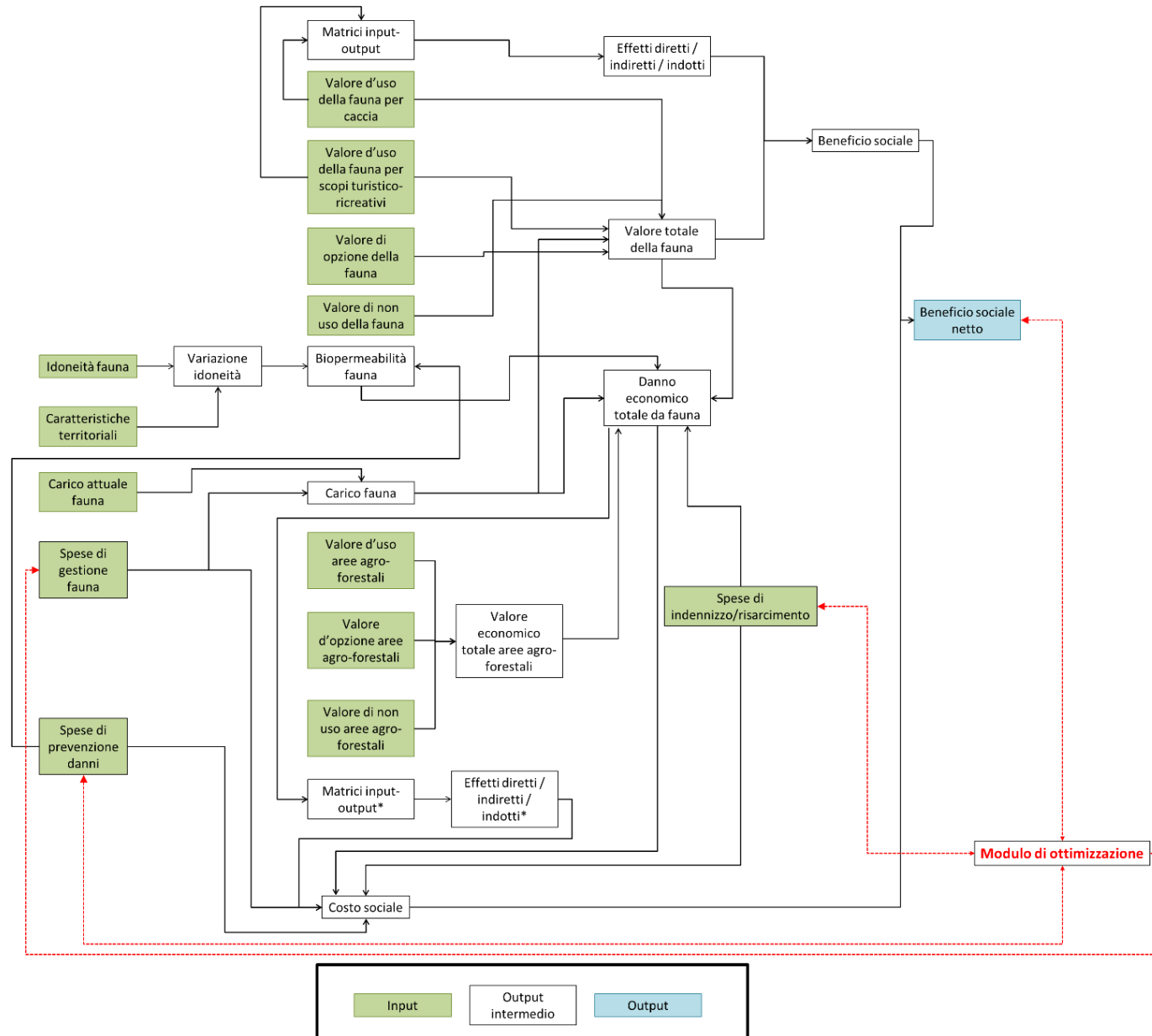
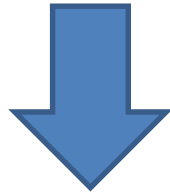


Elementi di ricerca  
operativa per la  
pianificazione territoriale

# Ottimizzazione del sistema di analisi



Cosa accade se.... **Vs** Ottimizzazione nella gestione delle risorse



**Conclusioni concrete e ben comprensibili a chi dovrà prendere decisioni**

# Ricerca Operativa

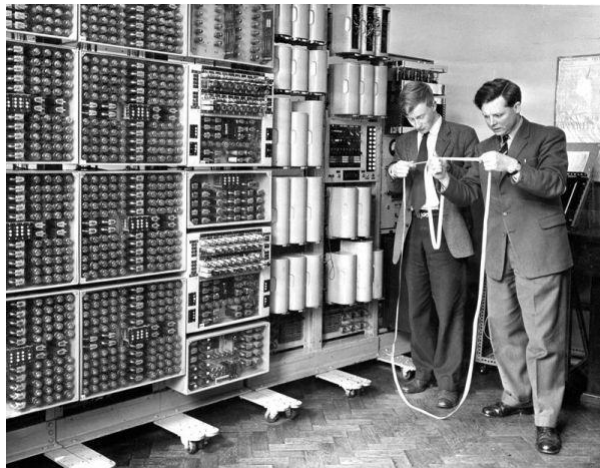
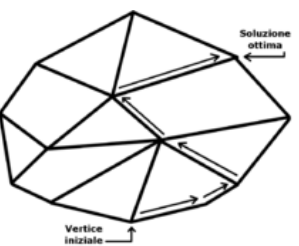
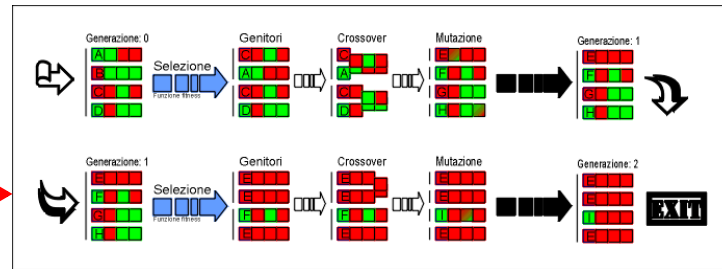
**Ricerca nelle operazioni:** riguarda le metodologie di gestione e coordinamento delle operazioni nell'ambito di una determinata organizzazione, comparto produttivo o territorio



# Ricerca Operativa

## Sviluppo:

- Scientifico (modelli matematici)
- Tecnologico (hardware)



