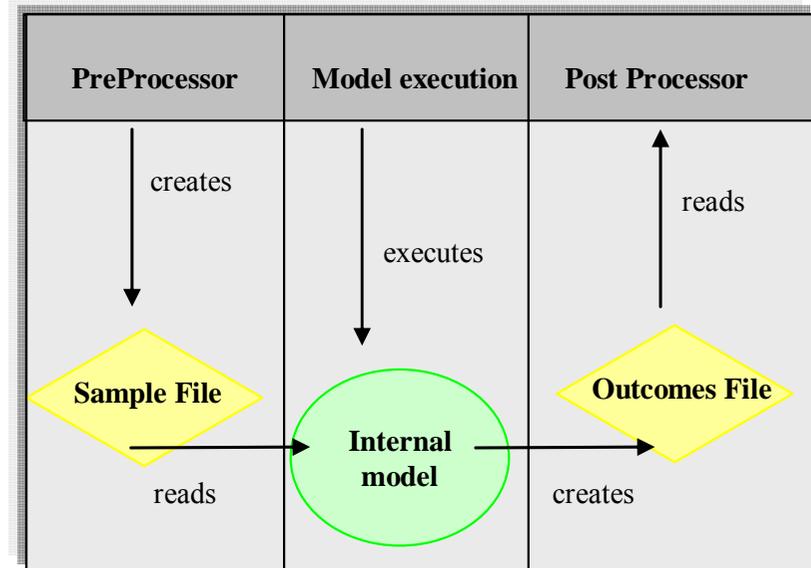
**Locale**  
**(1 fattore alla volta  
è perturbato)**



**Globale**  
***Variance partitioning*  
(sensitività a  
ciascun fattore)**

# Analisi di sensitività

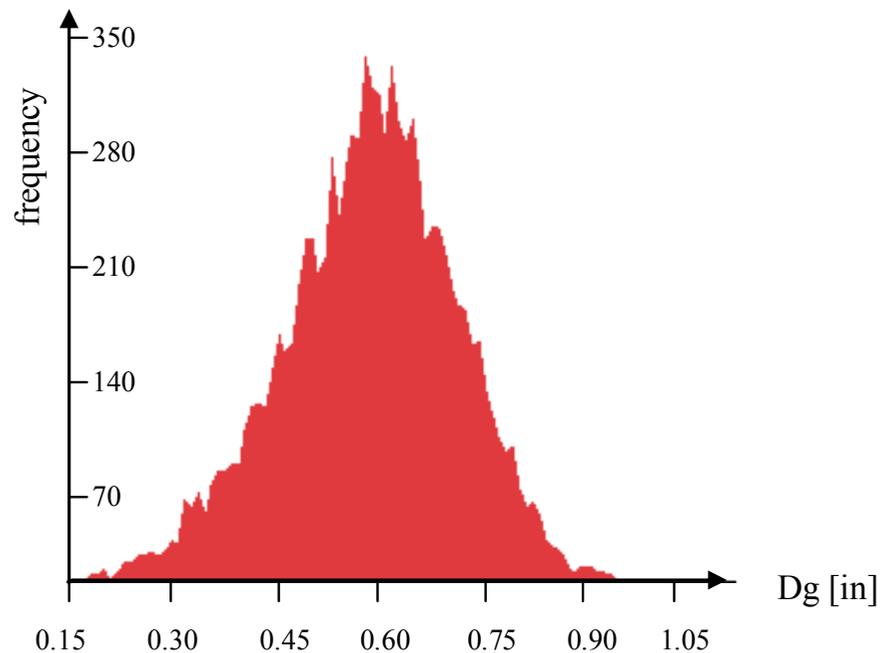
1. Distribuzione di probabilità per ogni variabile indipendente
2. Generazione iterativa di un campione (10000 simulazioni MonteCarlo)
3. Propagazione dell'input (modello di default)
4. Uncertainty analysis
5. Sensitivity analysis



# Analisi di sensitività

## Uncertainty analysis:

Incremento medio coerente con i dati ( $0.58 \pm 0.12$  in.)  
ma variabilità più limitata (da 0.08 a 2.36 in.)

