

Progetto HEAT-SHIELD: sistema di allerta caldo per i lavoratori del settore agricolo e altri ambiti occupazionali



INAIL

Esperienza di valutazione dello stress termico dei lavoratori agricoli nelle serre

Vincenzo Molinaro, Simona Del Ferraro

INAIL

Dipartimento di Medicina, Epidemiologia, Igiene del Lavoro ed Ambientale (DiMEILA)

Laboratorio di Ergonomia e Fisiologia

Via Fontana Candida 1 - 00078 Monte Porzio Catone

tel 06.94181210

email: v.molinaro@inail.it

Ambito

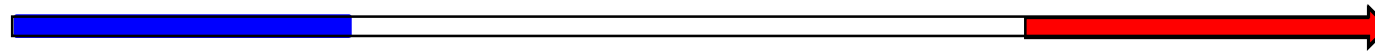
Ergonomia degli ambienti termici



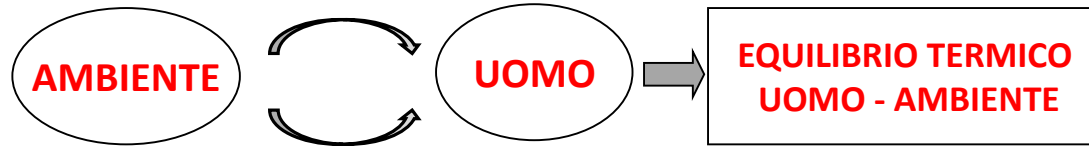
Interazione soggetto–ambiente termico



Microclima



L'uomo è OMEOTERMO: tende a mantenere costante la sua temperatura interna (37°C) attraverso continui scambi termici con l'ambiente



ATTRAVERSO LA PELLE

CONVEZIONE $C = f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)$

EVAPORAZIONE $E = w \frac{p_{sk} - \phi \cdot p_a}{R_t}$

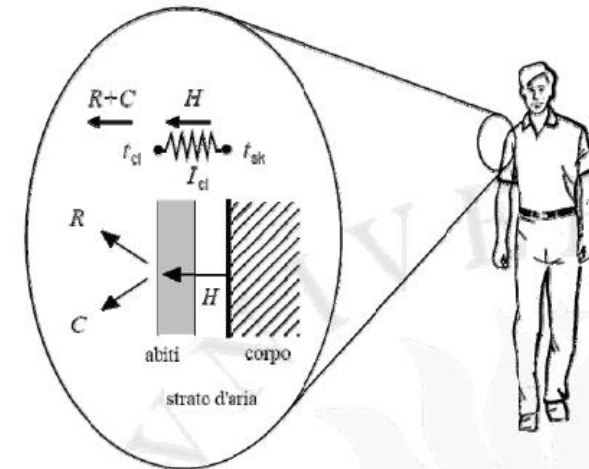
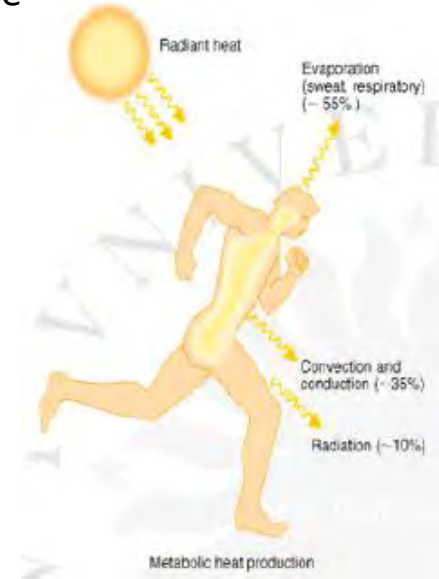
IRRAGGIAMENTO $R = f_{cl} h_r (t_{cl} - t_r)$