## Article

### Quantum supremacy using a programmable superconducting processor

<https://doi.org/10.1038/s41586-019-1666-5>

Received: 22 July 2019

Accepted: 20 September 2019

Published online: 23 October 2019

Frank Arute<sup>1</sup>, Kunal Arya<sup>1</sup>, Ryan Babbush<sup>1</sup>, Dave Bacon<sup>1</sup>, Joseph C. Bardin<sup>1</sup>, Rami Barends<sup>1</sup>, Rupak Biswas<sup>1</sup>, Sergio Boixo<sup>1</sup>, Fernando G. S. L. Brandao<sup>1,4</sup>, David A. Buell<sup>1</sup>, Brian Burkett<sup>1</sup>, Yu Chen<sup>1</sup>, Zijun Chen<sup>1</sup>, Ben Chiaro<sup>1</sup>, Roberto Collins<sup>1</sup>, William Courtney<sup>1</sup>, Andrew Dunsworth<sup>1</sup>, Edward Farhi<sup>1</sup>, Brooks Foxen<sup>1,5</sup>, Austin Fowler<sup>1</sup>, Craig Gidney<sup>1</sup>, Marissa Giustina<sup>1</sup>, Rob Graff<sup>1</sup>, Keith Guerin<sup>1</sup>, Steve Habegger<sup>1</sup>, Matthew P. Harrigan<sup>1</sup>, Michael J. Hartmann<sup>1,6</sup>, Alan Ho<sup>1</sup>, Markus Hoffmann<sup>1</sup>, Trent Huang<sup>1</sup>, Travis S. Humble<sup>1</sup>, Sergei V. Isakov<sup>1</sup>, Evan Jeffrey<sup>1</sup>, Zhang Jiang<sup>1</sup>, Dvir Kafri<sup>1</sup>, Kostyantyn Kechedzhiev<sup>1</sup>, Julian Kelly<sup>1</sup>, Paul V. Klimov<sup>1</sup>, Sergey Knysh<sup>1</sup>, Alexander Korotkov<sup>1</sup>, Fedor Kostritsa<sup>1</sup>, David Landhuis<sup>1</sup>, Mike Lindmark<sup>1</sup>, Erik Lucero<sup>1</sup>, Dmitry Lyakh<sup>1</sup>, Salvatore Mandrà<sup>1,6</sup>, Jarrod R. McClean<sup>1</sup>, Matthew McEwen<sup>1</sup>, Anthony Megrant<sup>1</sup>, Xiao Mi<sup>1</sup>, Kristel Michielsen<sup>1,10</sup>, Masoud Mohseni<sup>1</sup>, Josh Mutus<sup>1</sup>, Ofer Naaman<sup>1</sup>, Matthew Newley<sup>1</sup>, Charles Neill<sup>1</sup>, Murphy Yuezhen Niu<sup>1</sup>, Eric Oasby<sup>1</sup>, Andre Petukhov<sup>1</sup>, John C. Platt<sup>1</sup>, Chris Quintana<sup>1</sup>, Eleanor G. Rieffel<sup>1</sup>, Pedram Roushan<sup>1</sup>, Nicholas C. Rubin<sup>1</sup>, Daniel Sank<sup>1</sup>, Kevin J. Satzinger<sup>1</sup>, Vadim Smelyanskiy<sup>1</sup>, Kevin J. Sung<sup>1,11</sup>, Matthew D. Trevisick<sup>1</sup>, Amit Vainsencher<sup>1</sup>, Benjamin Villalonga<sup>1,12</sup>, Theodore White<sup>1</sup>, Z. Jamie Yao<sup>1</sup>, Ping Yeh<sup>1</sup>, Adam Zalcman<sup>1</sup>, Hartmut Neven<sup>1</sup> & John M. Martinis<sup>1\*</sup>

The promise of quantum computers is that certain computational tasks might be executed exponentially faster on a quantum processor than on a classical processor<sup>1</sup>. A fundamental challenge is to build a high-fidelity processor capable of running quantum algorithms in an exponentially large computational space. Here we report the use of a processor with programmable superconducting qubits<sup>2,3</sup> to create quantum states on 53 qubits, corresponding to a computational state-space of dimension 2<sup>53</sup> (about 10<sup>16</sup>). Measurements from repeated experiments sample the resulting probability distribution, which we verify using classical simulations. Our Sycamore processor takes about 200 seconds to sample one instance of a quantum circuit a million times—our benchmarks currently indicate that the equivalent task for a state-of-the-art classical supercomputer would take approximately 10,000 years. This dramatic increase in speed compared to all known classical algorithms is an experimental realization of quantum supremacy<sup>4,5</sup> for this specific computational task, heralding a much-anticipated computing paradigm.

# Ricerca Operativa

## **Fasi per lo sviluppo di un modello di RO:**

- Osservazione del problema
- Definizione del problema
- Raccolta dati
- Formulazione del modello matematico → sviluppo software  
(algoritmo) → test
- Validazione del modello → SSD

# Esempio



**Determinare il tasso di produzione di due prodotti al fine di massimizzare il profitto**

**Programmazione lineare**  
Algoritmo del simplesso

$$Z = 3x_1 + 5x_2$$

S.t.