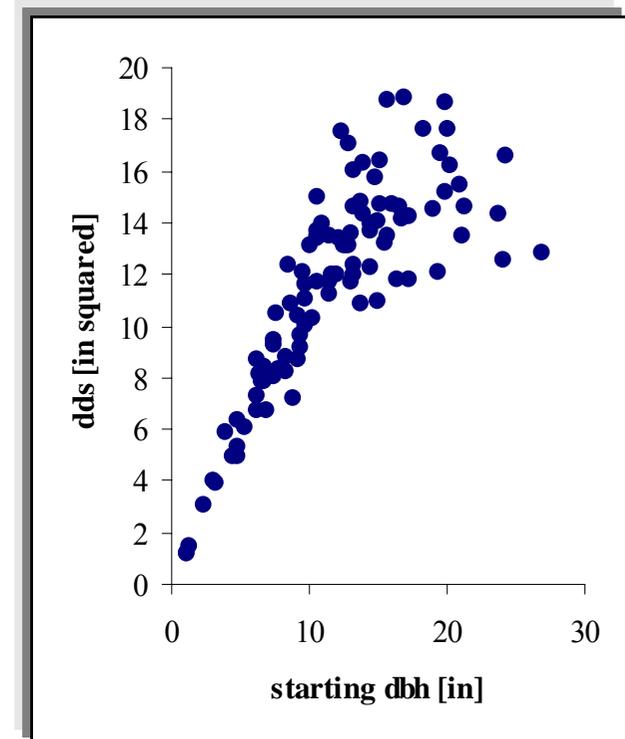
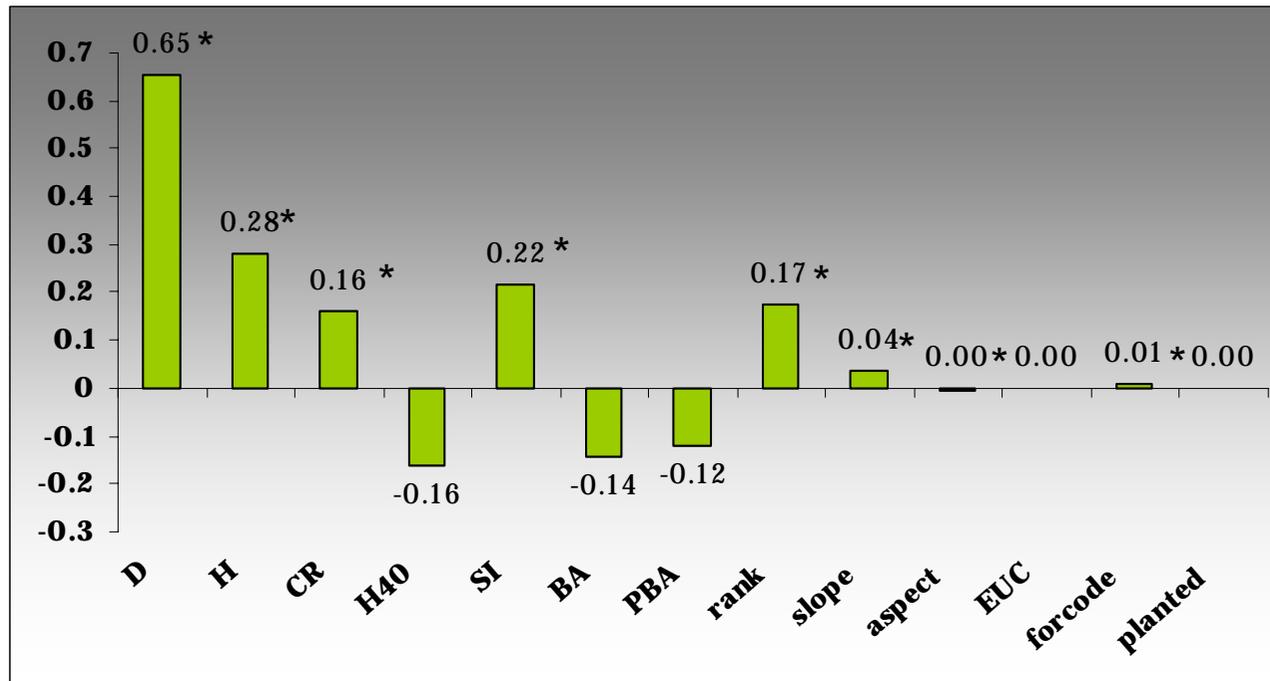


