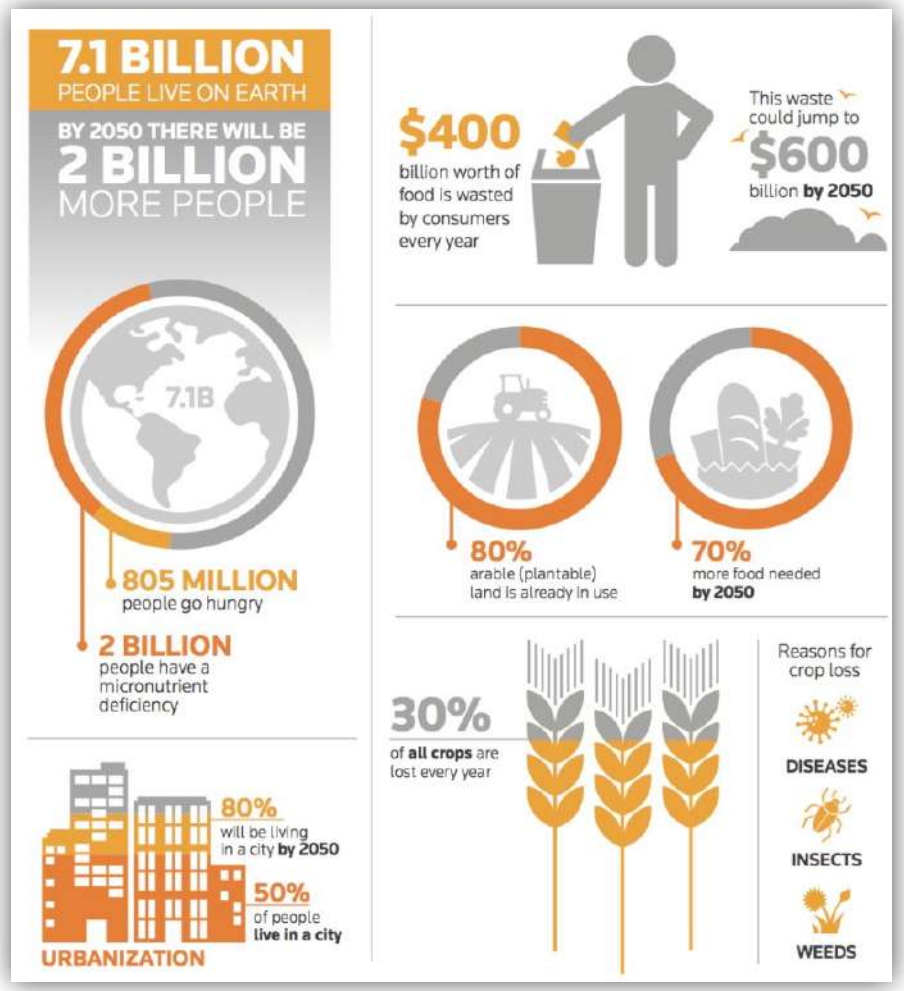
Dr. Tito Caffi
tito.caffi@unicatt.it

UNIVERSITÀ CATTOLICA del Sacro Cuore
DIPROVES
Area Difesa Sostenibile

Modelli previsionali per la difesa della vite

23 Giugno 2021

Introduzione – *L'agricoltura sostenibile*

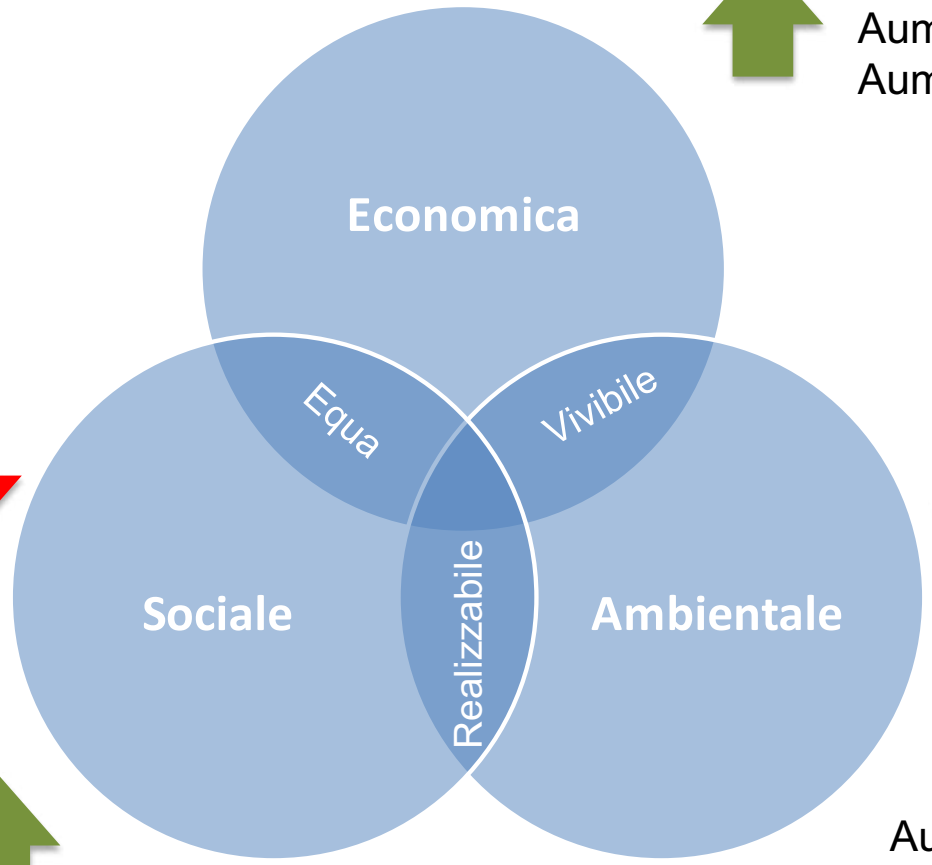


La protezione delle colture

Aumento della resa
Aumento della qualità
Aumento della redditività

Effetti negativi sulla salute umana
- Operatori agricoli
- Comunità rurali
- Passanti
- Consumatori

Ridotta *food safety* (residui)

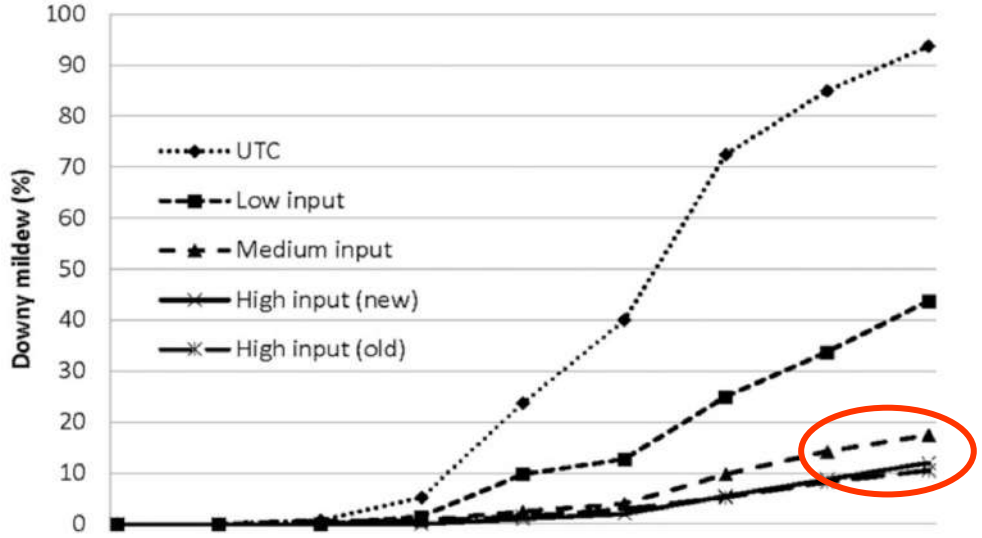


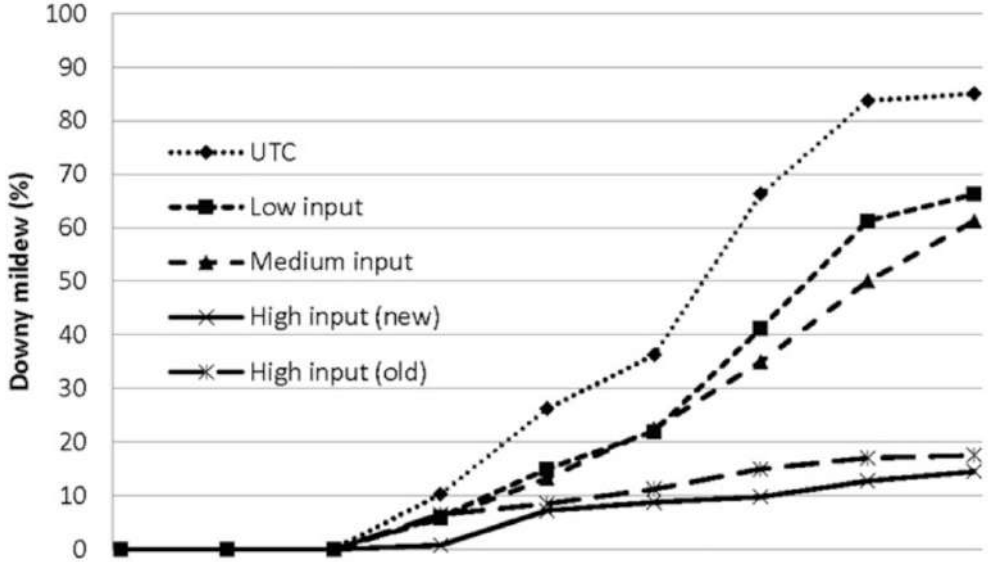
Effetti negativi sugli organismi non-target
- Suolo
- Acqua
- Aria
- Vegetazione

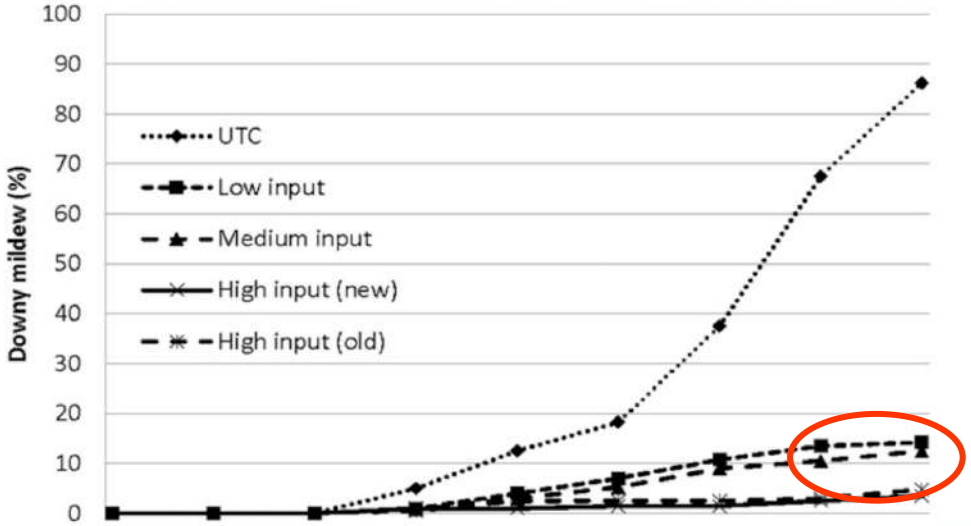
Aumento della *food security* e dei valori nutrizionali
Impiego
- Operatori agricoli
- Produttori di PF, macchine per i trattamenti, etc.

Imprenditorialità

Aumento *carbon storage* nelle colture
Riduzione della *carbon footprint*
Riduzione della *ecological footprint*
Aumento dei servizi ecosistemici



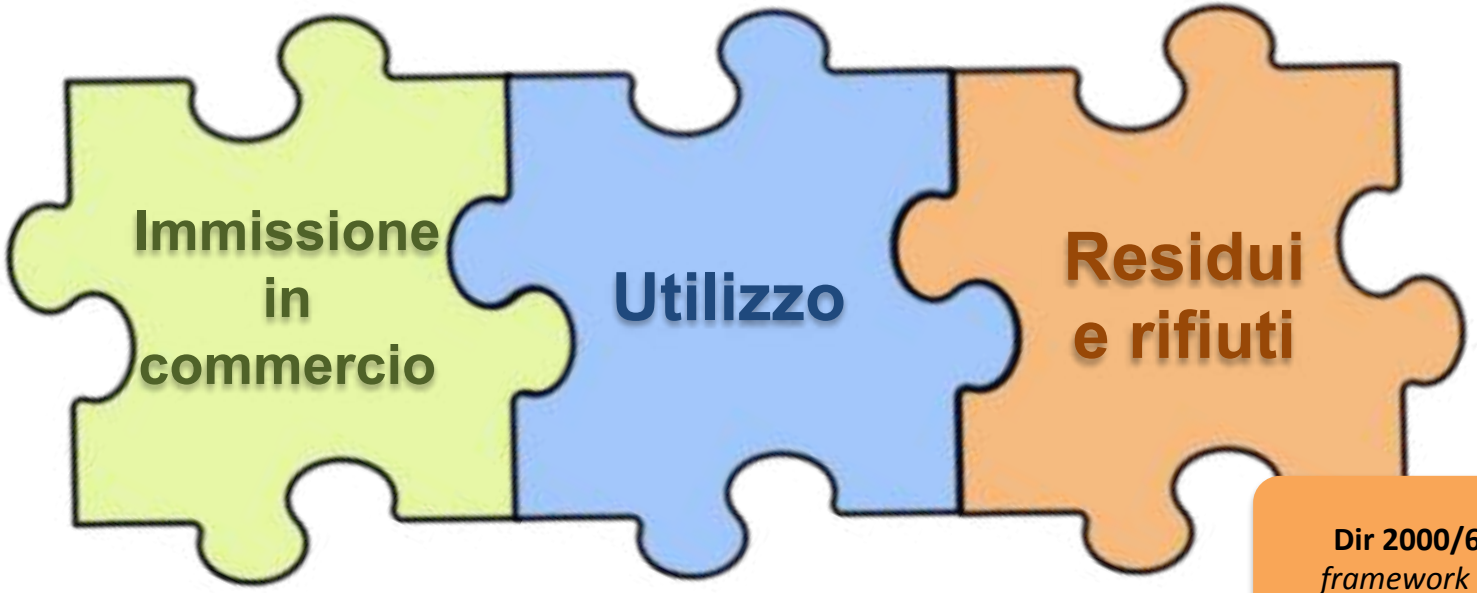




Downy mildew (US)

Nel **60% dei casi** la differenza tra strategie a medio e alto apporto di input non comporta un aumento proporzionale nella qualità della difesa

Introduzione – *La strategia Europea*



Reg (EC) 1107/2009
su PPP

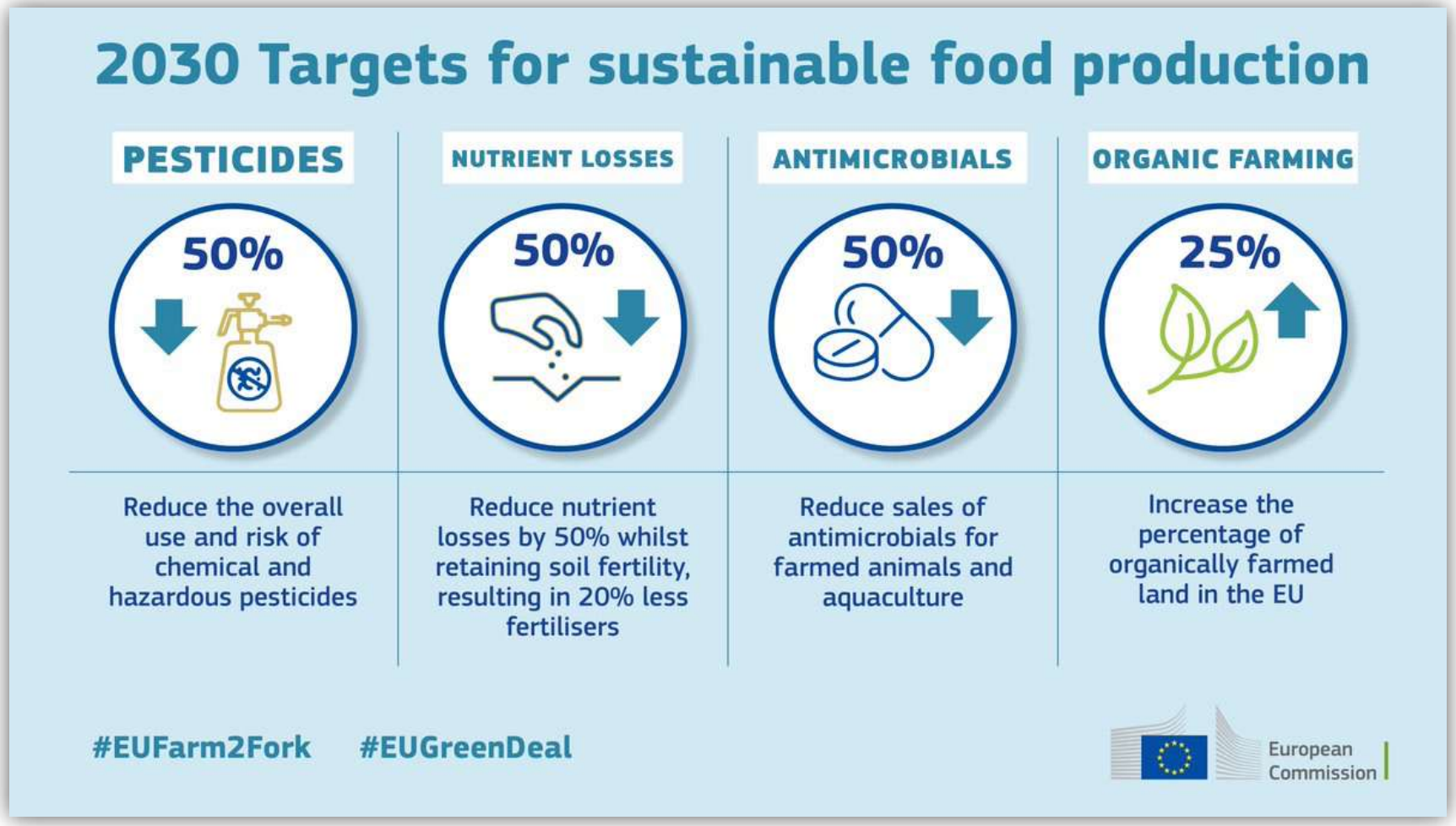
Dir 98/8/EC
Biocidal Products

Dir 2009/128/EC
"uso sostenibile"