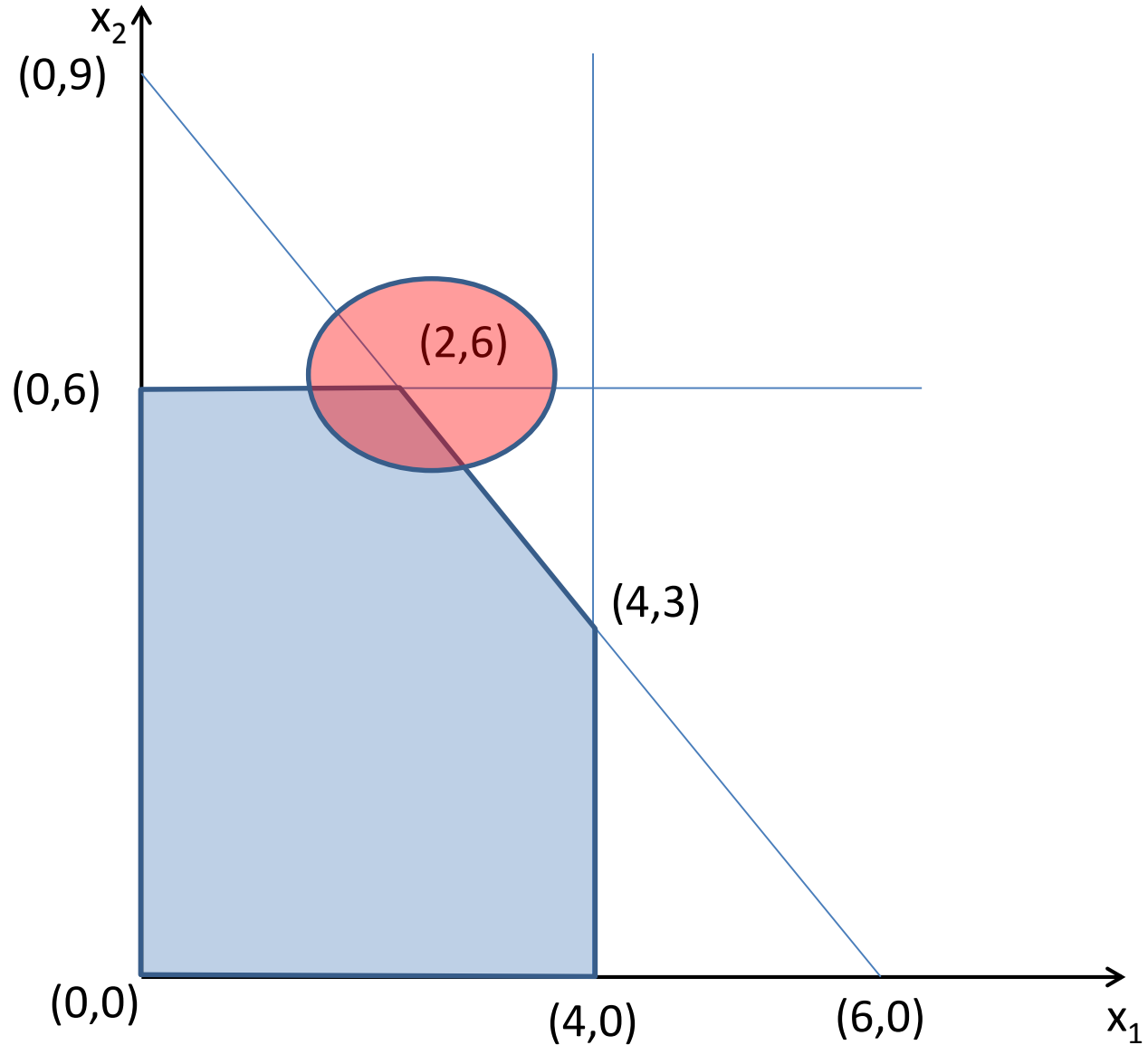
$$x_1 \leq 4$$

$$2x_2 \leq 12$$

$$3x_1 + 2x_2 \leq 18$$

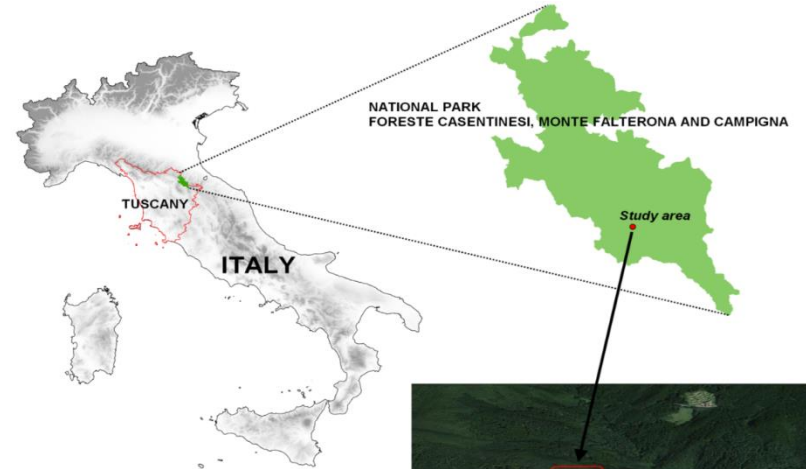
$$x_1 \geq 0$$

$$x_2 \geq 0$$

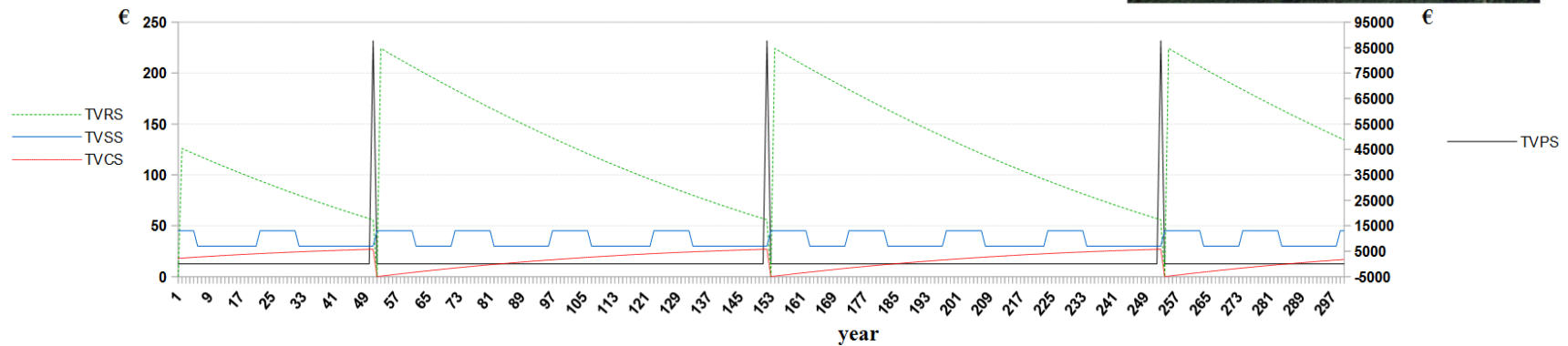




# Esempio: Dinamicità dei SE e del VET

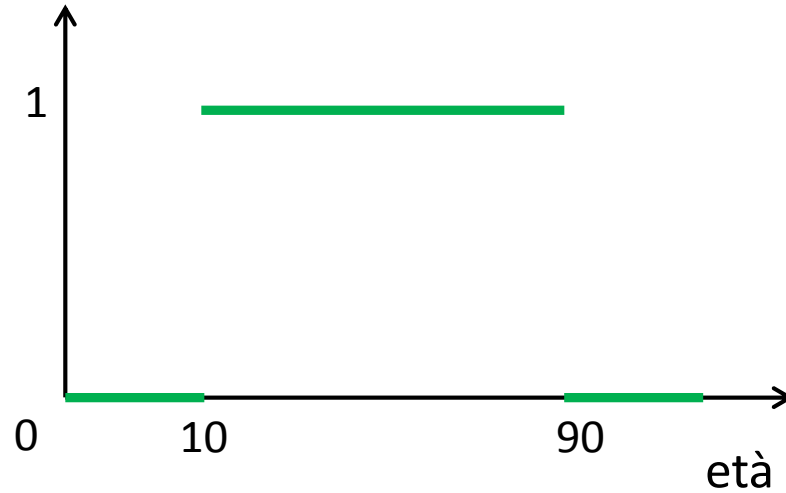


Rotation Period (years)	100
Total Value of Provisioning Services Raw material (€)	TVPS 14047
Total Value of Regulating Services Carbon sequestration (€)	TVRS 7800
Total Value of Supporting Services Habitats for species (€)	TVSS 1886
Total Value of Cultural Services Touristic and recreational value (€)	TVCS 610
<b>Total Value of Ecosystem Services (€)</b>	<b>24342</b>