*NB: Comportamento atteso da parte di un modello di simulazione.*

# Analisi di sensitività

## Sensitivity analysis:

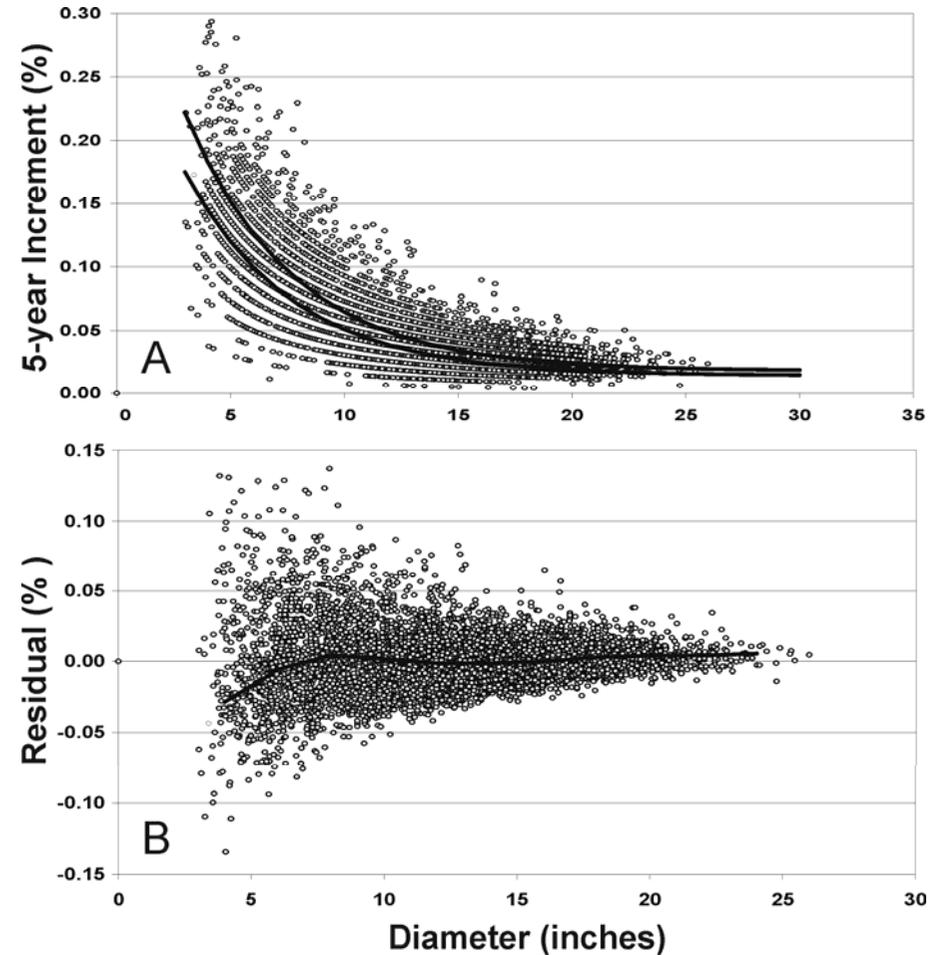
## Standardized Rank Regression Coefficients



# Modelli di accrescimento

$$d_{\text{percent}} = (a + bBA) \left( c - e^{-ddbh} \right)$$

- Parsimonioso
- 8% variabilità ulteriore
- residui  $\times 10^{-1}$



# Metodi

## Fase 4:

Modello di mortalità periodica.