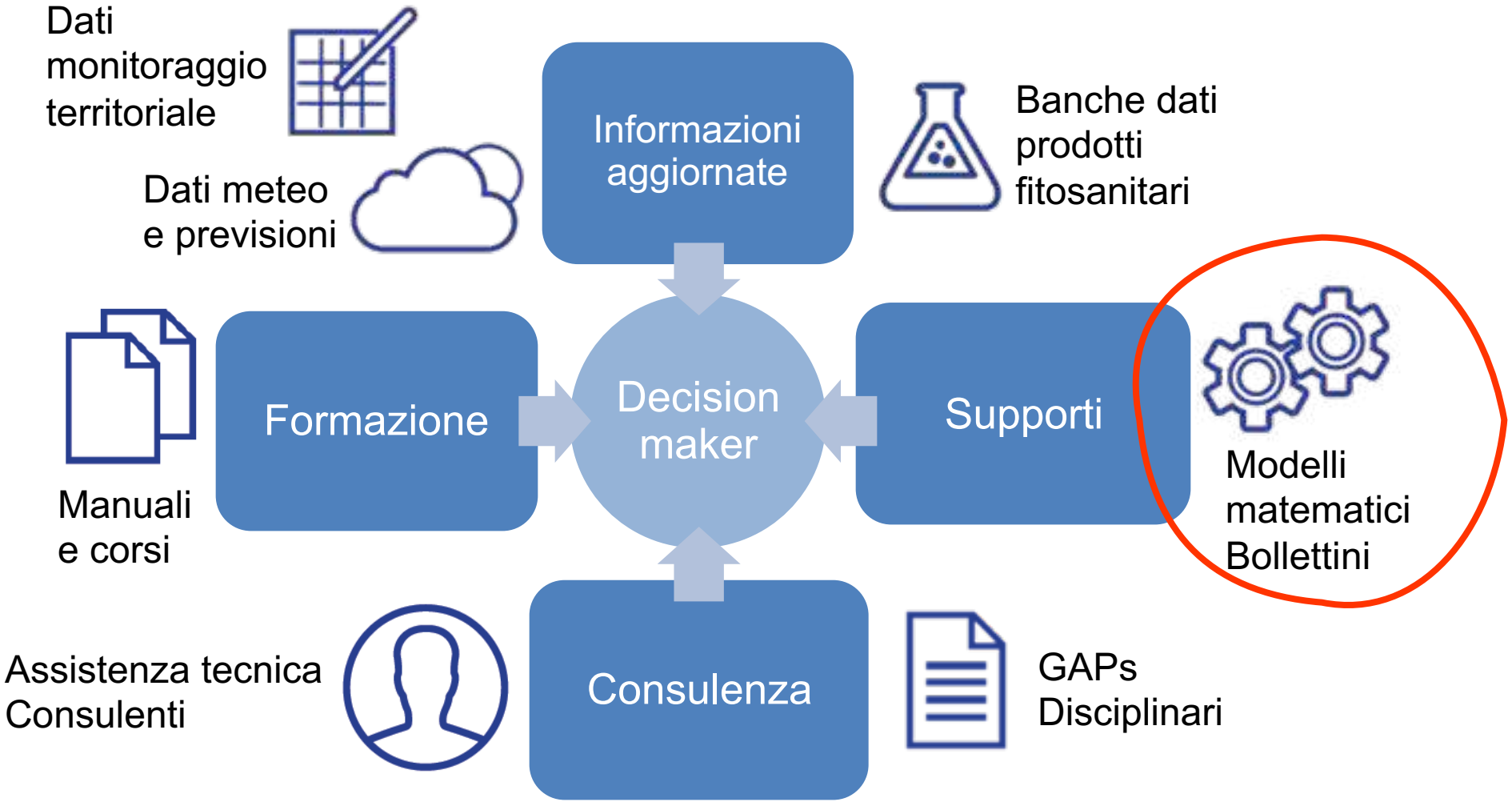
Dir 2000/60/EC
framework acqua

Reg (EC) 396/2005
su residui

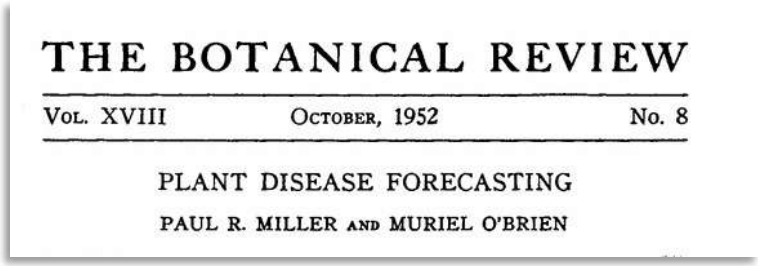
Dir 2006/12/EC
Dir 91/689/EC
sui rifiuti pericolosi


2030 Targets for sustainable food production
PESTICIDES
50%
Reduce the overall use and risk of chemical and hazardous pesticides
NUTRIENT LOSSES
50%
Reduce nutrient losses by 50% whilst retaining soil fertility, resulting in 20% less fertilisers
ANTIMICROBIALS
50%
Reduce sales of antimicrobials for farmed animals and aquaculture
ORGANIC FARMING
25%
Increase the percentage of organically farmed land in the EU
#EUFarm2Fork
#EUGreenDeal
European Commission

Introduzione – *Le ripercussioni pratiche*



A partire dalla **seconda metà del secolo scorso**, molti modelli sono stati sviluppati **per migliorare il controllo delle malattie**

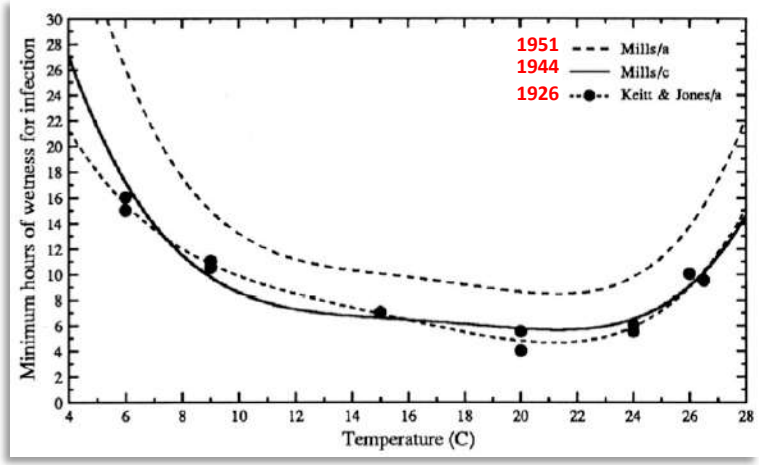


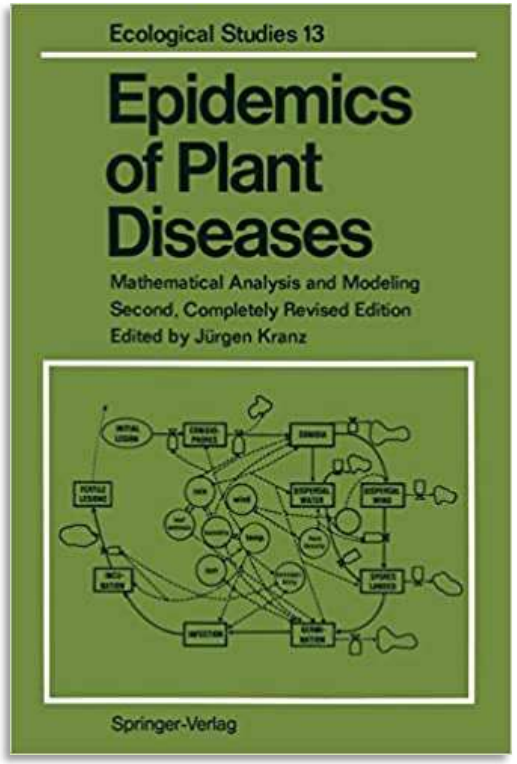
THE BOTANICAL REVIEW

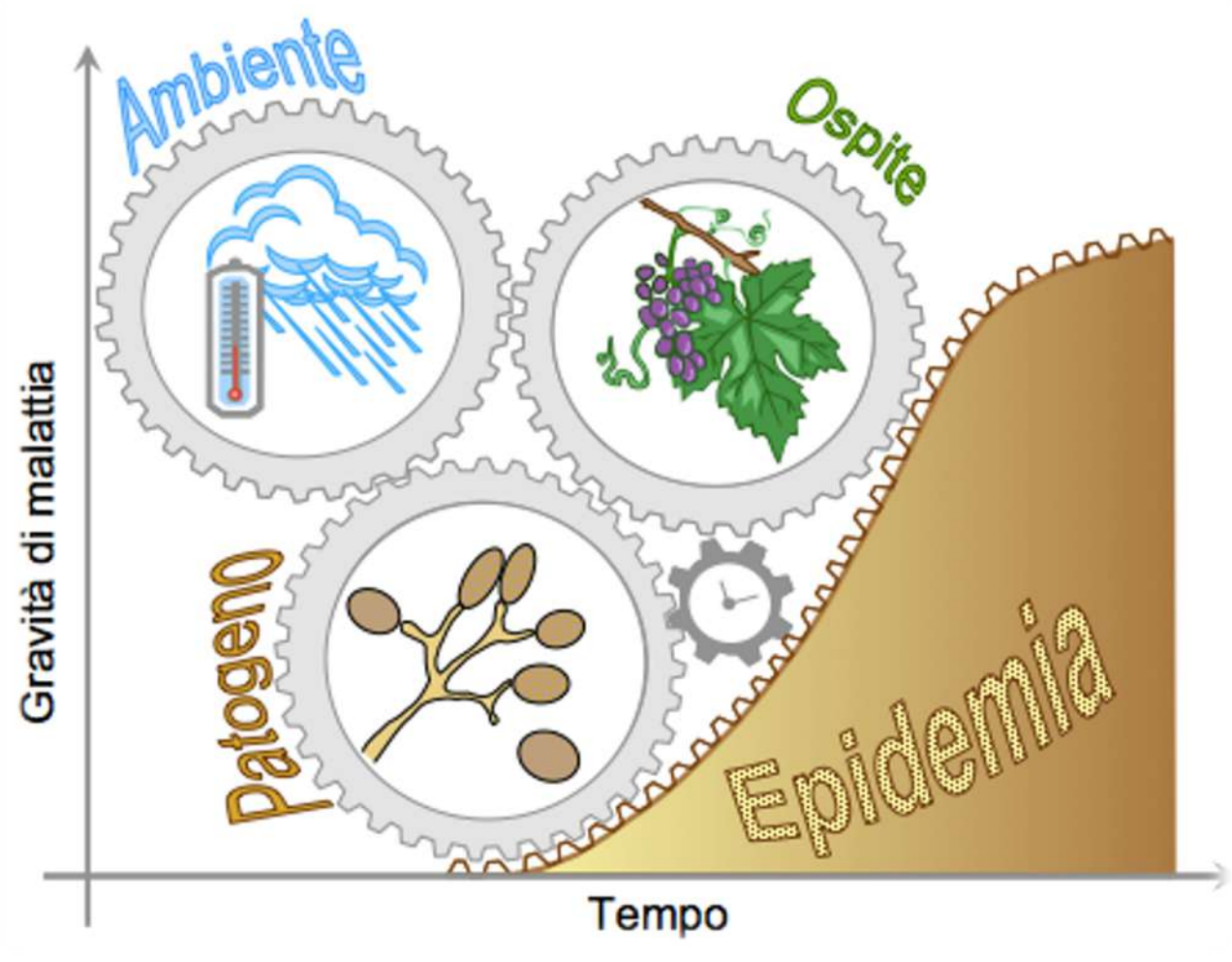
VOL. XVIII OCTOBER, 1952 No. 8

PLANT DISEASE FORECASTING

PAUL R. MILLER AND MURIEL O'BRIEN







Un modello è una **rappresentazione semplificata** di una **realtà complessa**

Nel nostro caso del **triangolo della malattia**, ovvero delle relazioni tra un **patogeno**, una **pianta ospite** e l'**ambiente** che determina **come un'epidemia si sviluppa** nel tempo e/o nello spazio

Approcci differenti sono stati usati per sviluppare modelli per le malattie delle piante, con significativi miglioramenti nel tempo

Modelli empirici

Descrivono il sistema con equazioni matematiche ▶ ***data-based*** *models*

Modelli meccanicistici

Descrivono il sistema in base alle conoscenze su come il sistema funziona in relazione alle variabili guida ▶ ***process-based*** *models*

Le informazioni derivano da osservazioni ed analisi *a posteriori* di dati di campo sulla malattia che le collegano alle variabili ambientali che la influenzano senza fornire **nessuna spiegazione circa le relazioni di causa-effetto**

I passi principali per lo sviluppo di un modello empirico:

1. Raccolta dati sulla malattia e sui fattori biologici e meteo;
2. Analisi delle relazioni quantitative per definire quali sono le variabili maggiormente determinanti;
3. Elaborazione del modello attraverso:
    - regole empiriche
    - analisi di regressione
    - analisi non parametriche
    - modelli stocastici
    - reti neurali
4. Validazione del modello

La modellistica a supporto della difesa – *La timeline in viticoltura*

Regola dei 3-10

1947 **1954**

INDICI EPIDEMIOLOGICI RELATIVI ALLA PERONOSPORA DELLA VITE

NB: INTERVENIRE VICINO a 80%

Valutazione del periodo di incubazione			Calcolo della percentuale giornaliera di incubazione		
Temperatura media (°C) (1)	Durata del periodo di incubazione (giorni)		Temperatura media (°C) (1)	% giornaliera della durata del periodo di incubazione	
	Umidità atmosferica bassa (2)	Umidità atmosferica alta		Umidità atmosferica bassa (2)	Umidità atmosferica alta
14	15	11	14	6,6	9,0
15	13	9,5	15	7,6	10,5
16	11,5	8,5	16	8,6	11,7
17	10	7,5	17	10,0	13,3
18	9	6,5	18	11,1	15,3
19	8	6	19	12,5	16,6
20	7	5	20	14,2	20,0
21	6,5	4,5	21	15,3	22,2
22	6	4,5	22	16,6	22,2
23	5,5	4	23	18,1	25,0
24	5,5	4	24	18,1	25,0
25	6	4,5	25	16,6	22,2
26	6	4,5	26	16,6	22,2

(1) Espressa come media aritmetica dei quattro valori: massimo, minimo, alle ore 9 e alle ore 21.
(2) Per i periodi con alternanza di giorni nuvolosi, piovosi e giorni sereni, i dati avranno valore intermedio a quelli indicati nelle due colonne della tabella.