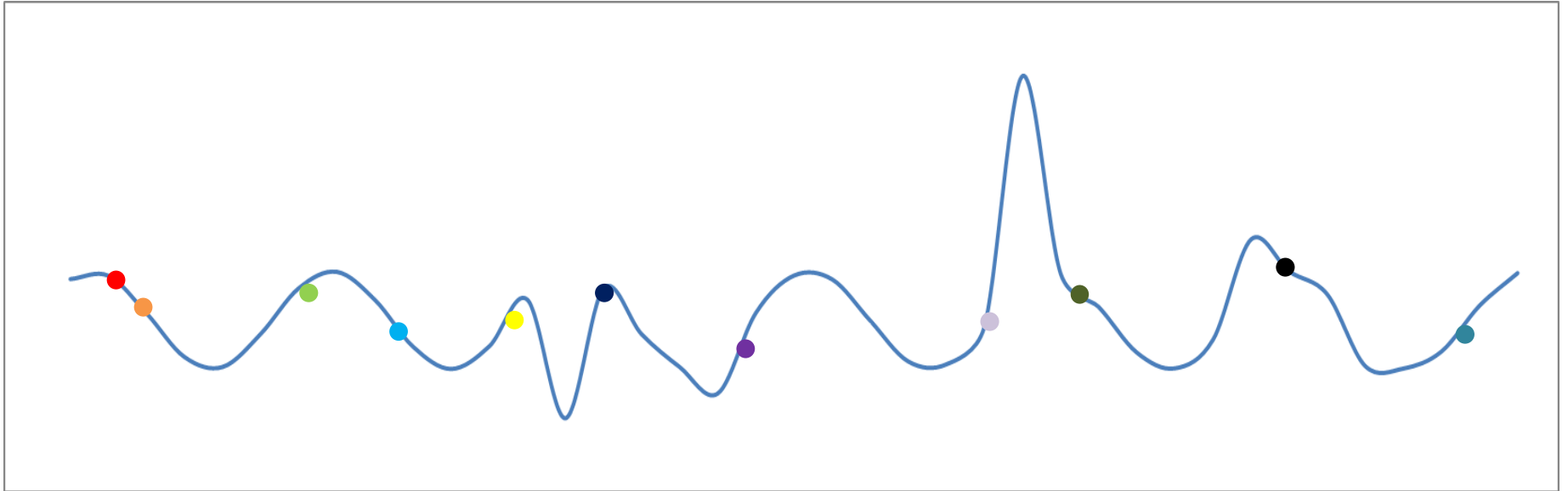


***Problema non continuo: se l'età dell'abetina è inferiore a 10 anni allora NON è possibile effettuare il diradamento altrimenti è possibile (fino all'età di 90 anni)***

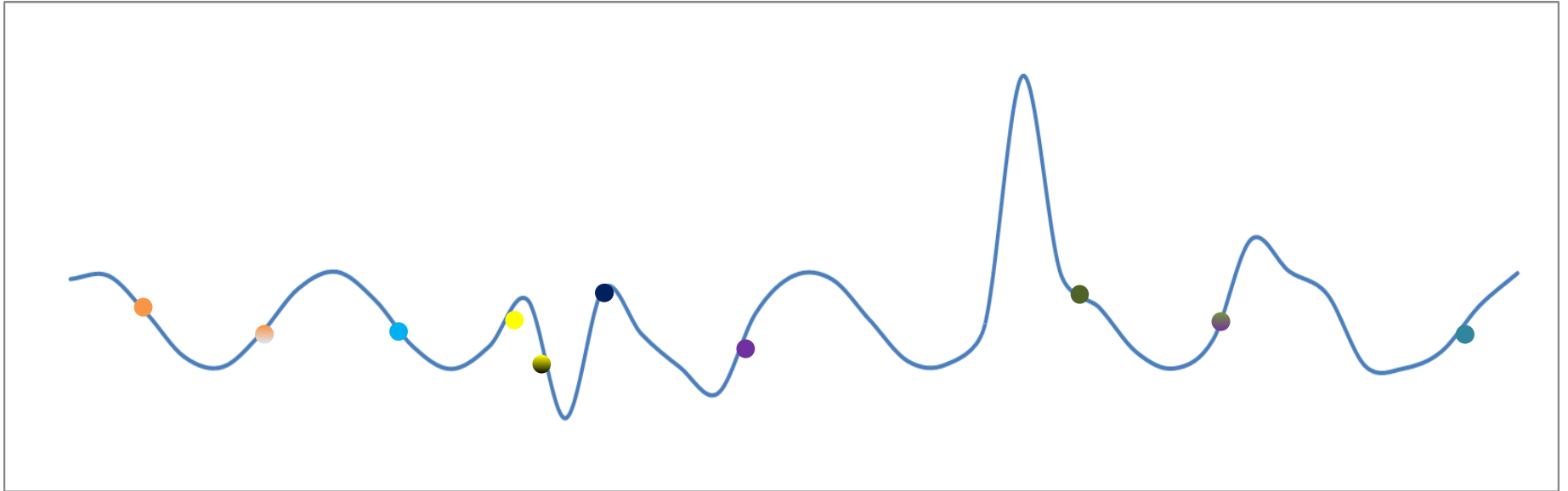
Diradamento  
(SI=1/NO=0)



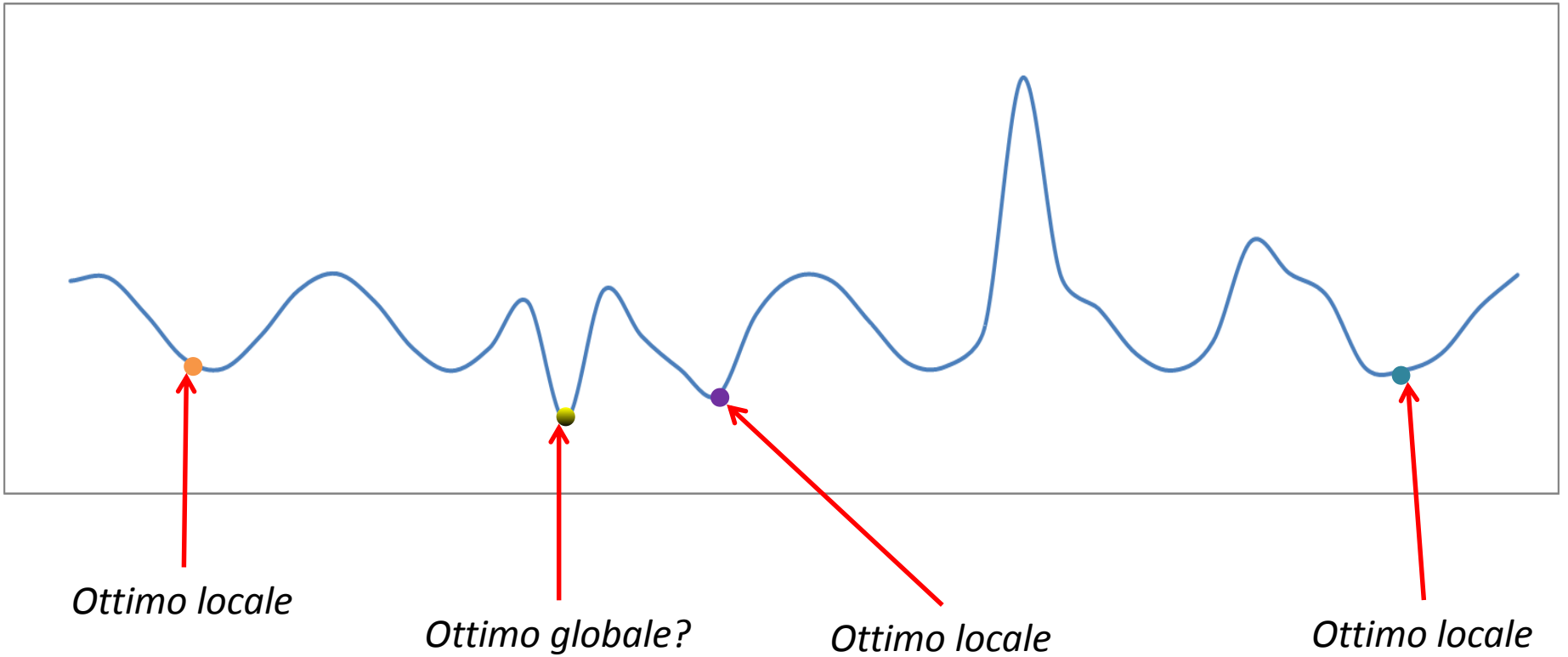
# *Algoritmi genetici*



# *Algoritmi genetici*



# *Algoritmi genetici*



# Caso di studio

Gli elementi che compongono un modello di analisi multiobiettivo sono :