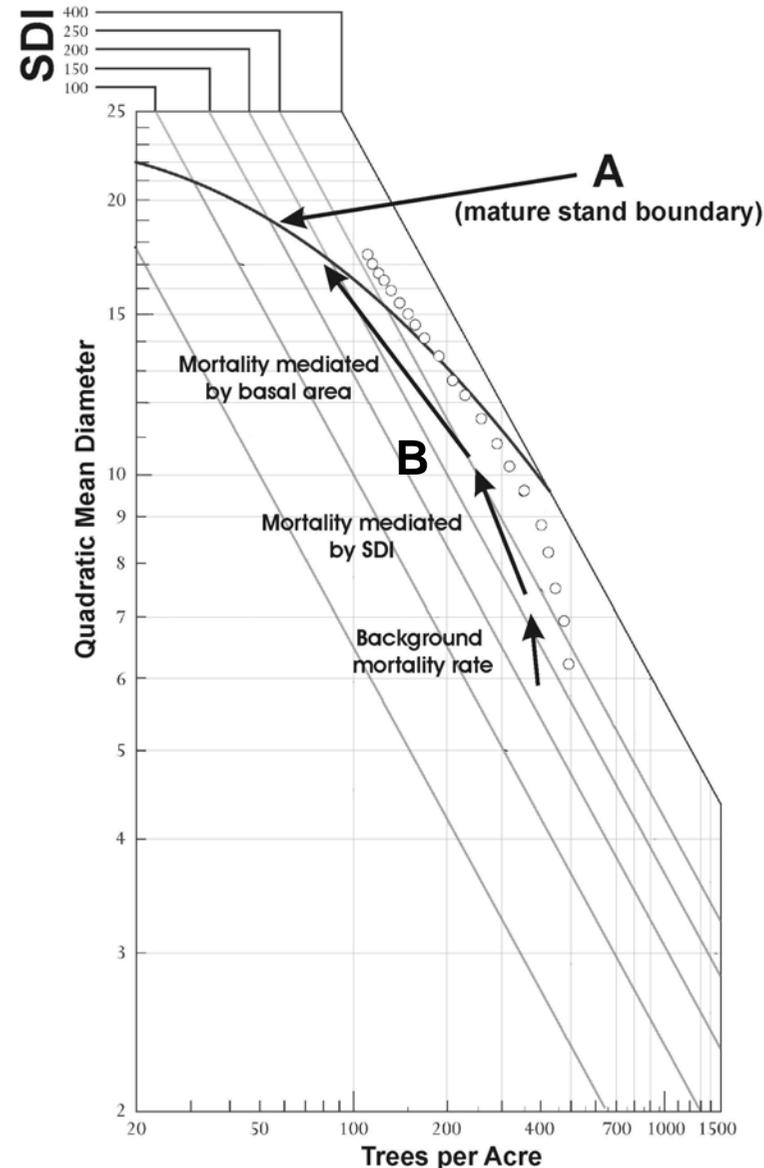
- $<55\%$  SDI, background mortality =  $f(\text{dbh}, \text{età})$
  
- $>55\%$  SDI, density-dependent
  - Mean diameter  $< 10.0''$ , MaxSDI
  - Mean diameter  $> 10.0''$ , MaxBA

# Modello di mortalità

Simulazione (25-125 yrs).

A: nuova linea di autodiradamento per popolamenti maturi (Shaw e Long, in press).

B: inflessione nel passaggio da  $SDI_{max}$  a  $BA_{max}$  (<< rispetto al default specie-specifico).



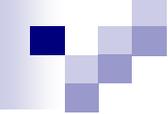
# Conclusioni

- Testing di tutte le componenti di FVS ( $H_0$ : il modello è accurato; la sua forma non causa distorsioni nell'output).
- Modello di mortalità: principale responsabile delle sovrastime (+ interazione con incremento diametrico).
- Variante stand-alone o EUC?
- Supporto continuo da parte dell'USFS.

## Dati, processi e strumenti per la gestione sostenibile delle pinete nelle Alpi SW



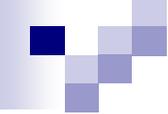
*Modeling stand dynamics in Scots pine forests of the Southwestern Alps*



# Sintesi

Competizione: struttura e dinamiche scala di individuo, popolamento e in rapporto ai fattori di cambiamento esogeni.

- Impatto sull'accrescimento
- Ruolo della competizione per la luce
- Interazione con fertilità stazionale, uso del suolo, stadio successionale.



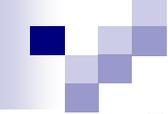
# Sintesi

Proprietà emergenti della competizione:

- Autodiradamento
- Struttura verticale e orizzontale
- Interazione con fattori esogeni

*“Properties of plant communities such as composition, structure, canopy profiles, successional paths and self-thinning trajectories are predictable from the lower-level mechanisms by which individual plants affect and respond to their immediate environment”.*