Calendario di Goidanich

Sono stati elaborati utilizzando i dati raccolti in condizioni di pieno campo già a partire dalla seconda metà del secolo scorso

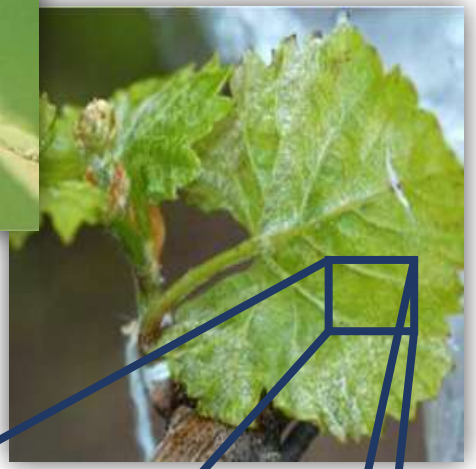
La cosiddetta **regola dei tre-dieci** per identificare la prima infezione primaria stagionale della peronospora della vite è un **precursore di questo tipo di modelli**

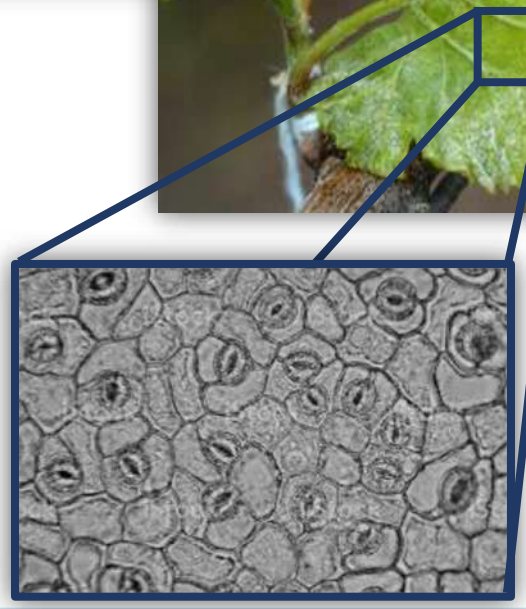
Questa regola è stata derivata **dall'analisi di osservazioni di pieno campo sui primi sintomi stagionali di peronospora** in Oltrepo Pavese (1941-1946)

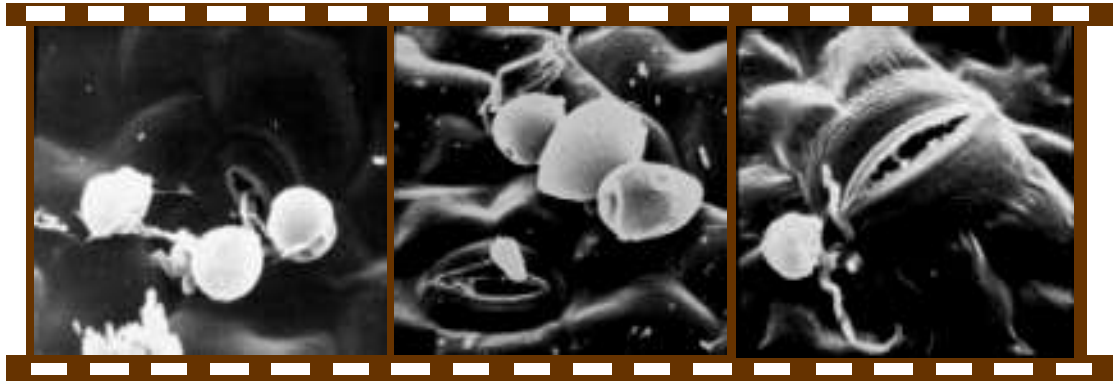
Identificate delle **condizioni minime comuni all'interno di questo data-set** per la comparsa dei sintomi:

- pioggia ≥ 10 mm in 24-48 ore
- temperatura ≥ 10°C
- lunghezza germoglio 10 cm

La modellistica a supporto della difesa – *l'approccio empirico*







La modellistica a supporto della difesa – *La timeline in viticoltura*

Regola dei 3-10

Modello EPI

1947 **1954** **1980**

INDICI EPIDEMIOLOGICI RELATIVI ALLA PERONOSPORA DELLA VITE

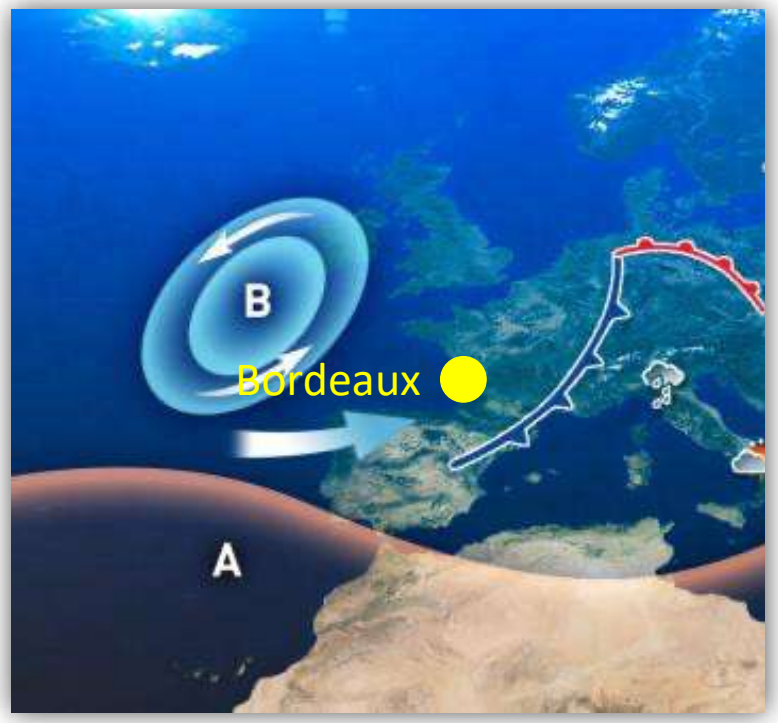
NB: INTERVENIRE VICINO a 80%

Valutazione del periodo di incubazione			Calcolo della percentuale giornaliera di incubazione		
Temperatura media (°C) (1)	Durata del periodo di incubazione (giorni)		Temperatura media (°C) (1)	% giornaliera della durata del periodo di incubazione	
	Umidità atmosferica bassa (2)	Umidità atmosferica alta		Umidità atmosferica bassa (2)	Umidità atmosferica alta
14	15	11	14	6,6	9,0
15	13	9,5	15	7,6	10,5
16	11,5	8,5	16	8,6	11,7
17	10	7,5	17	10,0	13,3
18	9	6,5	18	11,1	15,3
19	8	6	19	12,5	16,6
20	7	5	20	14,2	20,0
21	6,5	4,5	21	15,3	22,2
22	6	4,5	22	16,6	22,2
23	5,5	4	23	18,1	25,0
24	5,5	4	24	18,1	25,0
25	6	4,5	25	16,6	22,2
26	6	4,5	26	16,6	22,2

(1) Espressa come media aritmetica dei quattro valori: massimo, minimo, alle ore 9 e alle ore 21.
(2) Per i periodi con alternanza di giorni nuvolosi, piovosi e giorni sereni, i dati avranno valore intermedio a quelli indicati nelle due colonne della tabella.

Calendario di Goidanich

La modellistica a supporto della difesa – *l'approccio empirico*



- Grandissima base dati => 90 anni di comparse + dati meteo
- L'equazione per le infezioni NON comprende il fattore pioggia
- La semplice analisi statistica e matematica dei dati non permette di cogliere gli aspetti biologici (anche se chiave)

La modellistica a supporto della difesa – *La timeline in viticoltura*

Regola dei 3-10

Modello EPI

1947 **1954** **1980** **2000**

INDICI EPIDEMIOLOGICI RELATIVI ALLA PERONOSPORA DELLA VITE

NB: INTERVENIRE VICINO a 80%

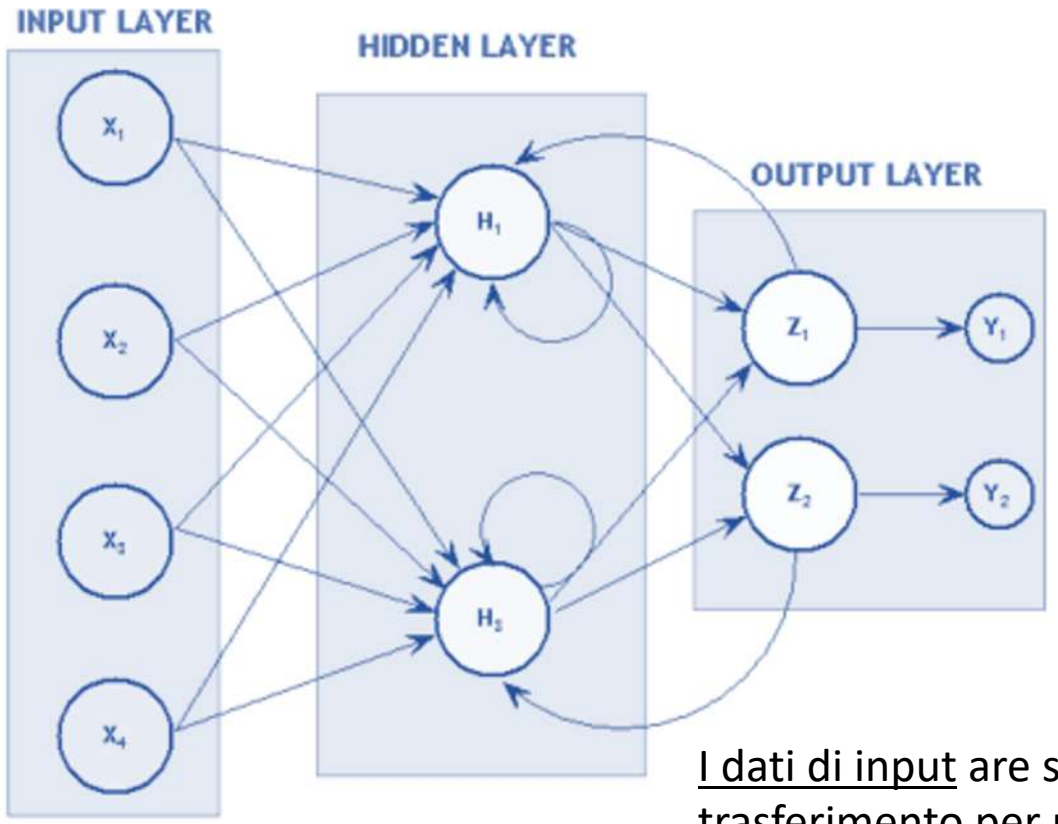
Valutazione del periodo di incubazione			Calcolo della percentuale giornaliera di incubazione		
Temperatura media (°C) (1)	Durata del periodo di incubazione (giorni)		Temperatura media (°C) (1)	% giornaliera della durata del periodo di incubazione	
	Umidità atmosferica bassa (2)	Umidità atmosferica alta		Umidità atmosferica bassa (2)	Umidità atmosferica alta
14	15	11	14	6,6	9,0
15	13	9,5	15	7,6	10,5
16	11,5	8,5	16	8,6	11,7
17	10	7,5	17	10,0	13,3
18	9	6,5	18	11,1	15,3
19	8	6	19	12,5	16,6
20	7	5	20	14,2	20,0
21	6,5	4,5	21	15,3	22,2
22	6	4,5	22	16,6	22,2
23	5,5	4	23	18,1	25,0
24	5,5	4	24	18,1	25,0
25	6	4,5	25	16,6	22,2
26	6	4,5	26	16,6	22,2

(1) Espressa come media aritmetica dei quattro valori: massimo, minimo, alle ore 9 e alle ore 21.
(2) Per i periodi con alternanza di giorni nuvolosi, piovosi e giorni sereni, i dati avranno valore intermedio a quelli indicati nelle due colonne della tabella.

Calendario di Goidanich

Reti Neurali Artificiali

Metodi complessi di analisi (come le **Reti Neurali Artificiali**) permettono di approfondire le correlazioni all'interno del dataset, ma **non modificano l'approccio modellistico**



La Rete Neurale Artificiale è in grado di "imparare" un compito aggiustando e modificando i pesi delle relazioni tra i dati

I dati di input are sono pesati e sommati con la loro distorsione e usati in una funzione di trasferimento per produrre gli output

La modellistica a supporto della difesa – *l'approccio empirico*

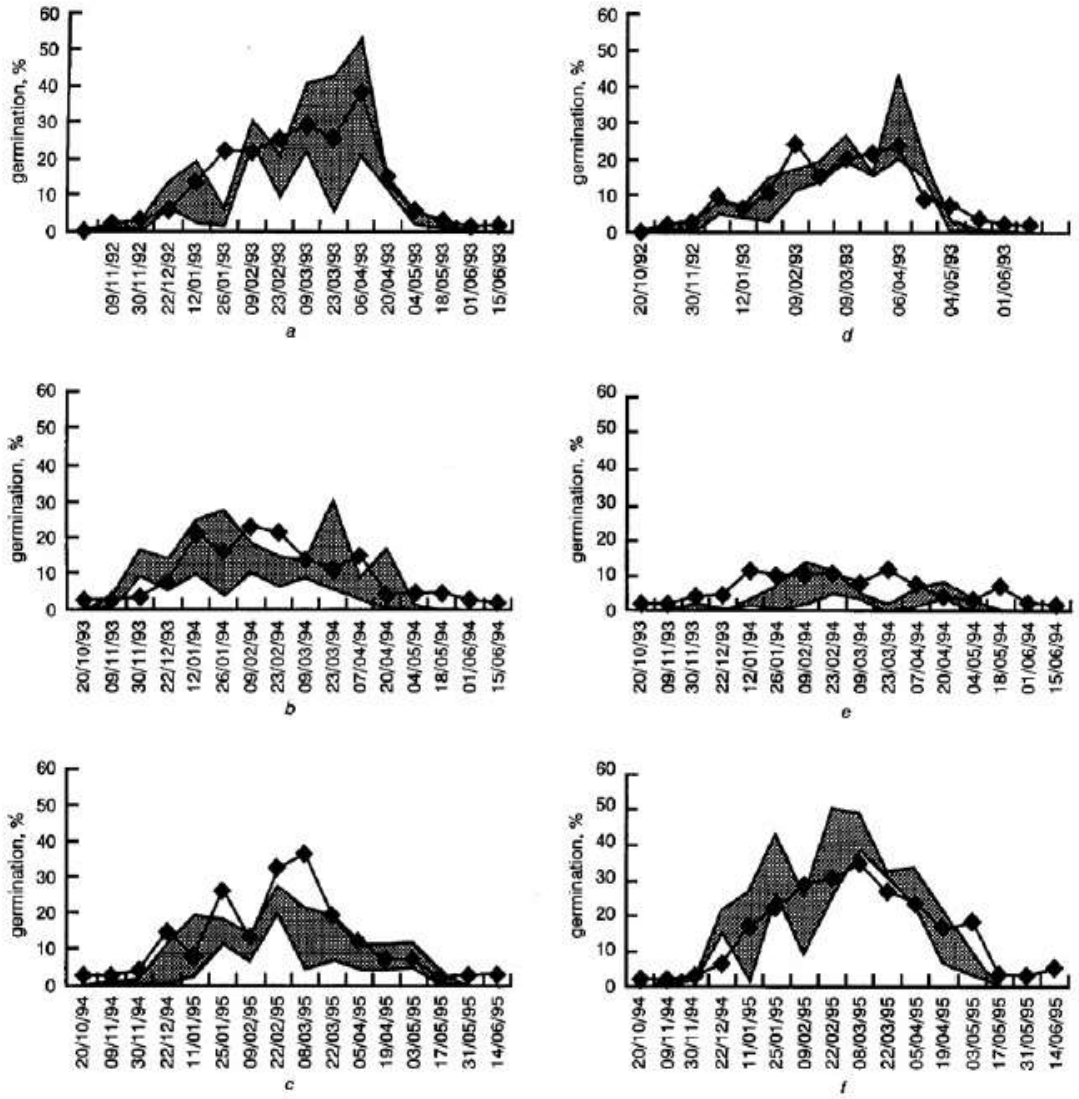
<u>Dataset</u>:

- % germinazione oospore
- dati di temperature e piogge
- germinazione della settimana precedente
- 288 patterns disponibili

<u>Output</u>

La correlazione più robusta tra i dati reali e le germinazioni stimate è risultata essere quella tra:

- Media meteorologica degli **ultimi 40 giorni** prima del campionamento;
- **% di germinazione osservato** nel campionamento precedente a quello attuale



Dati reali: bande (min-max)

Dati stimati: diamanti neri

Vercesi A. et al., 2000. *Medical & Biological Engineering & Computing*, 38, 109-112

"Facili" da elaborare

Non richiedono un'approfondita conoscenza biologica

Necessaria una grossa quantità di dati

Simulazioni poco rappresentative

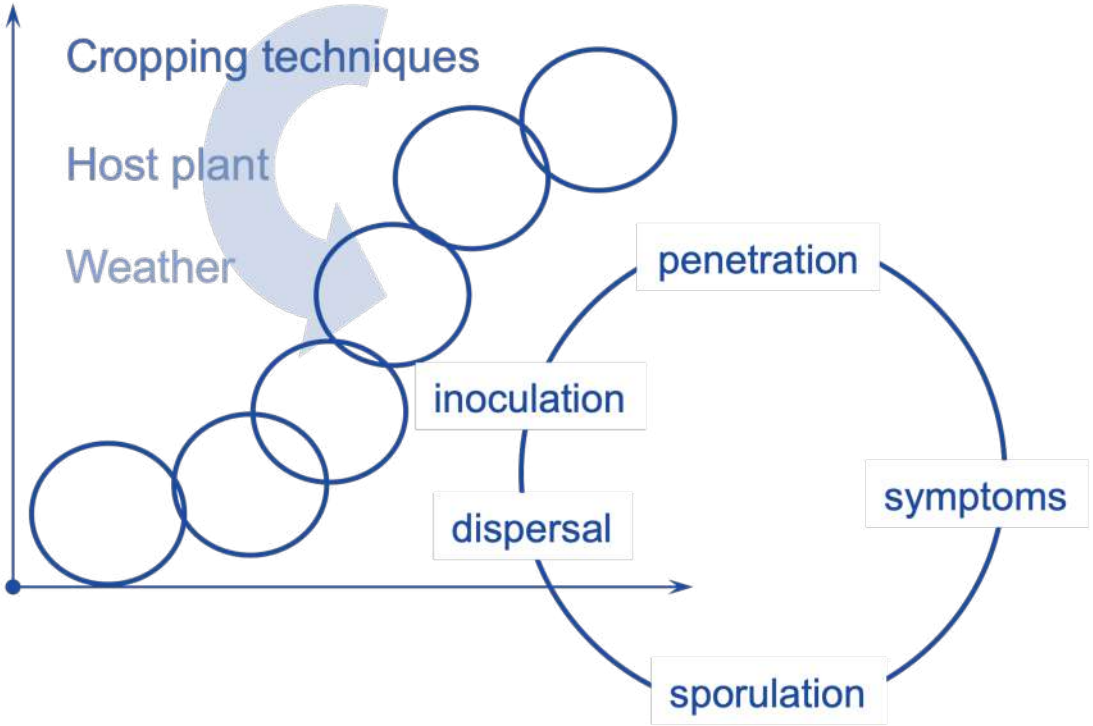
Nessuna informazione sui processi biologici