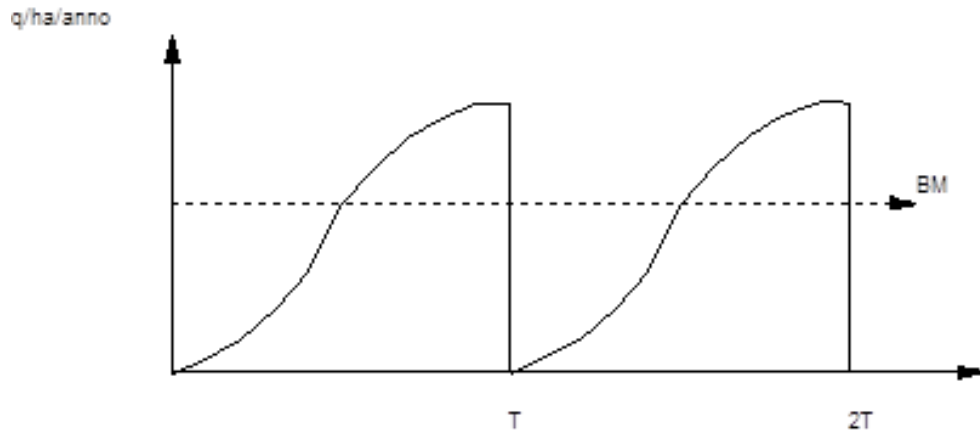
**Variabili decisionali:** sono costituite dagli elementi da dimensionare nel modello, con lo scopo di perseguire gli obiettivi di pianificazione.

**Coefficienti tecnici:** Rappresentano l'incremento nell'obiettivo considerato per unità di variabile decisionale.

**Funzione obiettivo:** Per funzione obiettivo di un modello multiobiettivo si intende una funzione matematica che rappresenta la «direzione» desiderata (massimizzazione o minimizzazione) dal decisore nel raggiungimento dell'obiettivo considerato.

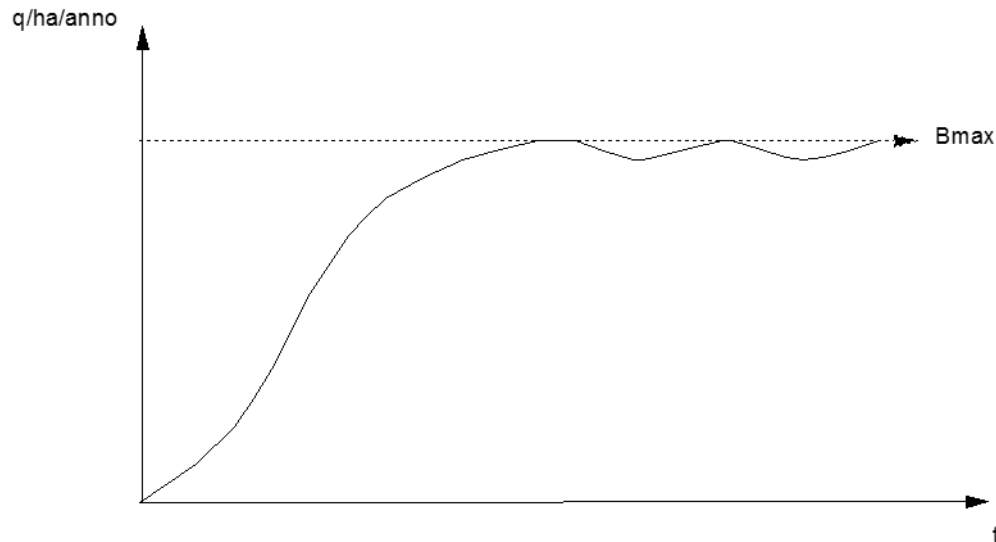
# Caso di studio

Produzione di foraggio  
per la fauna selvatica



Produzione periodica

Produzione di foraggio  
per la fauna selvatica



Produzione annua

# Caso di studio

**Vincoli:** fattori fisici e tecnici che limitano il livello massimo raggiungibile da ogni obiettivo. Vengono classificati in:

- a) vincoli derivanti dalla disponibilità limitata di risorse (tipicamente terra, ma anche lavoro, capitale disponibile, ecc.);
- b) vincoli di ordine istituzionale (leggi, norme ecc.);
- c) vincoli di ordine contrattuale (accordi contrattuali, sindacali, ecc.);
- d) vincoli derivanti da particolari esigenze di gestione .



# Caso di studio

	Tipologia di soprassuolo	Superficie (ha)
S1	Ceduo di castagno di I classe di fertilità	372
S2	Ceduo di castagno di II classe di fertilità	144,6
S3	Ceduo di faggio di I classe di fertilità	310
S4	Ceduo di faggio di II classe di fertilità	139,5
	TOTALE	966,1

## Alternative tecniche (gestionali):

- a) ceduo matricinato a turno lungo (40 anni) trattato a taglio raso
- b) avviamento a fustaia da trattare a tagli a scelta.

**Variabili decisionali:** superficie di ciascuna tipologia di soprassuolo destinata o alla alternativa tecnica A o alla B.

**Gli obiettivi** di pianificazione sono rappresentati da:

- a) massimizzare produzione legnosa;
- b) massimizzare la potenzialità ricreativa del soprassuolo;
- c) massimizzare potenzialità faunistica dei soprassuoli espressa dall'indice di produzione di foraggio disponibile per la fauna selvatica;
- d) massimizzare l'occupazione generata dal bosco.