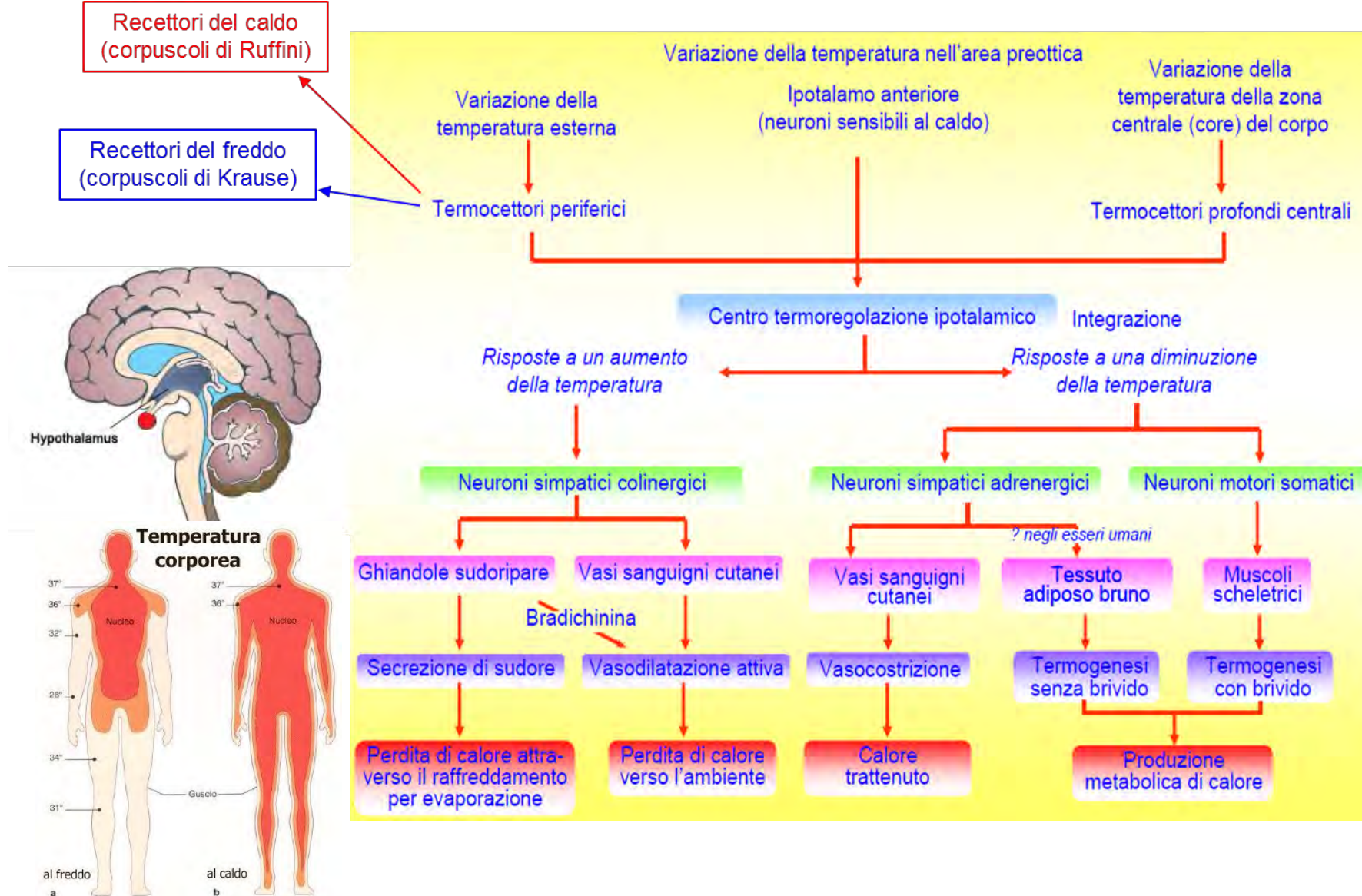
CONDUZIONE $K \cong 0$

ATTRAVERSO LA RESPIRAZIONE

EVAPORAZIONE $E_{res} = 0.00127 M (59.34 + 0.53t_a - 11.63 p_a)$

CONVEZIONE $C_{res} = 0.001516M (28.56 + 0.115t_a + 0.641p_a - t_a)$





TITOLO VIII - AGENTI FISICI

CAPO I - DISPOSIZIONI GENERALI

Articolo 180 - Definizioni e campo di applicazione

1. Ai fini del presente Decreto Legislativo per *agenti fisici* si intendono il rumore, gli ultrasuoni, gli infrasuoni, le vibrazioni meccaniche, i campi elettromagnetici, le radiazioni ottiche, di origine artificiale, il microclima e le atmosfere iperbariche che possono comportare rischi per la salute e la sicurezza dei lavoratori.
2. Fermo restando quanto previsto dal [presente capo](#), per le attività comportanti esposizione a rumore si applica il [capo II](#), per quelle comportanti esposizione a vibrazioni si applica il [capo III](#), per quelle comportanti esposizione a campi elettromagnetici si applica il [capo IV](#), per quelle comportanti esposizione a radiazioni ottiche artificiali si applica il [capo V](#).
3. La protezione dei lavoratori dalle radiazioni ionizzanti è disciplinata unicamente dal Decreto Legislativo 17 marzo 1995, n. 230^(N), e sue successive modificazioni.

Note all'Art. 180

Articolo 181 - Valutazione dei rischi

1. Nell'ambito della valutazione di cui all'[articolo 28](#), il datore di lavoro valuta tutti i rischi derivanti da esposizione ad agenti fisici in modo da identificare e adottare le opportune misure di prevenzione e protezione con particolare riferimento alle norme di buona tecnica ed alle buone prassi.
2. La valutazione dei rischi derivanti da esposizioni ad agenti fisici è programmata ed effettuata, con cadenza almeno quadriennale, da personale qualificato nell'ambito del servizio di prevenzione e protezione in possesso di specifiche conoscenze in materia. La valutazione dei rischi è aggiornata ogni qual volta si verificano mutamenti che potrebbero renderla obsoleta, ovvero, quando i risultati della sorveglianza sanitaria rendano necessaria la sua revisione. I dati ottenuti dalla valutazione, misurazione e calcolo dei livelli di esposizione costituiscono parte integrante del documento di valutazione del rischio.