Impossibile ottenere una generalizzazione

Non predicono al di fuori del range dei dati

Sempre necessaria validazione e calibrazione

Le informazioni derivano da esperimenti specifici (*ad hoc*), effettuati in ambiente controllato o in campo per **descrivere l'effetto dei fattori influenti su uno o più aspetti del patosistema**



Questi modelli analizzano in dettaglio i differenti stati del ciclo di infezione e/o malattia e i loro cambiamenti nel tempo in seguito all'influenza delle variabili ambientali

I passi fondamentali nell'elaborazione dei modelli meccanicistici:

1. Definizione degli stati (rilevanti) del ciclo di infezione/malattia
2. Definizione delle variabili che agiscono nel patosistema, le loro relazioni e cambiamenti nel tempo
3. Definizione del diagramma di flusso
4. Ricerca (bibliografica) o attraverso esperimenti ad hoc per definire le relazioni quantitative tra le diverse variabili
5. Sviluppo delle relazioni matematiche

La modellistica a supporto della difesa – *La timeline in viticoltura*

Regola dei 3-10

Modello EPI

1947 **1954** **1980** **2000** **2008**

INDICI EPIDEMIOLOGICI RELATIVI ALLA PERONOSPORA DELLA VITE

NB: INTERVENIRE VICINO a 80%

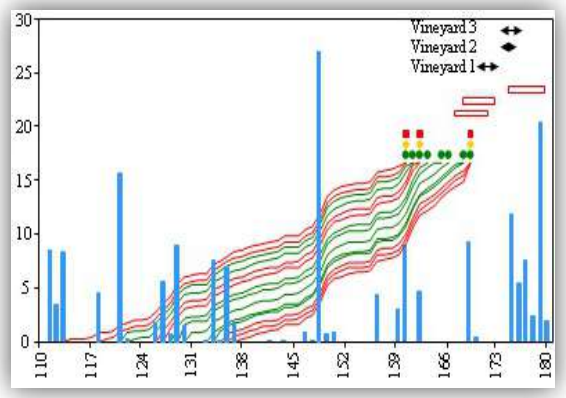
Valutazione del periodo di incubazione			Calcolo della percentuale giornaliera di incubazione		
Temperatura media (°C) (1)	Durata del periodo di incubazione (giorni)		Temperatura media (°C) (1)	% giornaliera della durata del periodo di incubazione	
	Umidità atmosferica bassa (2)	Umidità atmosferica alta		Umidità atmosferica bassa (2)	Umidità atmosferica alta
14	15	11	14	6,6	9,0
15	13	9,5	15	7,6	10,5
16	11,5	8,5	16	8,6	11,7
17	10	7,5	17	10,0	13,3
18	9	6,5	18	11,1	15,3
19	8	6	19	12,5	16,6
20	7	5	20	14,2	20,0
21	6,5	4,5	21	15,3	22,2
22	6	4,5	22	16,6	22,2
23	5,5	4	23	18,1	25,0
24	5,5	4	24	18,1	25,0
25	6	4,5	25	16,6	22,2
26	6	4,5	26	16,6	22,2

(1) Espressa come media aritmetica dei quattro valori: massimo, minimo, alle ore 9 e alle ore 21.
(2) Per i periodi con alternanza di giorni nuvolosi, piovosi e giorni sereni, i dati avranno valore intermedio a quelli indicati nelle due colonne della tabella.

Calendario di Goidanich

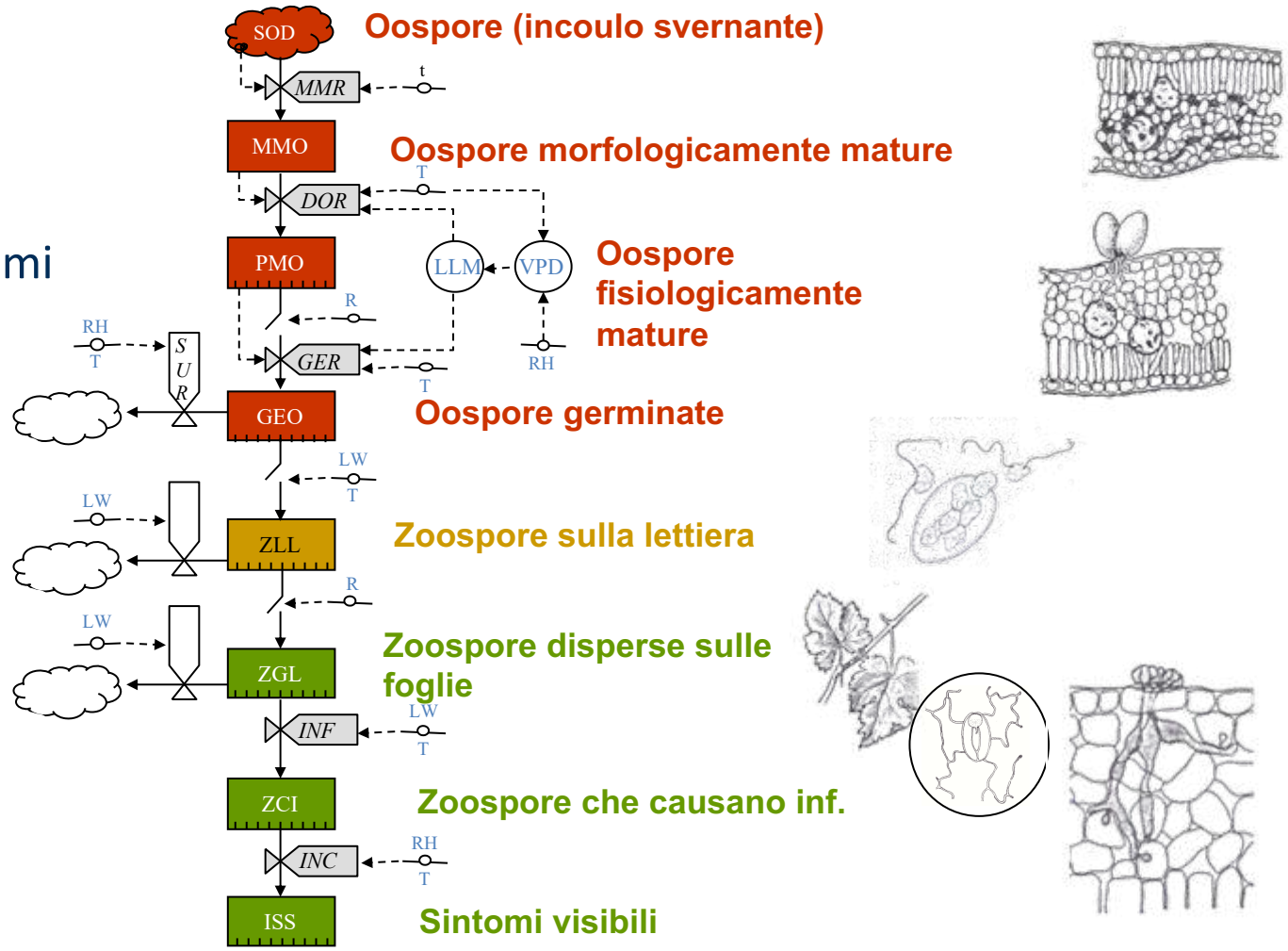
Reti Neurali Artificiali

Modello UCSC



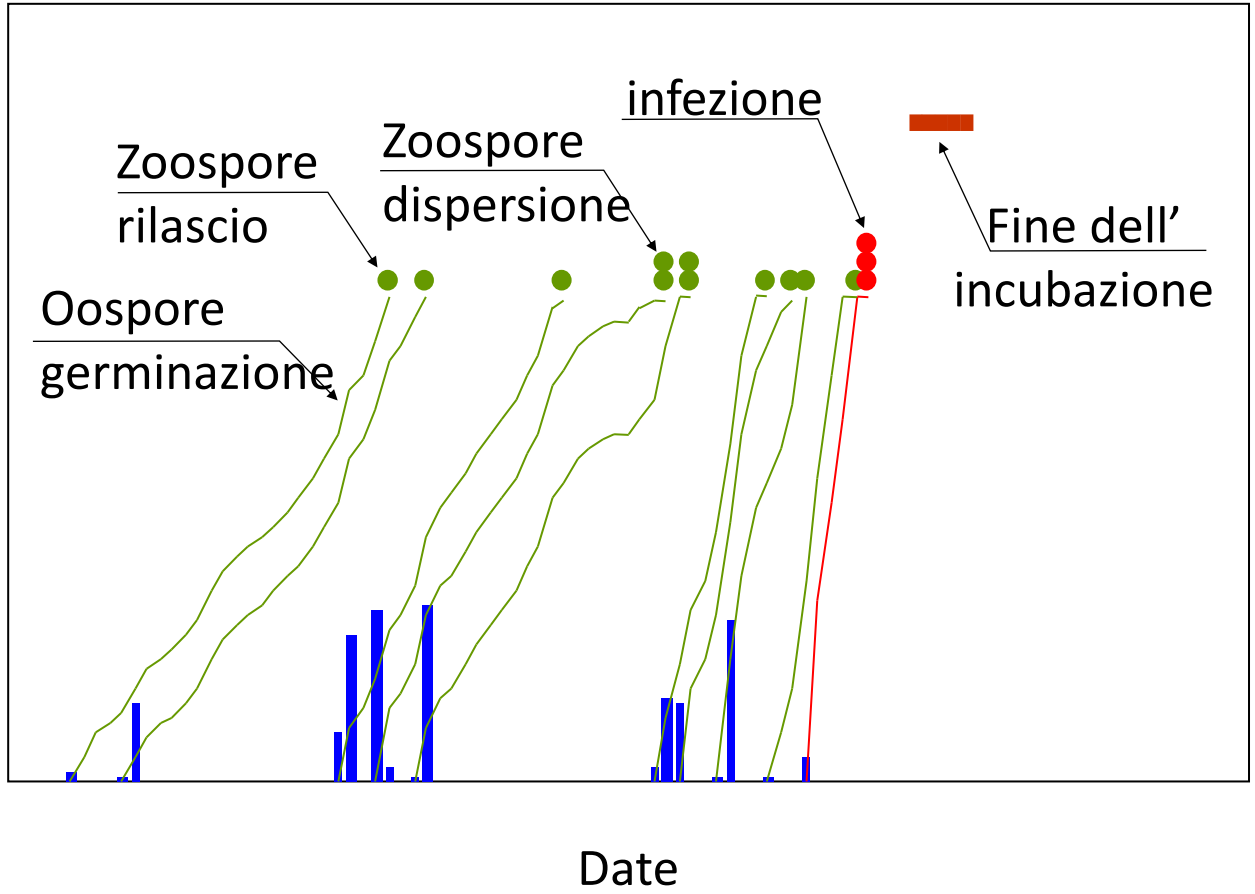
La modellistica a supporto della difesa – *l'approccio meccanicistico*

- Analisi dei sistemi
- Definizione del diagramma relazionale
- Raccolta dei dati/informazioni necessary
- Definizione delle relazioni matematiche e algoritmi
- Simulazione dinamica

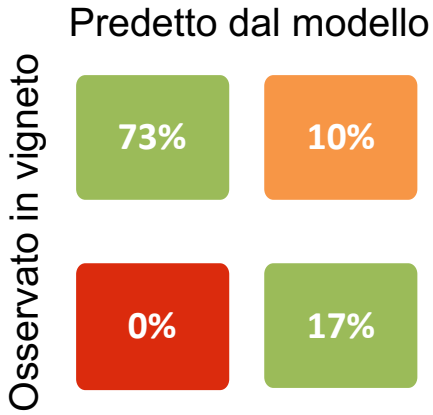


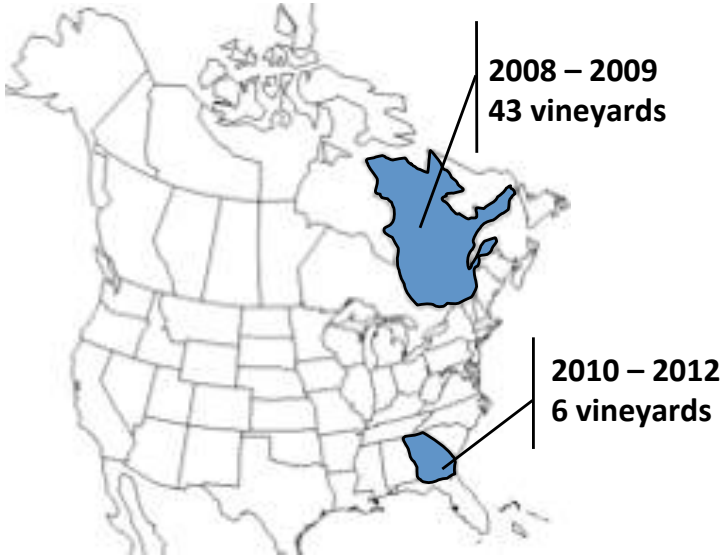
Rossi V. et al., 2008. *Ecological Modelling,* 212, 480-491

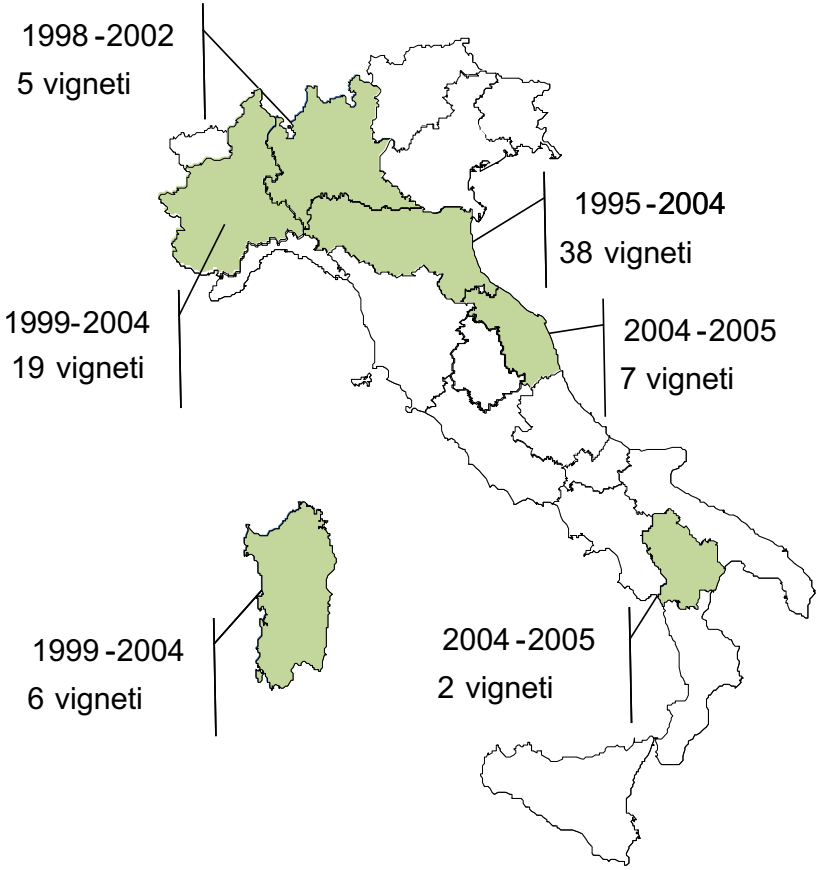
I modelli meccanicistici forniscono un'immagine dettagliata del patosistema:



La modellistica a supporto della difesa – *l'approccio meccanicistico*







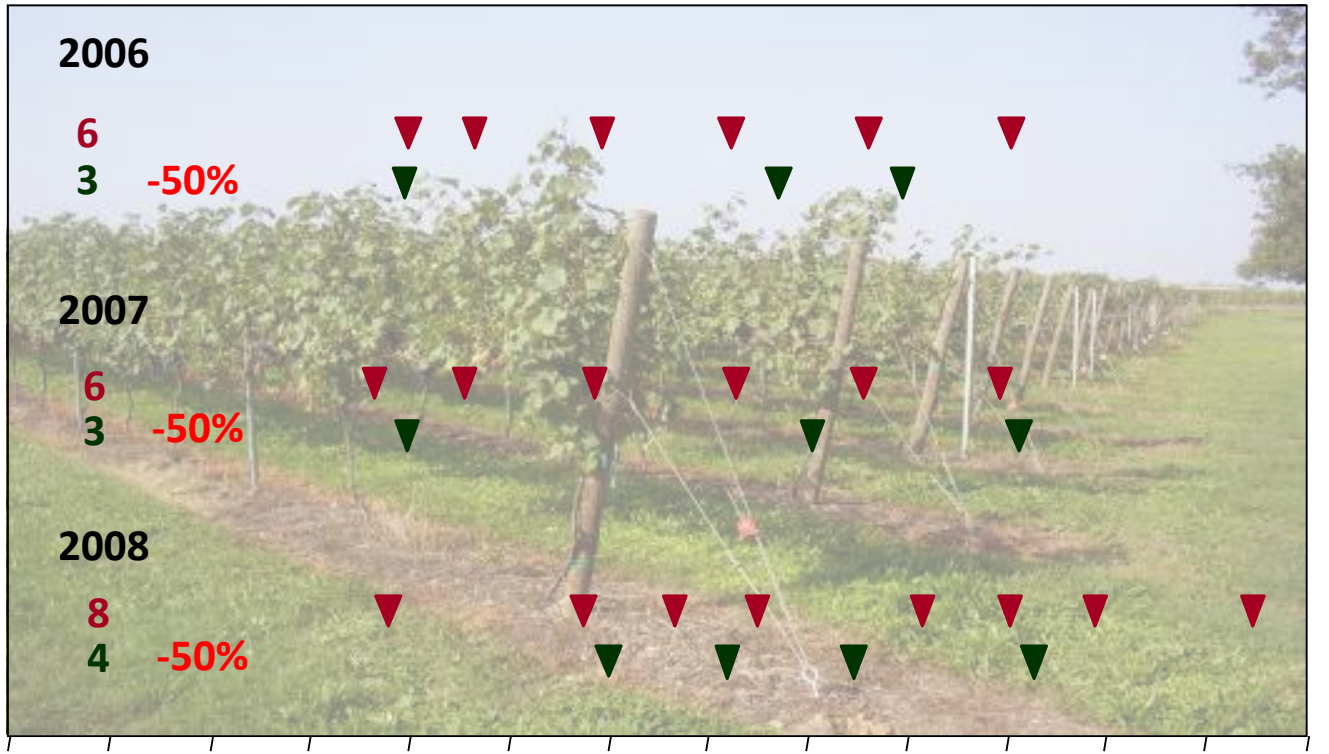
anni x località = 110 vigneti

La modellistica a supporto della difesa – *l'approccio meccanicistico*

Trattamenti fungicidi

Aziendale

Modello



1 8 15 22 29 5 12 19 26 3 10 17 24 30

Aprile Maggio Giugno

Peronospora su grappolo

gravità

2006	0.0%
	0.1%
	0.9%
2007	0.0%
	0.0%
	0.0%
2008	0.0%
	0.2%
	72.2%

Modena

La modellistica a supporto della difesa – *l'approccio meccanicistico*

Alto livello di dettaglio sui processi
Accuratezza e robustezza
Possibile effettuare delle previsioni
Flessibilità

Elevata complessità
Richiedono multidisciplinarità
La loro elaborazione richiede molto tempo
La loro elaborazione richiede alti costi di sviluppo

La (corretta) individuazione del periodo di infezione è solo una parte del processo decisionale

Altre domande alle quali rispondere:

- La pianta è suscettibile?
- La pianta è già (ancora) protetta dall'ultimo trattamento?
- Quale fungicida dovrei usare, e a quale dose?
- Le condizioni ambientali sono favorevoli al trattamento?

Dai modelli al *multiple modelling approach*

- Modelli epidemiologici
- Modelli fenologici
- Modelli per i prodotti fitosanitari (PhMoA, dilavamento, assorbimento, etc.)
- Calcolo della dose (e.g., tree-row volume)
- Multiple decision criteria (e.g., fuzzy decision method)

La modellistica a supporto della difesa – *La timeline in viticoltura*

Regola dei 3-10

Modello EPI

vite.net®

1947 1954 1980 2000 2008 2011

INDICI EPIDEMIOLOGICI RELATIVI ALLA PERONOSPORA DELLA VITE

NB: INTERVENIRE VICINO a 80%

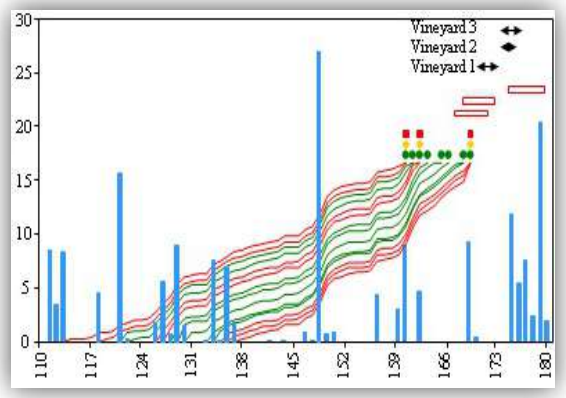
Valutazione del periodo di incubazione			Calcolo della percentuale giornaliera di incubazione		
Temperatura media (°C) (1)	Durata del periodo di incubazione (giorni)		Temperatura media (°C) (1)	% giornaliera della durata del periodo di incubazione	
	Umidità atmosferica bassa (2)	Umidità atmosferica alta		Umidità atmosferica bassa (2)	Umidità atmosferica alta
14	15	11	14	6,6	9,0
15	13	9,5	15	7,6	10,5
16	11,5	8,5	16	8,6	11,7
17	10	7,5	17	10,0	13,3
18	9	6,5	18	11,1	15,3
19	8	6	19	12,5	16,6
20	7	5	20	14,2	20,0
21	6,5	4,5	21	15,3	22,2
22	6	4,5	22	16,6	22,2
23	5,5	4	23	18,1	25,0
24	5,5	4	24	18,1	25,0
25	6	4,5	25	16,6	22,2
26	6	4,5	26	16,6	22,2

(1) Espressa come media aritmetica dei quattro valori: massimo, minimo, alle ore 9 e alle ore 21.
(2) Per i periodi con alternanza di giorni nuvolosi, piovosi e giorni sereni, i dati avranno valore intermedio a quelli indicati nelle due colonne della tabella.

Calendario di Goidanich

Reti Neurali Artificiali

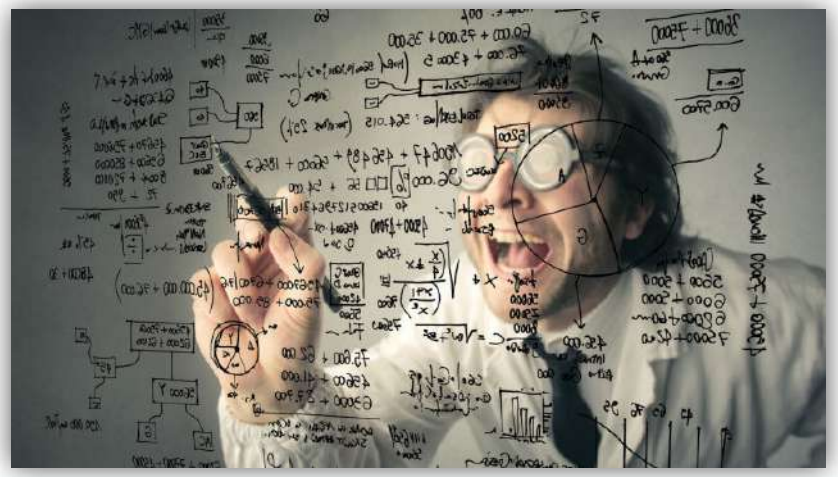
Modello UCSC



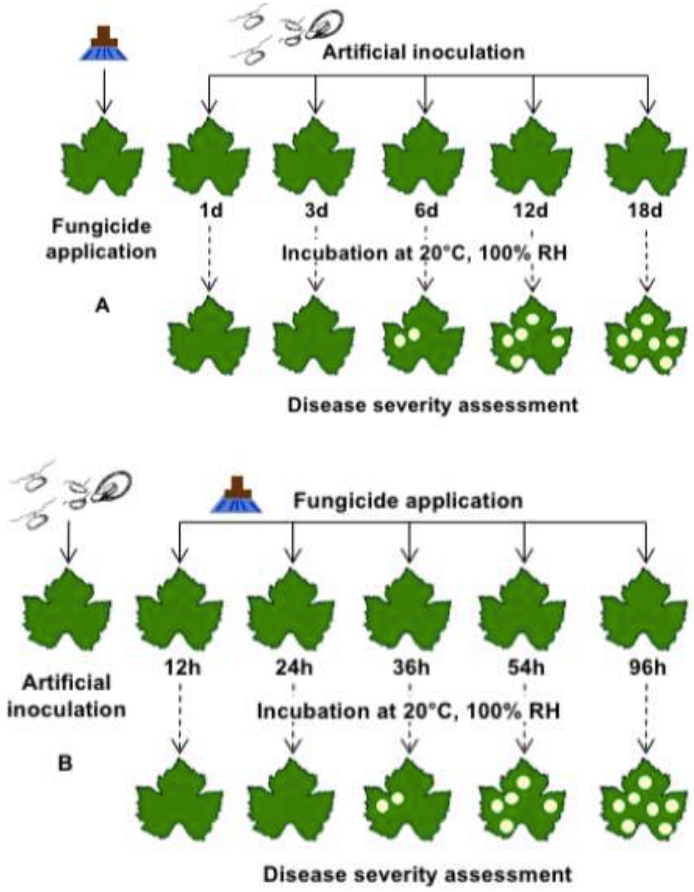
I modelli previsionali – *La durata della protezione*

$$EF_t = EF_0 \ / \ \{1 + \alpha \times \exp \ [\beta \times (t + (\sum Rain \times P \ / \ R) + (B_t - B_0) \ / \ B)]\}$$

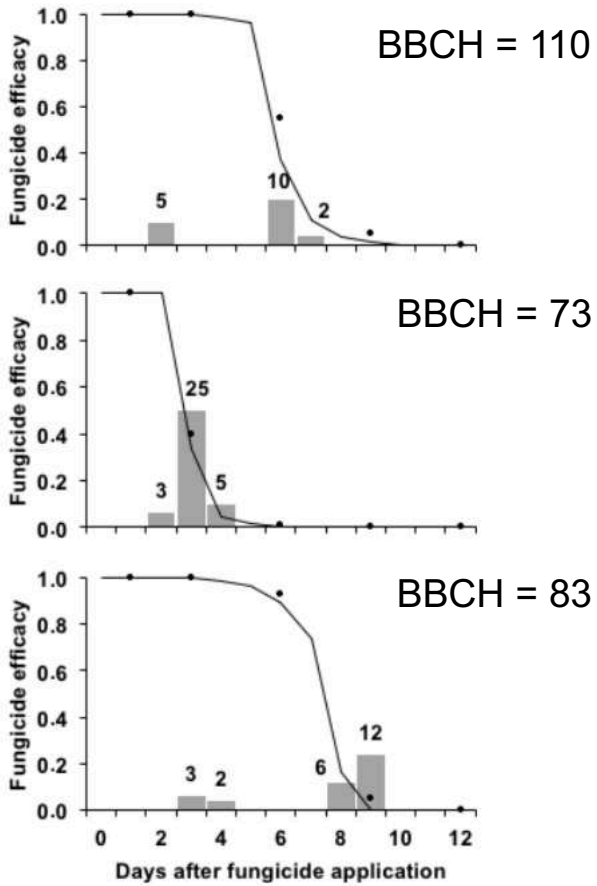
- EF_t: Efficacia nel giorno (t) dopo il trattamento
- EF_0: Efficacia al giorno (0) del trattamento
- α: *Tenacity factor*
- β: Tasso di riduzione di efficacia del fungicida
- $\sum Rain$: mm di pioggia (da 0 a t)
- P: Persistenza del fungicida senza pioggia (in gg)
- R: mm di pioggia che causano il completo wash-off (in mm)
- B_t: Biomassa al giorno t
- B_0: Biomassa al giorno 0
- B: Aumento di biomassa che causa la mancata efficacia