# Caso di studio

*Individuazione dei coefficienti tecnici e formulazione della funzione obiettivo*

**Obiettivo «a» → massimizzazione della produzione legnosa**

Tipologia di soprassuolo	Produzione legnosa (m <sup>3</sup> /ha/anno)	
	A.T.A	A.T.B
Ceduo di castagno di I classe di fertilità	8,57	5,00
Ceduo di castagno di II classe di fertilità	6,28	4,00
Ceduo di faggio di I classe di fertilità	4,57	3
Ceduo di faggio di II classe di fertilità	3,4	2,5

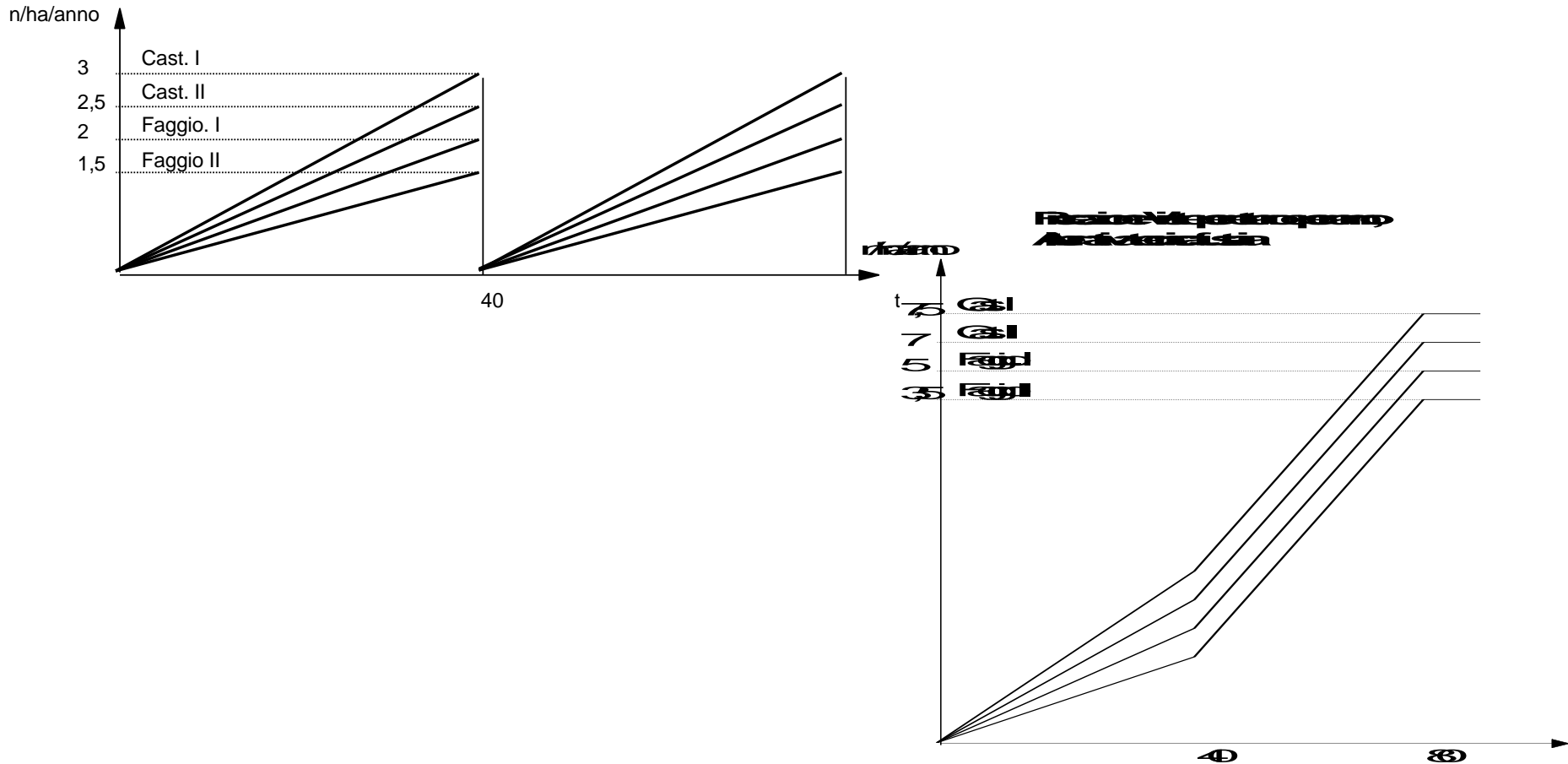
$$MAX [8,57S_{1,A} + 5S_{1,B} + 6,28S_{2,A} + 4S_{2,B} + 4,57S_{3,A} + 3S_{3,B} + 3,4S_{4,A} + 2,5S_{4,B}]$$

# Caso di studio

*Individuazione dei coefficienti tecnici e formulazione della funzione obiettivo*

**Obiettivo «b» → massimizzazione della potenzialità ricreativa**

Ricreazione: Visite per ettaro e per anno,  
Alternativa tecnica ceduo



# Caso di studio

*Individuazione dei coefficienti tecnici e formulazione della funzione obiettivo*

**Obiettivo «b» → massimizzazione della potenzialità ricreativa**

Tipologia di soprassuolo	Numero di visite/ha/anno	
	A.T.A	A.T.B
Ceduo di castagno di I classe di fertilità	1,5	7,5
Ceduo di castagno di II classe di fertilità	1,25	7
Ceduo di faggio di I classe di fertilità	1	5
Ceduo di faggio di II classe di fertilità	0,75	3,5

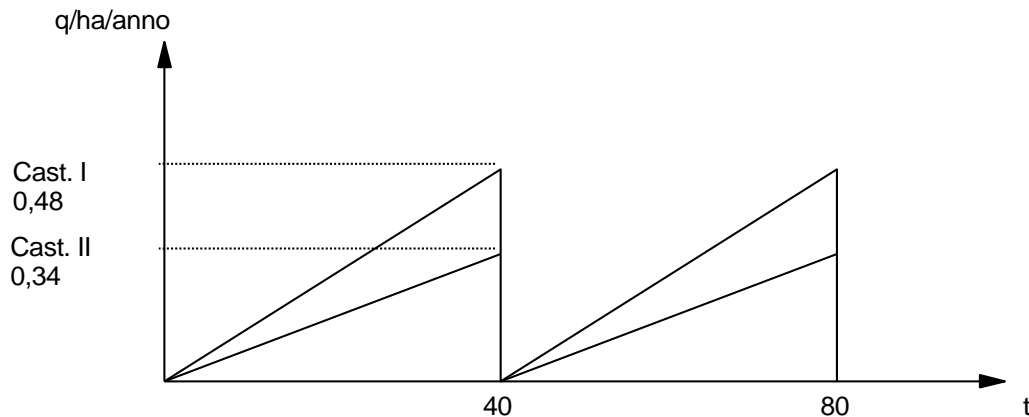
$$MAX [1,5S_{1,A} + 7,5S_{1,B} + 1,25S_{2,A} + 7S_{2,B} + 1S_{3,A} + 5S_{3,B} + 0,75S_{4,A} + 3,5S_{4,B}]$$

# Caso di studio

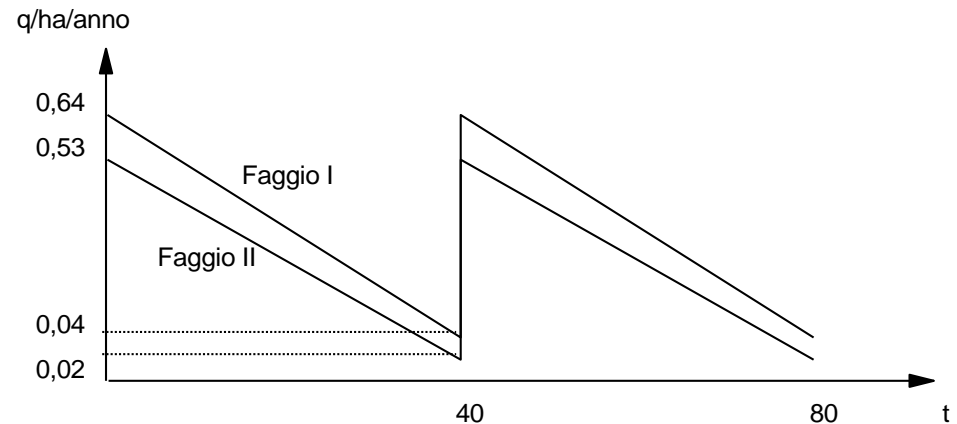
*Individuazione dei coefficienti tecnici e formulazione della funzione obiettivo*