3. Il datore di lavoro nella valutazione dei rischi precisa quali misure di prevenzione e protezione devono essere adottate. La valutazione dei rischi è riportata sul documento di valutazione di cui all'[articolo 28](#), essa può includere una giustificazione del datore di lavoro secondo cui la natura e l'entità dei rischi non rendono necessaria una valutazione dei rischi più dettagliata.

Non c'è un capo specifico per il microclima, a differenza degli altri agenti fisici

Microclima

La normativa tecnica di settore

PER QUALUNQUE TIPO DI AMBIENTE



NORMA	TITOLO
UNI EN ISO 7726:2002	Ergonomia degli ambienti termici – Strumenti per la misurazione delle grandezze fisiche
UNI EN ISO 8996:2005	Ergonomia – Determinazione della produzione di energia termica metabolica
UNI EN ISO 9920:2009	Ergonomia degli ambienti termici - Valutazione dell'isolamento termico e della resistenza evaporativa dell'abbigliamento
UNI EN ISO 9886:2004	Valutazione degli effetti termici (thermal strain) mediante misurazioni fisiologiche
UNI EN ISO 10551:2002	Ergonomia degli ambienti termici – Valutazione dell'influenza dell'ambiente termico mediante scale di giudizio soggettivo
UNI EN ISO 11399:2001	Ergonomia degli ambienti termici – Principi ed applicazioni delle relative norme internazionali
UNI EN ISO 12894: 2002	Ergonomia degli ambienti termici - Supervisione medica per persone esposte ad ambienti molto caldi o molto freddi
UNI EN ISO 13731:2004	Ergonomia degli ambienti termici - Vocabolario e simboli
UNI EN ISO 15265:2005	Ergonomia dell'ambiente termico - Strategia di valutazione del rischio per la prevenzione dello stress o del disagio termico in condizioni di lavoro
UNI EN ISO 28803:2012	Ergonomia degli ambienti fisici: Applicazione di norme internazionali alle persone con speciali necessità