I modelli previsionali – *La durata della protezione*

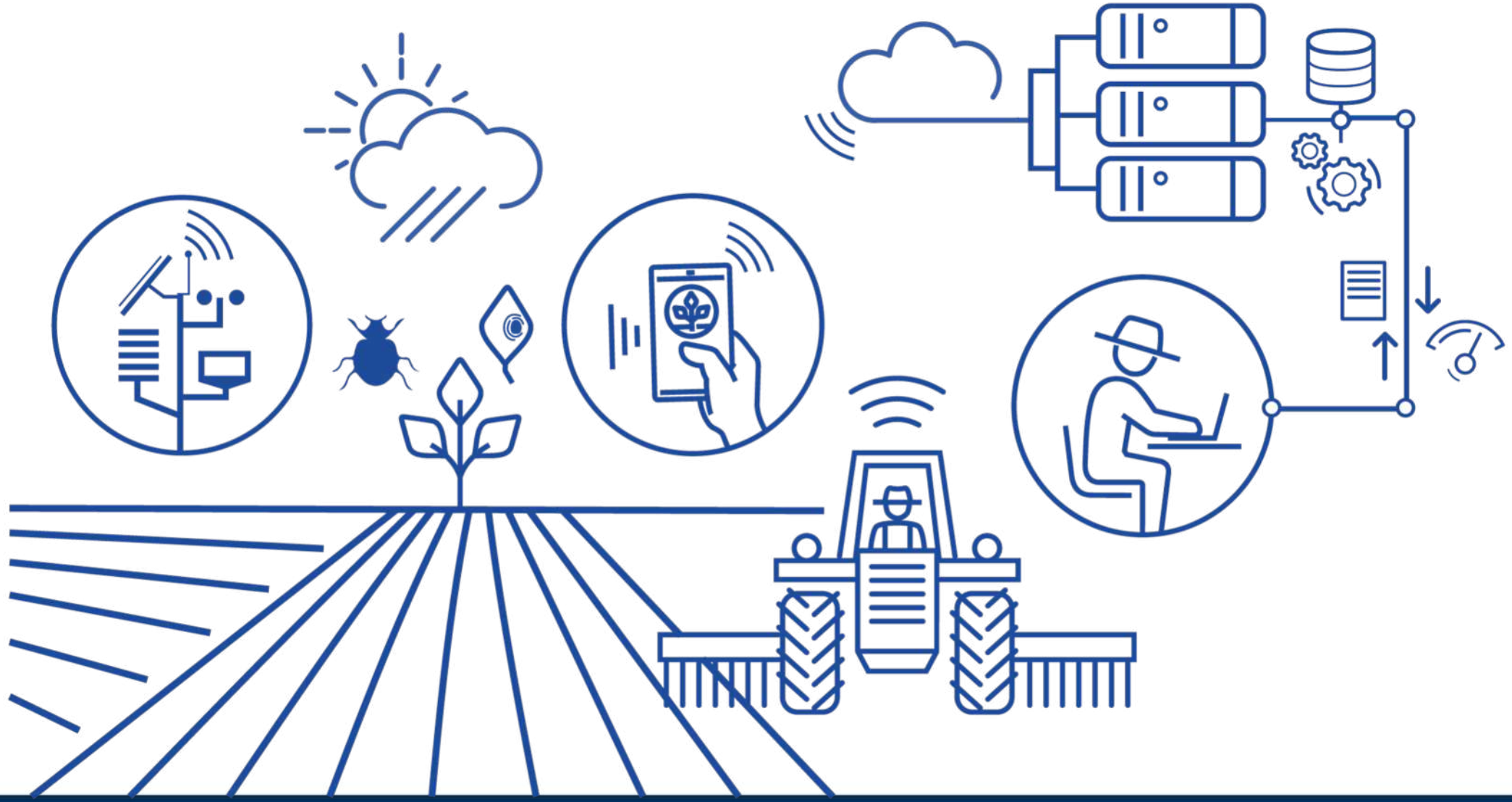


Studi in ambiente controllato

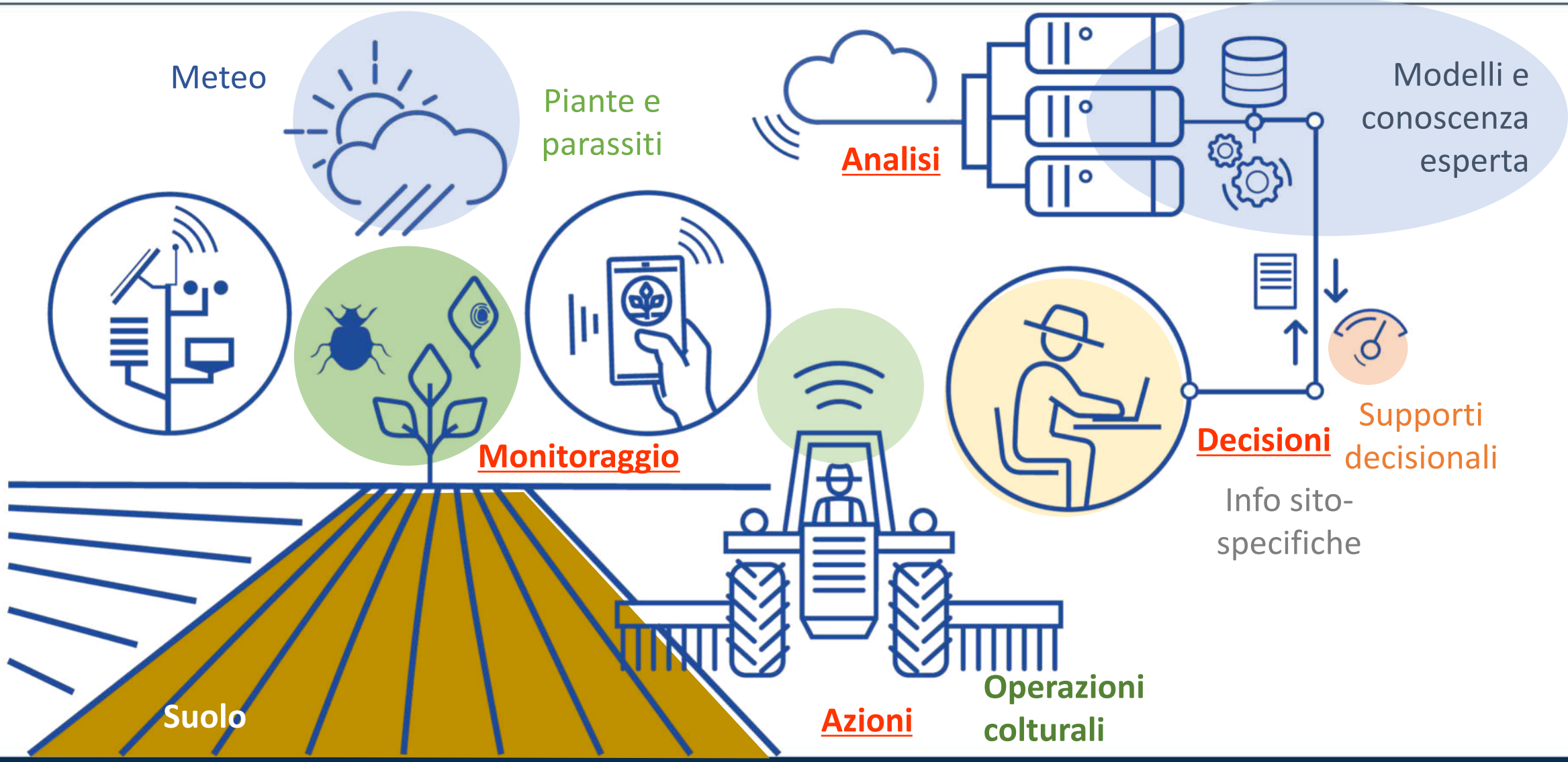


Validazione in vigneto

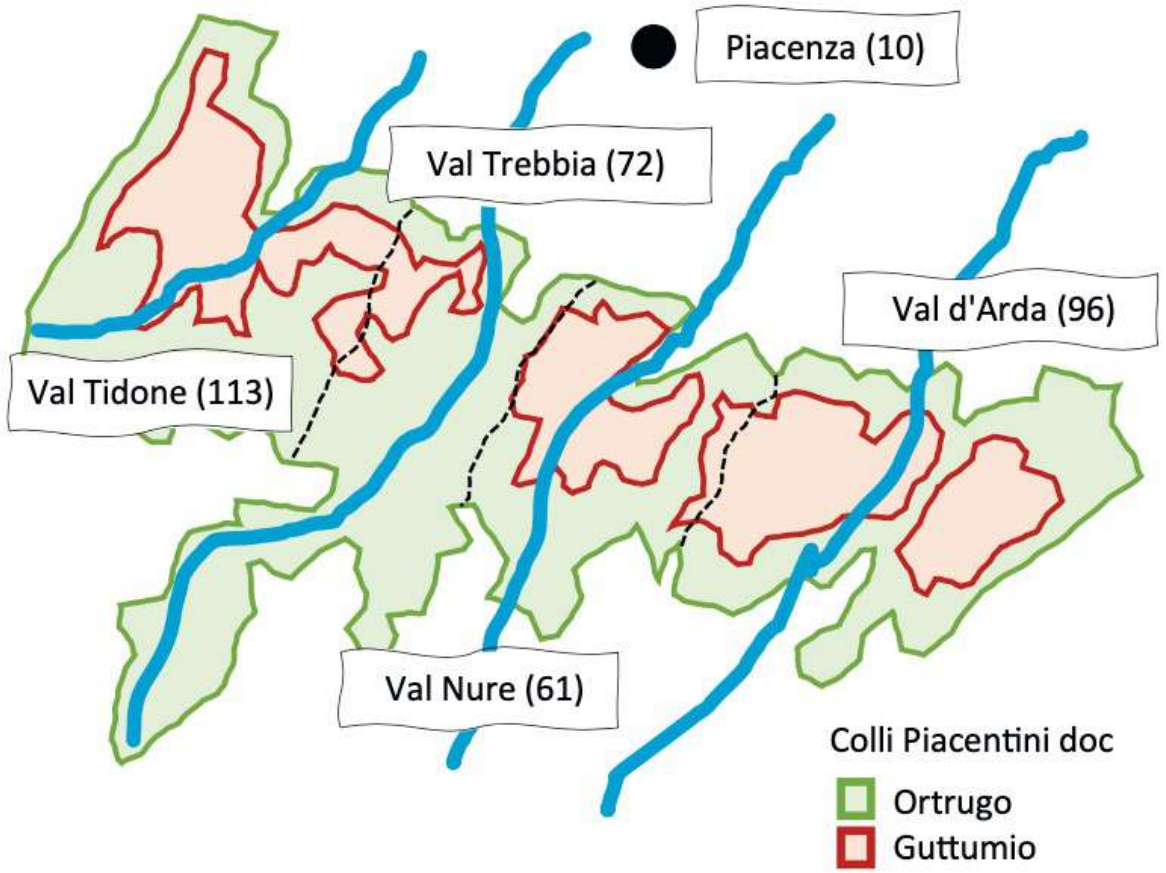
DSS – *Casi pratici*

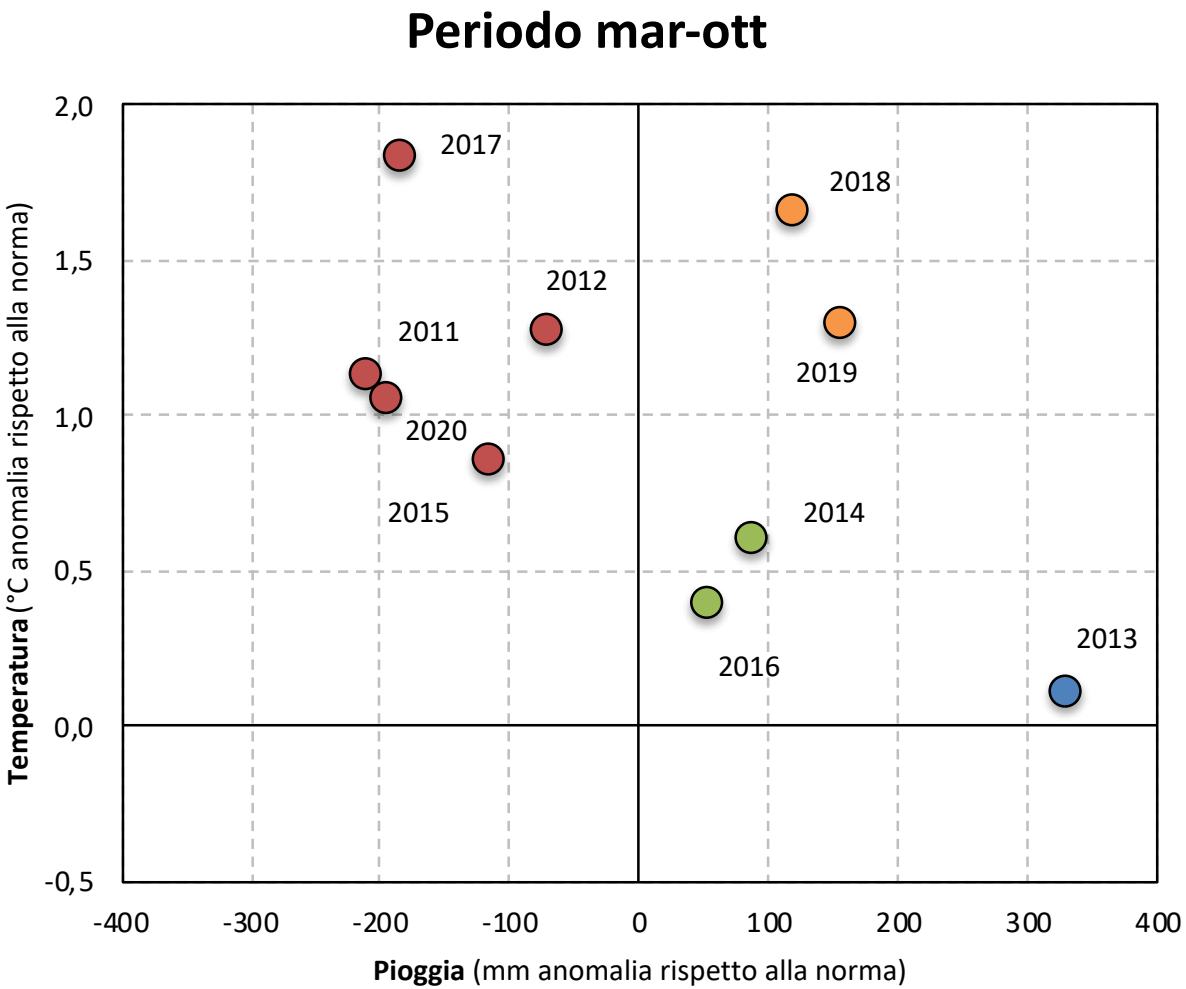


DSS – *Sistema di gestione completo e integrato*

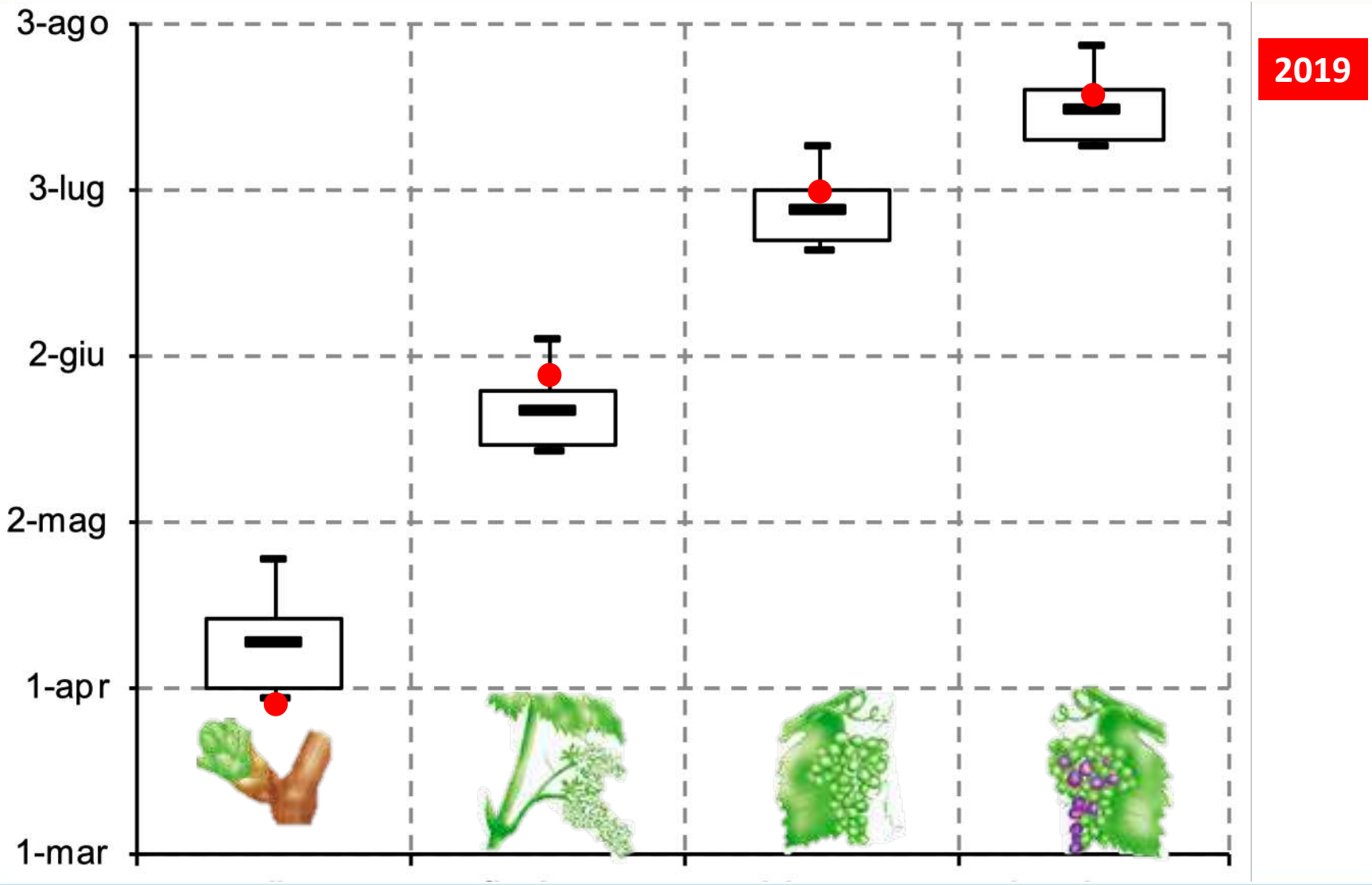


Cambiamenti climatici e viticoltura

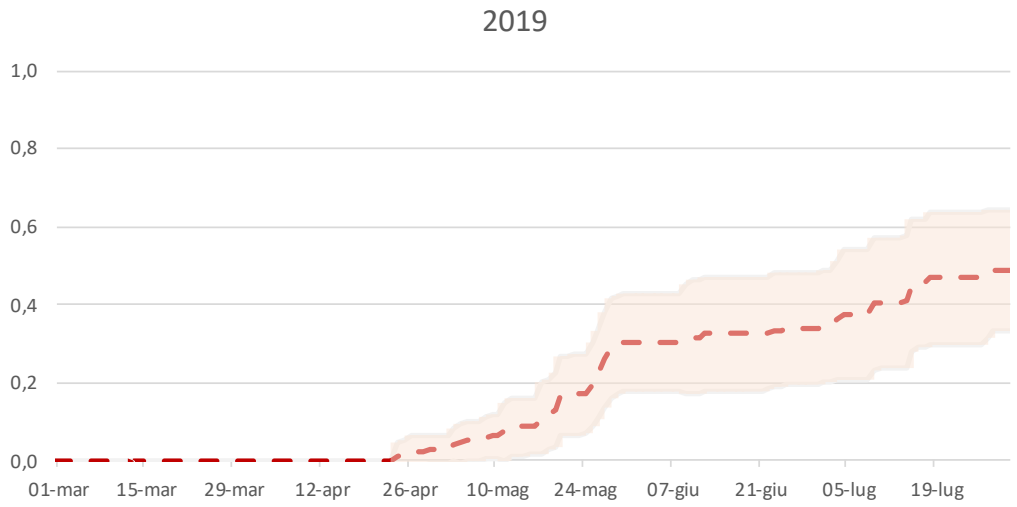


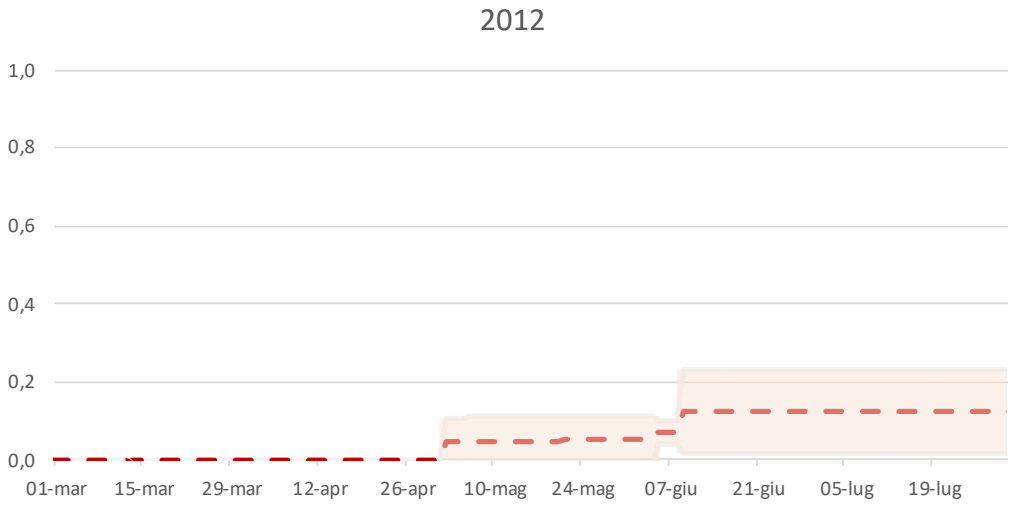