**Obiettivo «c» → massimizzazione della potenzialità faunistica**

Foraggio: quintali di sostanza verde per ettaro,  
Alternativa tecnica ceduo, soprassuoli a  
castagno



Foraggio: quintali di sostanza verde per ettaro,  
Alternativa tecnica ceduo, soprassuoli a  
faggio



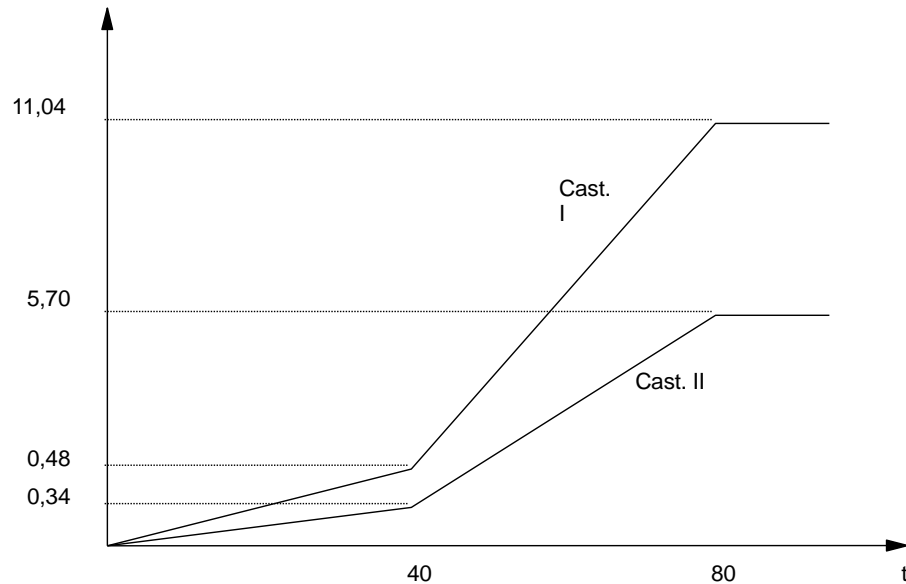
# Caso di studio

*Individuazione dei coefficienti tecnici e formulazione della funzione obiettivo*

**Obiettivo «c» → massimizzazione della potenzialità faunistica**

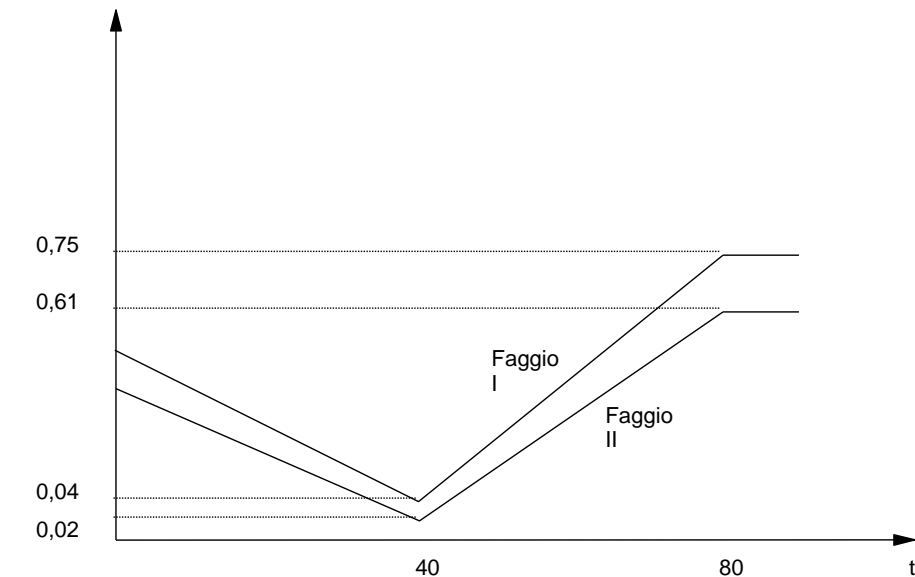
Foraggio: quintali di sostanza verde per ettaro,  
Alternativa tecnica fustaia, soprassuoli a  
castagno

q/ha/anno



Foraggio: quintali di sostanza verde per ettaro,  
Alternativa tecnica fustaia, soprassuoli a  
faggio

q/ha/anno



# Caso di studio

*Individuazione dei coefficienti tecnici e formulazione della funzione obiettivo*

**Obiettivo «c» → massimizzazione della potenzialità faunistica**

Tipologia di soprassuolo	Produzione foraggera (q s.v./ha/anno)	
	A.T.A	A.T.B
Ceduo di castagno di I classe di fertilità	0,24	11,04
Ceduo di castagno di II classe di fertilità	0,17	5,7
Ceduo di faggio di I classe di fertilità	0,34	0,75
Ceduo di faggio di II classe di fertilità	0,255	0,61

$$MAX [0,24S_{1,A} + 11,04S_{1,B} + 0,17S_{2,A} + 5,7S_{2,B} + 0,34S_{3,A} + 0,75S_{3,B} + 0,255S_{4,A} + 0,61S_{4,B}]$$

# Caso di studio

*Individuazione dei coefficienti tecnici e formulazione della funzione obiettivo*

**Obiettivo «d» → massimizzazione dell'occupazione**

Tipologia di soprassuolo	gradi di attività (gg.lav./ha/anno)	
	A.T.A	A.T.B
Ceduo di castagno di I classe di fertilità	2,74	1,93
Ceduo di castagno di II classe di fertilità	2,72	1,43
Ceduo di faggio di I classe di fertilità	1,69	0,73
Ceduo di faggio di II classe di fertilità	1,66	0,73

$$MAX [2,74S_{1,A} + 1,93S_{1,B} + 2,72S_{2,A} + 1,43S_{2,B} + 1,69S_{3,A} + 0,73S_{3,B} + 1,66S_{4,A} + 0,73S_{4,B}]$$



# Caso di studio

## *Vincoli strutturali (superficie)*

Ceduo di castagno di I classe di fertilità	$S_{1,A} + S_{1,B} = 372,00$
Ceduo di castagno di II classe di fertilità	$S_{2,A} + S_{2,B} = 144,60$
Ceduo di faggio di I classe di fertilità	$S_{3,A} + S_{3,B} = 310,00$
Ceduo di faggio di II classe di fertilità	$S_{4,A} + S_{4,B} = 139,50$