Microclima

La normativa tecnica di settore



	Norma	Titolo
Ambienti moderati	UNI EN ISO 7730:2006	Ergonomia degli ambienti termici – Determinazione analitica ed interpretazione del benessere termico mediante il calcolo degli indici PMV e PPD e dei criteri di benessere termico
Ambienti caldi	UNI EN ISO 27243:1996	Ambienti caldi. Valutazione dello stress termico per l'uomo negli ambienti di lavoro basata sull'indice WBGT (temperatura a bulbo umido e del globotermometro)
	UNI EN ISO 7933:2005	Ergonomia dell'ambiente termico - Determinazione analitica ed interpretazione dello stress termico da calore mediante il calcolo della sollecitazione termica prevedibile
Ambienti freddi	UNI EN ISO 11079:2008	Ergonomia degli ambienti termici - Determinazione e interpretazione dello stress termico da freddo con l'utilizzo dell'isolamento termico dell'abbigliamento richiesto (IREQ) e degli effetti del raffreddamento locale.
	UNI EN ISO 15743: 2008	Ergonomia dell'ambiente termico - Posti di lavoro al freddo - Valutazione e gestione del rischio
Superfici di contatto	Norma	Titolo
	UNI EN ISO 13732 - 1: 2009	Ergonomia degli ambienti termici - Metodi per la valutazione della risposta dell'uomo al contatto con le superfici - Parte 1: Superfici calde
	ISO/TS 13732 - 2: 2001	Ergonomics of the thermal environment - Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces - Part 2: Human contact with surfaces at moderate temperature
	UNI EN ISO 13732 - 3: 2006	Ergonomia degli ambienti termici - Metodi per la valutazione della risposta dell'uomo al contatto con le superfici - Parte 3: Superfici fredde

I parametri di interesse

Ambiente termico



- Viene descritto mediante 4 parametri ambientali
- Temperatura dell'aria (t_a in °C)
 - Velocità dell'aria (v_a , in m/s)
 - Umidità relativa (ϕ , in %)
 - Temperatura media radiante (t_r in °C)



Soggetto



- Svolge attività fisica o lavorativa (Attività metabolica, in Met (W/m^2))
Indossa abbigliamento protettivo (Caratteristiche termiche dell'abbigliamento I_{cl} , R_{e} in °C/ Wm^2)