**(Prentice and Leemans, 1990).**



# Sintesi

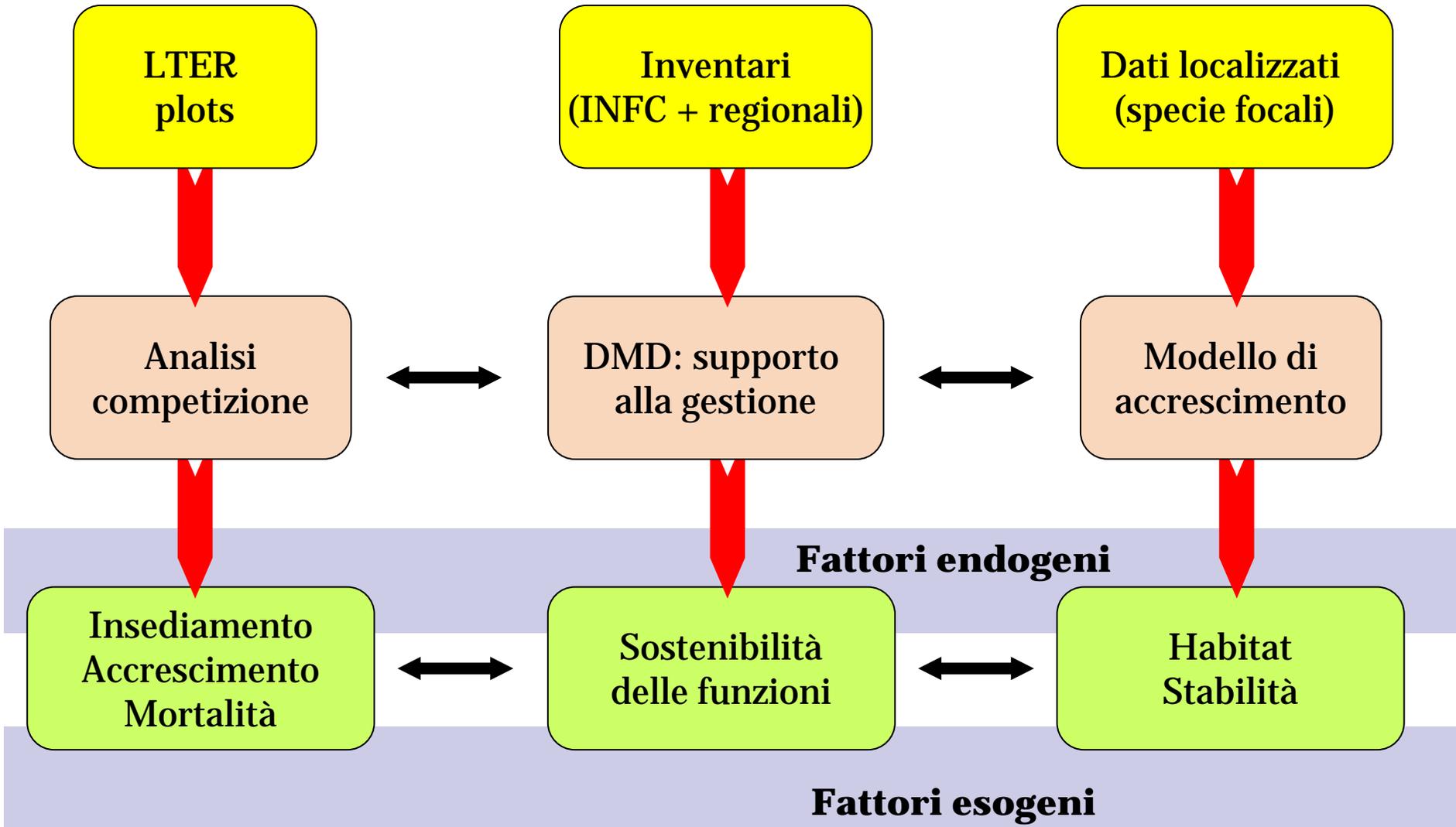
## Modellizzazione:

- Interazione tra dinamiche individuali e di pop.
- Applicazione alla gestione della risorsa  
(sistema *Pinus palustris* – *Picoidea borealis*).

## Density Management Diagram:

Sintesi di rapporti biometrici, dinamiche endogene emergenti, pianificazione selvicolturale e impatto/ sensibilità ai fattori esogeni.

# Sintesi





**Dottorato di ricerca in Sc. Agrarie, Forestali e Agroalimentari**  
Pianificazione forestale, selvicoltura e tecnologia del legno

...se un pino s'ergeva accanto ad un altro pino, era per amore.

**Grazie della vostra attenzione.**

*Giorgio Vacchiano*

Tutor: prof. Renzo MOTTA

Coordinatore: prof. Vittorino NOVELLO

Università degli studi di Torino

Dipartimento AgroSelviTer