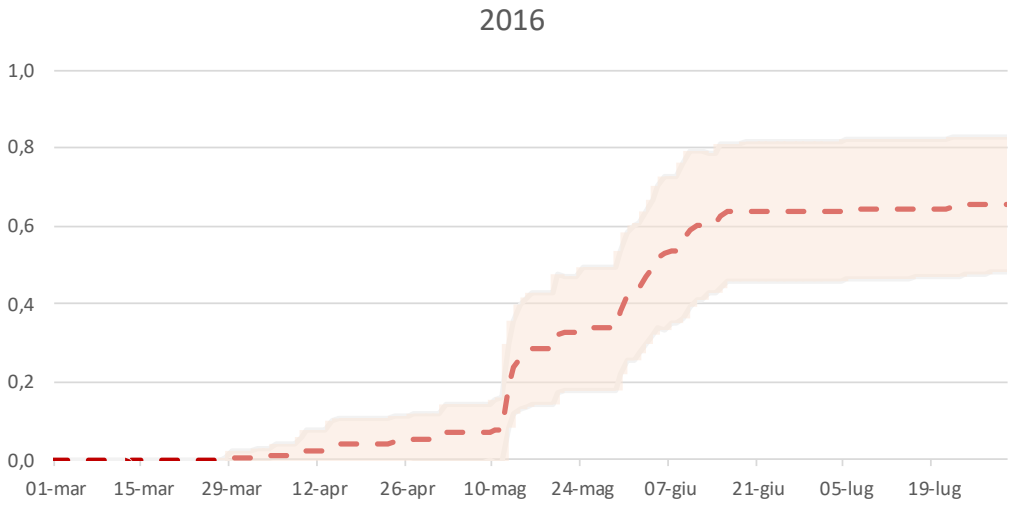
Cambiamenti climatici e viticoltura



Cambiamenti climatici e viticoltura

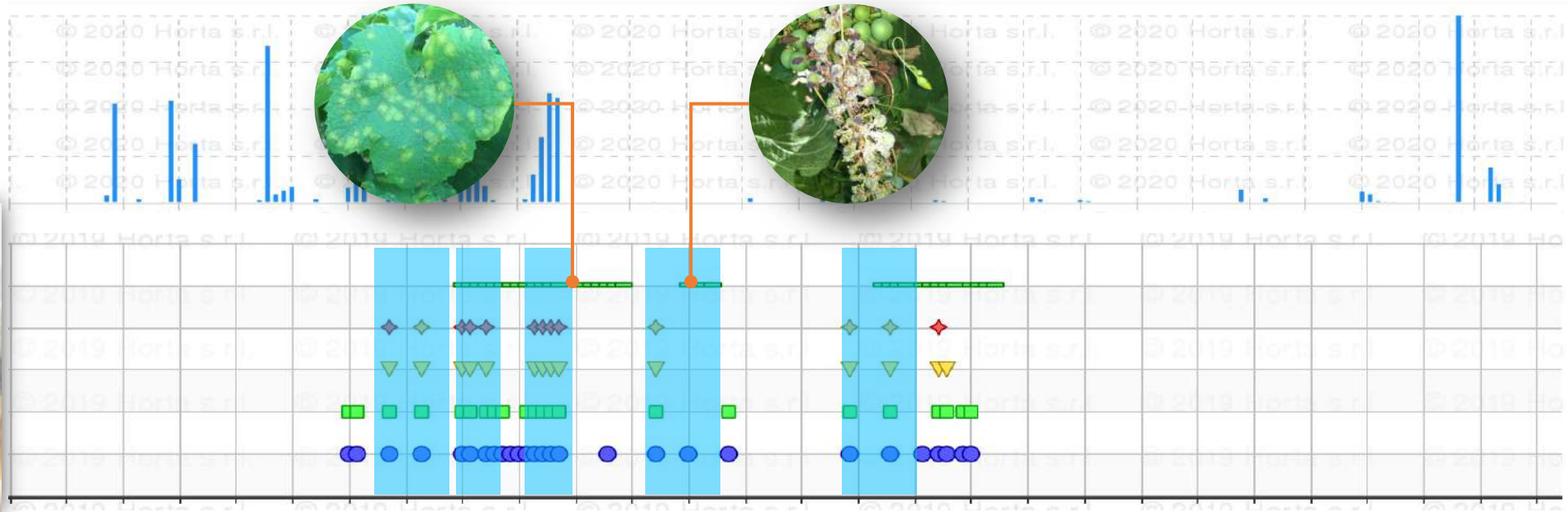


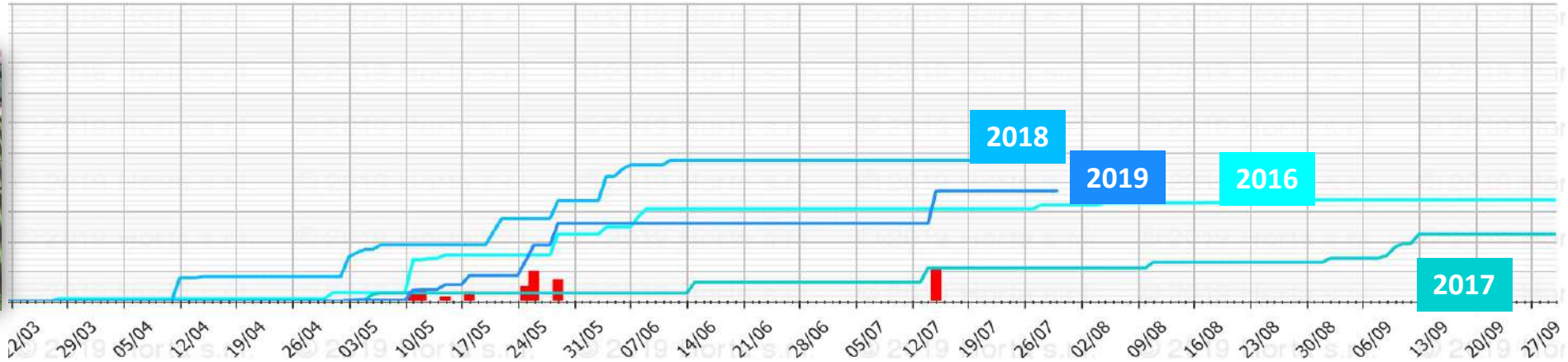




I sistemi di supporto alle decisioni – *Casi pratici*

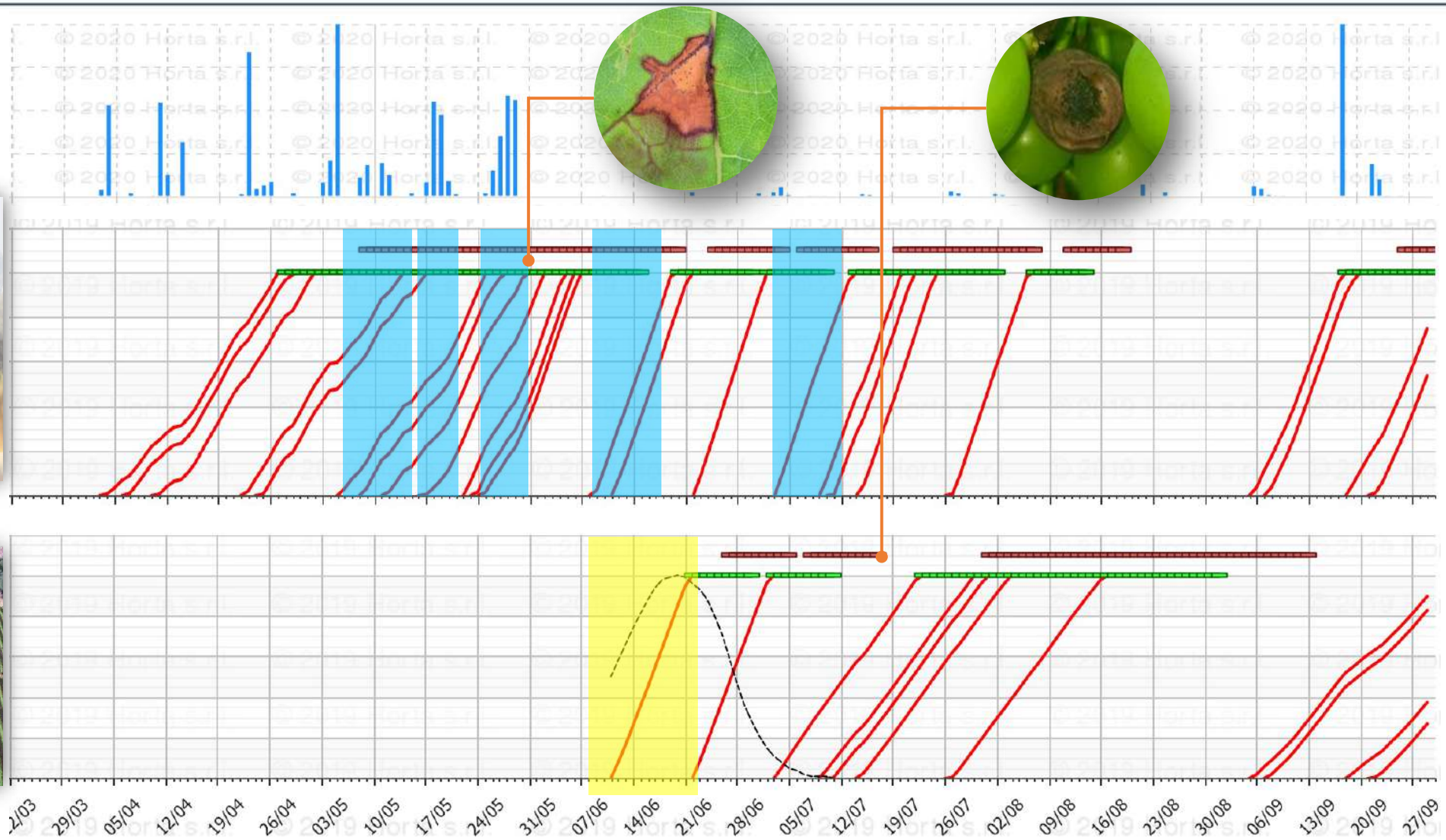
…nel 2019





I sistemi di supporto alle decisioni – *Casi pratici*

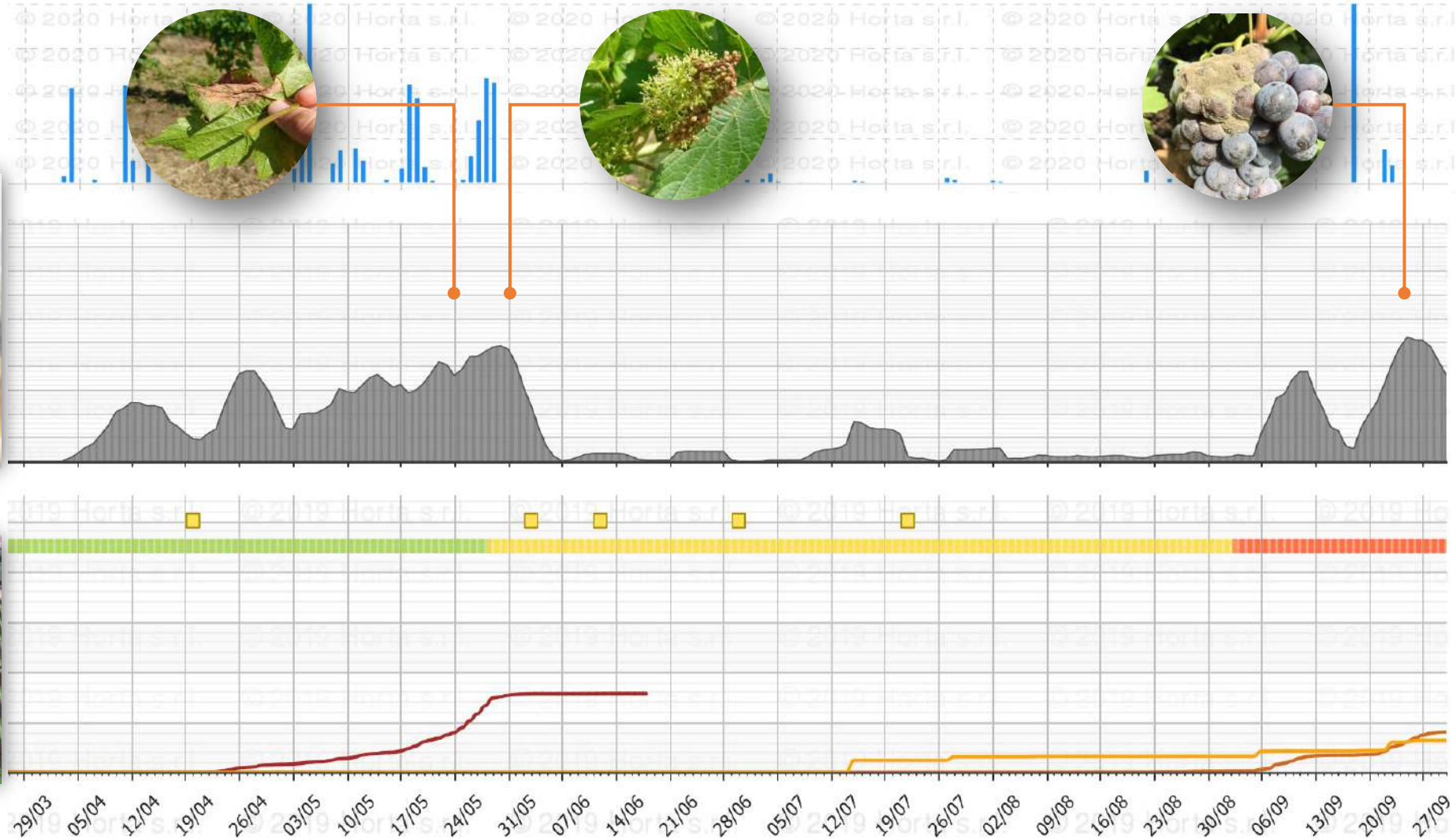
…nel 2019



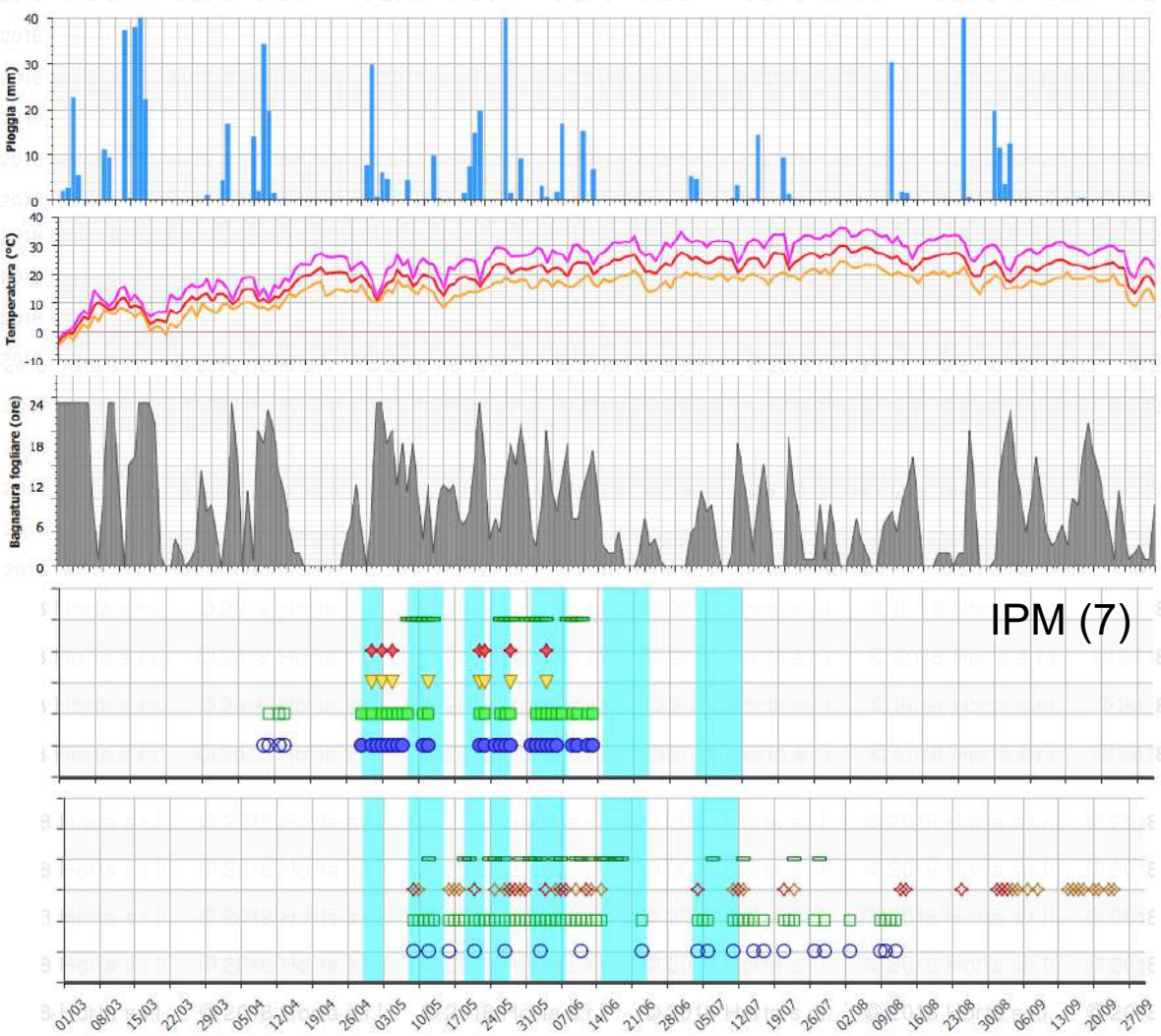
I sistemi di supporto alle decisioni – *Casi pratici*