## *Vincoli tecnici (numero visite minimo, quintali di foraggio minimi e occupazione minima generata)*

$$1,5S_{1,A} + 7,5S_{1,B} + 1,25S_{2,A} + 7S_{2,B} + 1S_{3,A} + 5S_{3,B} + 0,75S_{4,A} + 3,5S_{4,B} \geq 2000$$

$$0,24S_{1,A} + 11,04S_{1,B} + 0,17S_{2,A} + 5,7S_{2,B} + 0,34S_{3,A} + 0,75S_{3,B} + 0,255S_{4,A} + 0,61S_{4,B} \geq 2500$$

$$2,74S_{1,A} + 1,93S_{1,B} + 2,72S_{2,A} + 1,43S_{2,B} + 1,69S_{3,A} + 0,73S_{3,B} + 1,66S_{4,A} + 0,73S_{4,B} \geq 1200$$

# Caso di studio

*Modello di programmazione lineare (massimizzare la produzione legnosa)*

$$MAX [8,57 S_{1,A} + 5 S_{1,B} + 6,28 S_{2,A} + 4 S_{2,B} + 4,57 S_{3,A} + 3 S_{3,B} + 3,4 S_{4,A} + 2,5 S_{4,B}]$$

*s. t.*

$$1,5 S_{1,A} + 7,5 S_{1,B} + 1,25 S_{2,A} + 7 S_{2,B} + 1 S_{3,A} + 5 S_{3,B} + 0,75 S_{4,A} + 3,5 S_{4,B} \geq 2000$$

$$0,24 S_{1,A} + 11,04 S_{1,B} + 0,17 S_{2,A} + 5,7 S_{2,B} + 0,34 S_{3,A} + 0,75 S_{3,B} + 0,255 S_{4,A} + 0,61 S_{4,B} \geq 2500$$

$$2,74 S_{1,A} + 1,93 S_{1,B} + 2,72 S_{2,A} + 1,43 S_{2,B} + 1,69 S_{3,A} + 0,73 S_{3,B} + 1,66 S_{4,A} + 0,73 S_{4,B} \geq 1200$$

$$S_{1,A} + S_{1,B} = 372,00$$

$$S_{2,A} + S_{2,B} = 144,60$$

$$S_{3,A} + S_{3,B} = 310,00$$

$$S_{4,A} + S_{4,B} = 139,50$$

# Caso di studio

*...praticamente...*

$$MAX [8,57 S_{1,A} + 5 S_{1,B} + 6,28 S_{2,A} + 4 S_{2,B} + 4,57 S_{3,A} + 3 S_{3,B} + 3,4 S_{4,A} + 2,5 S_{4,B}]$$

s. t.

$$1,5 S_{1,A} + 7,5 S_{1,B} + 1,25 S_{2,A} + 7 S_{2,B} + 1 S_{3,A} + 5 S_{3,B} + 0,75 S_{4,A} + 3,5 S_{4,B} \geq 2000$$

$$0,24 S_{1,A} + 11,04 S_{1,B} + 0,17 S_{2,A} + 5,7 S_{2,B} + 0,34 S_{3,A} + 0,75 S_{3,B} + 0,255 S_{4,A} + 0,61 S_{4,B} \geq 2500$$

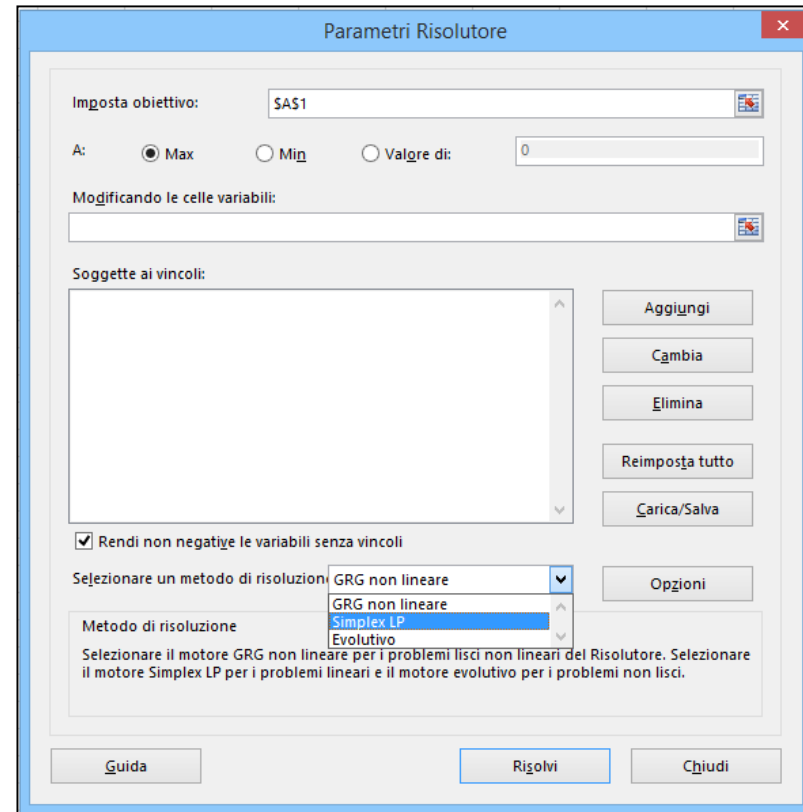
$$2,74 S_{1,A} + 1,93 S_{1,B} + 2,72 S_{2,A} + 1,43 S_{2,B} + 1,69 S_{3,A} + 0,73 S_{3,B} + 1,66 S_{4,A} + 0,73 S_{4,B} \geq 1200$$

$$S_{1,A} + S_{1,B} = 372,00$$

$$S_{2,A} + S_{2,B} = 144,60$$

$$S_{3,A} + S_{3,B} = 310,00$$

$$S_{4,A} + S_{4,B} = 139,50$$



# Caso di studio

## *Risultati*

Valore della funzione obiettivo: 5.245 metri cubi per anno di produzione legnosa

Obbiettivi trattati come vincoli:

- 2.500 quintali di foraggio per anno;
- 2.401 visite per anno
- 2.000 giornate lavorative per anno.

I trattamenti selvicolturali da adottare su ciascun soprassuolo (cioè i valori delle variabili decisionali) sono i seguenti:

Tipologia di soprassuolo	Ceduo (A.T. A) ha	Fustaia (A.T. B) ha
Ceduo di castagno di I classe di fertilità ( $S_1$ )	163,68	208,32
Ceduo di castagno di II classe di fertilità ( $S_2$ )	144,60	0
Ceduo di faggio di I classe di fertilità ( $S_3$ )	310,00	0
Ceduo di faggio di II classe di fertilità ( $S_4$ )	139,50	0

# Considerazioni su PL



- Semplicità
- Affidabilità



- Rigidità (massimizzazione di un solo obiettivo; settaggio a priori di traguardi minimi, ecc.).
  - Casi limite:
    - il decisore indica traguardi non realizzabili (modello non risolvibile);
    - il decisore indica traguardi realizzabili, ma che deprimono eccessivamente il valore della funzione da massimizzare, ottenendo così soluzioni non soddisfacenti;
    - il decisore non è in grado di individuare a priori il valore di uno o più traguardi;
    - il decisore non è in grado di scegliere quale obiettivo debba essere massimizzato.
- Possibilità di applicare congiuntamente PL in modelli di analisi multicriteriale