UNIVERSITÀ CATTOLICA del Sacro Cuore

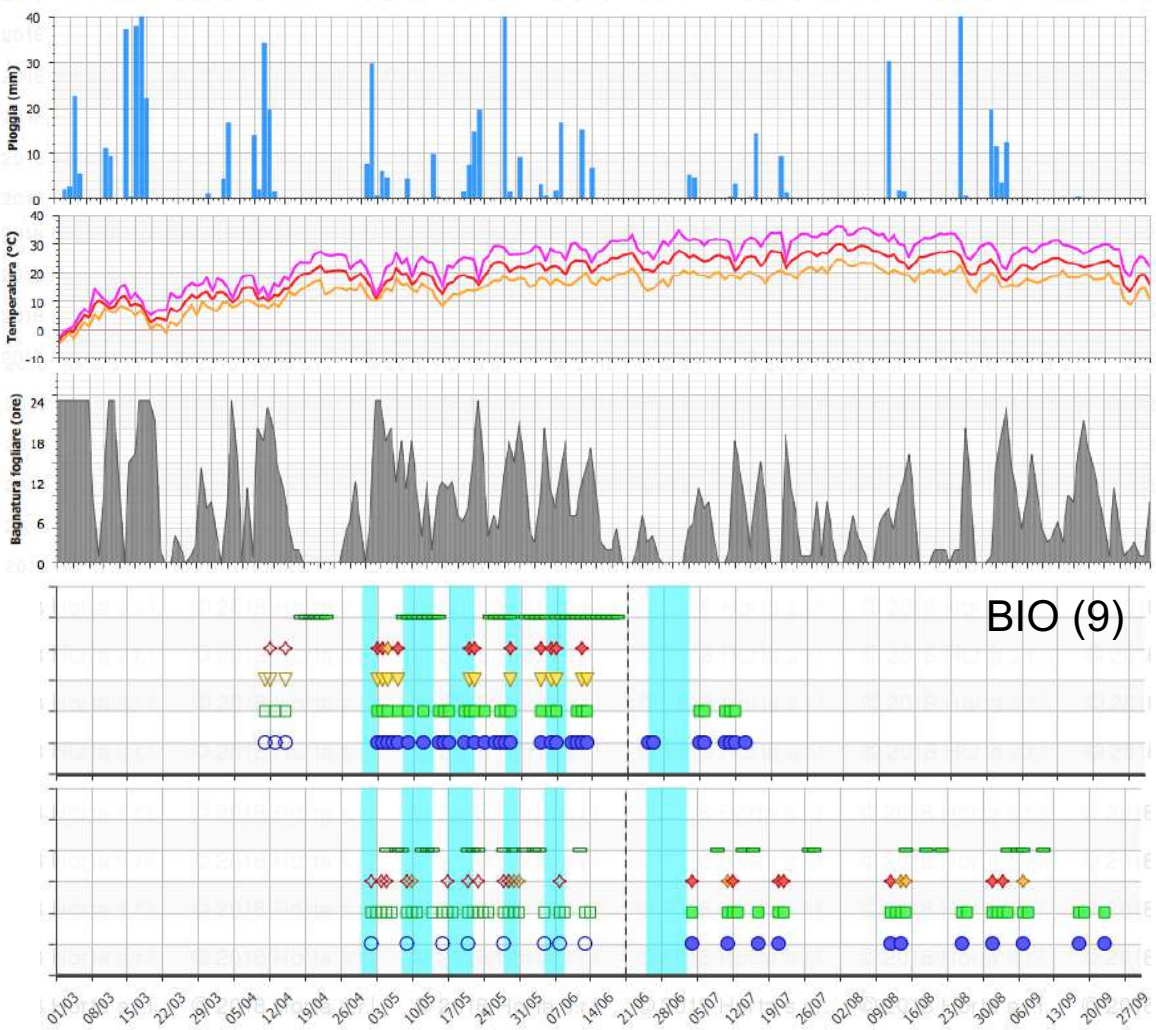
…nel 2019



I sistemi di supporto alle decisioni – *Casi pratici*



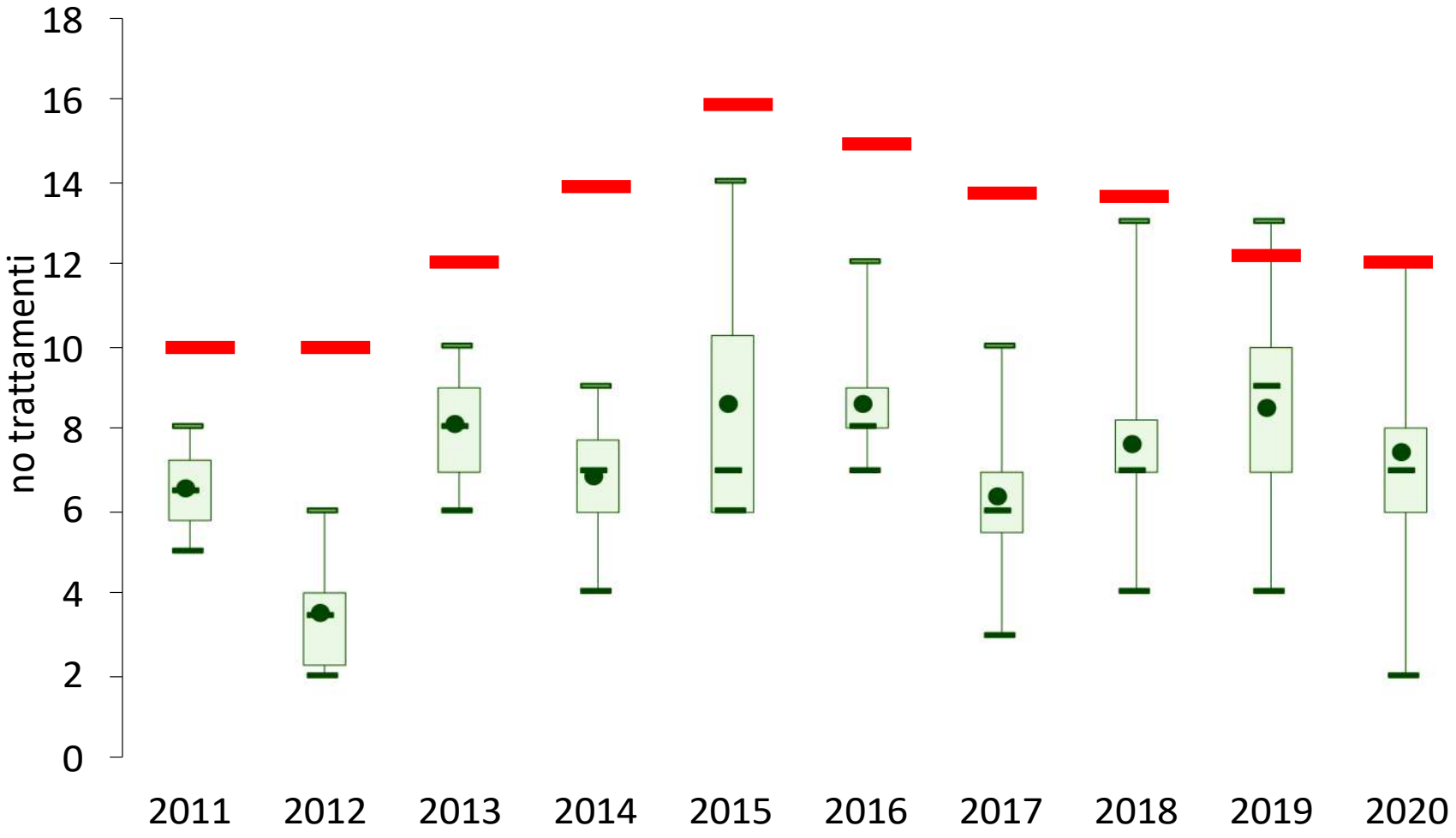
I sistemi di supporto alle decisioni – *Casi pratici*



I sistemi di supporto alle decisioni – *Casi pratici*

	Foglie		Grappoli	
	Inc (%)	Grav (%)	Inc (%)	Grav (%)
Test NT	23	0.6	23	1.2
BIO	14	0.1	9	0.4
IPM	--	--	--	--

I sistemi di supporto alle decisioni – *Casi pratici*



La modellistica a supporto della difesa – *La timeline in viticoltura*

Regola dei 3-10

Modello EPI

vite.net®

1947 1954 1980 2000 2008 2011 2018

INDICI EPIDEMIOLOGICI RELATIVI ALLA PERONOSPORA DELLA VITE

NB: INTERVENIRE VICINO a 80%

Valutazione del periodo di incubazione			Calcolo della percentuale giornaliera di incubazione		
Temperatura media (°C) (1)	Durata del periodo di incubazione (giorni)		Temperatura media (°C) (1)	% giornaliera della durata del periodo di incubazione	
	Umidità atmosferica bassa (2)	Umidità atmosferica alta		Umidità atmosferica bassa (2)	Umidità atmosferica alta
14	15	11	14	6,6	9,0
15	13	9,5	15	7,6	10,5
16	11,5	8,5	16	8,6	11,7
17	10	7,5	17	10,0	13,3
18	9	6,5	18	11,1	15,3
19	8	6	19	12,5	16,6
20	7	5	20	14,2	20,0
21	6,5	4,5	21	15,3	22,2
22	6	4,5	22	16,6	22,2
23	5,5	4	23	18,1	25,0
24	5,5	4	24	18,1	25,0
25	6	4,5	25	16,6	22,2
26	6	4,5	26	16,6	22,2

(1) Espressa come media aritmetica dei quattro valori: massimo, minimo, alle ore 9 e alle ore 21.
(2) Per i periodi con alternanza di giorni nuvolosi, piovosi e giorni sereni, i dati avranno valore intermedio a quelli indicati nelle due colonne della tabella.

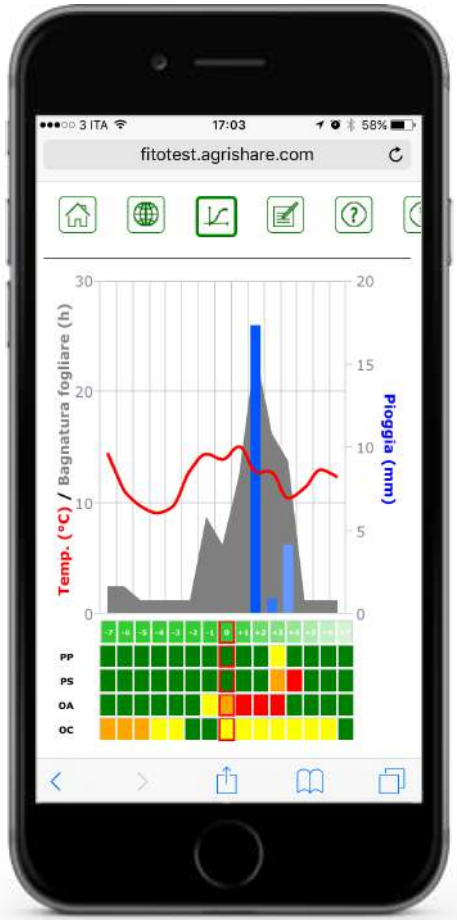
Calendario di Goidanich

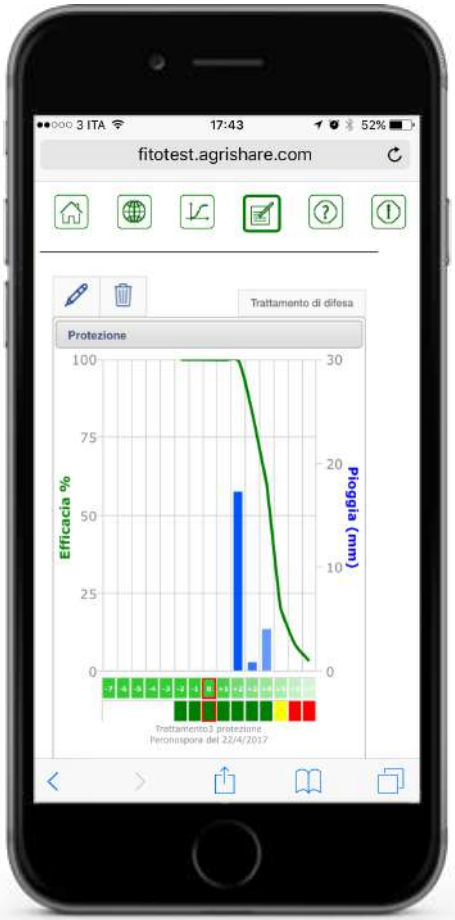
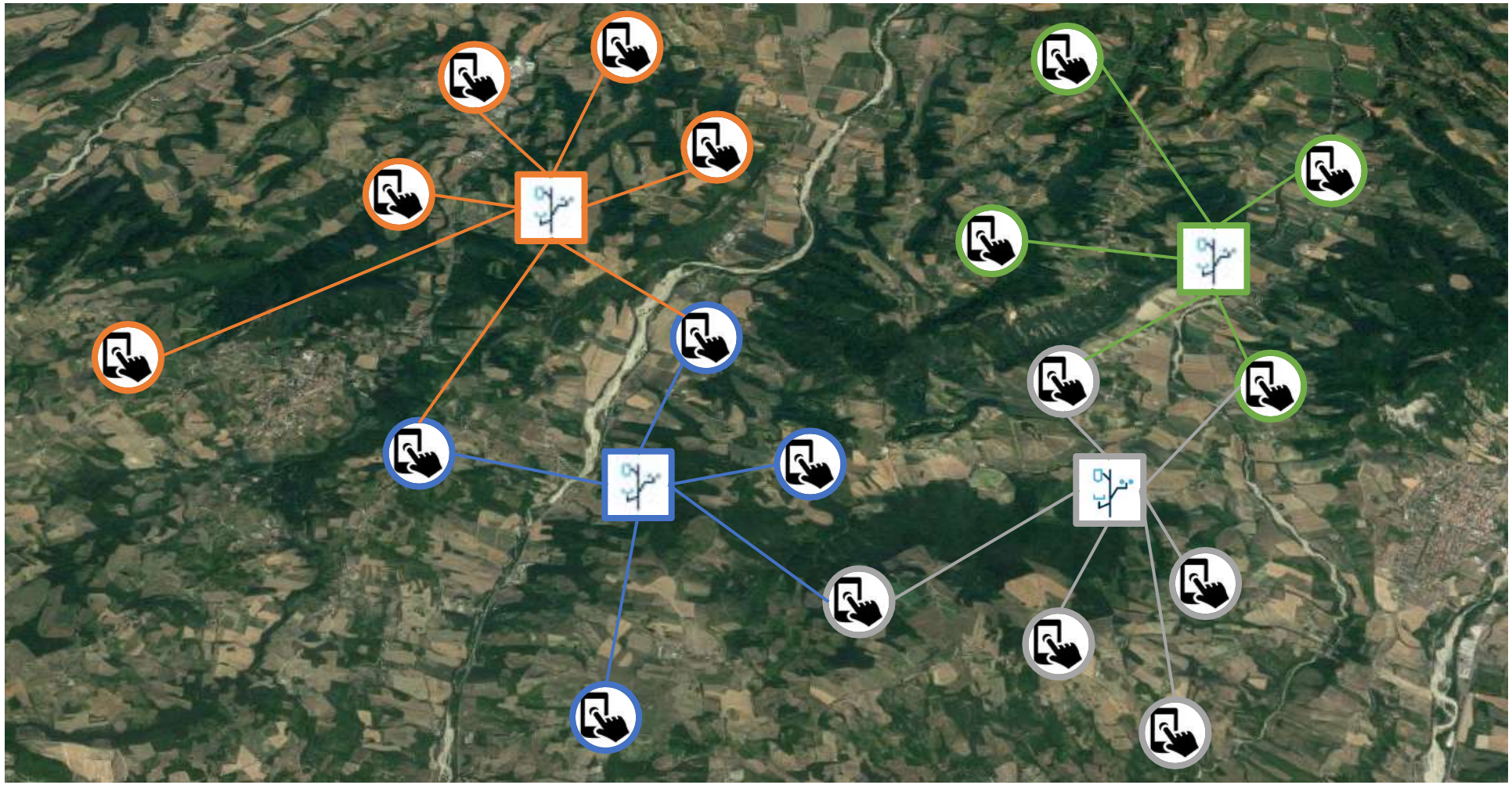
Reti Neurali Artificiali

Modello UCSC

WebApp in mobilità

L’agricoltura di precisione – *tecnologia app e in mobilità*





L’agricoltura di precisione – *tecnologia app e in mobilità*