AMBIENTI MODERATI

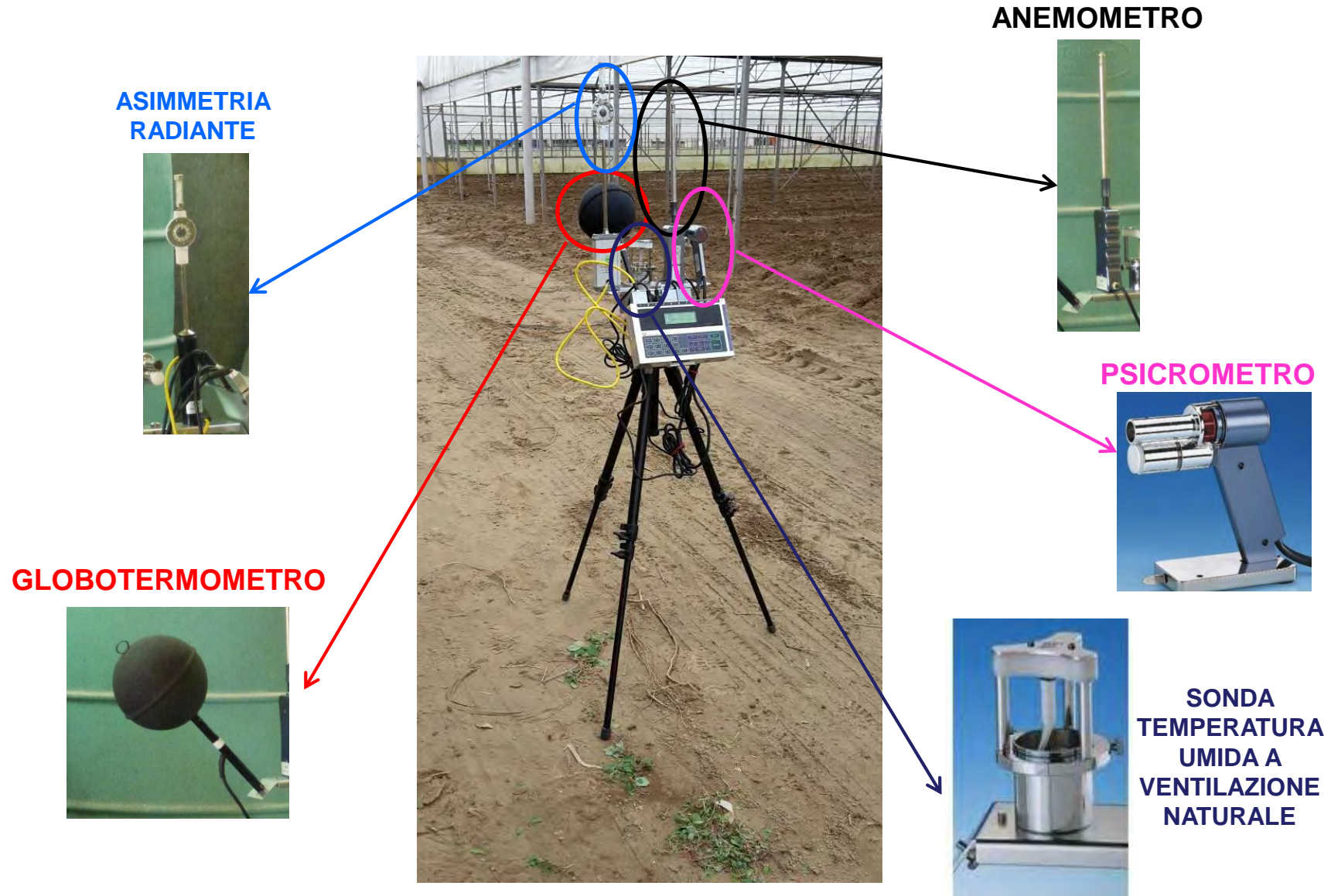
- Ambienti in cui non si corre il rischio di compromettere la salute del lavoratore
- Ambienti in cui l'obiettivo è il raggiungimento del comfort termico

AMBIENTI SEVERI (FREDDI O CALDI)

- Ambienti in cui la salute o la sicurezza del lavoratore può essere a rischio
- Ambienti in cui i **sistemi di termoregolazione vengono sollecitati in maniera significativa** nel tentativo di mantenere la temperatura centrale nei limiti fisiologici

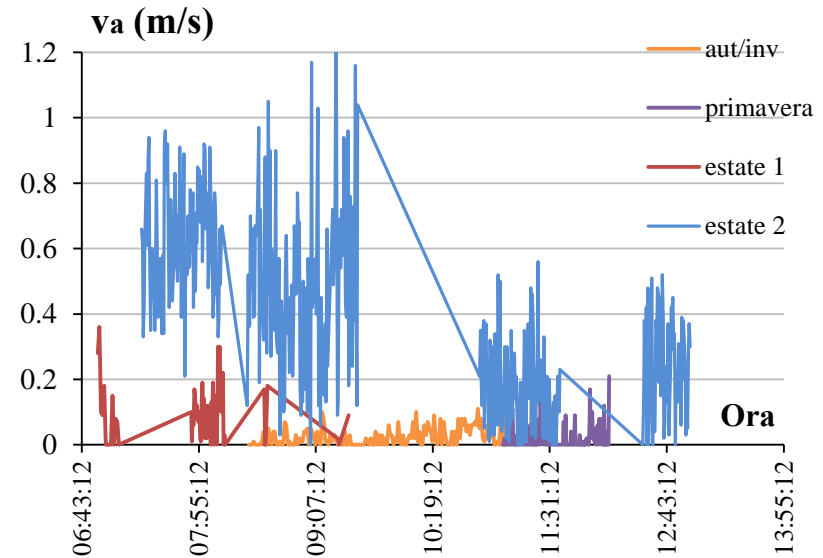
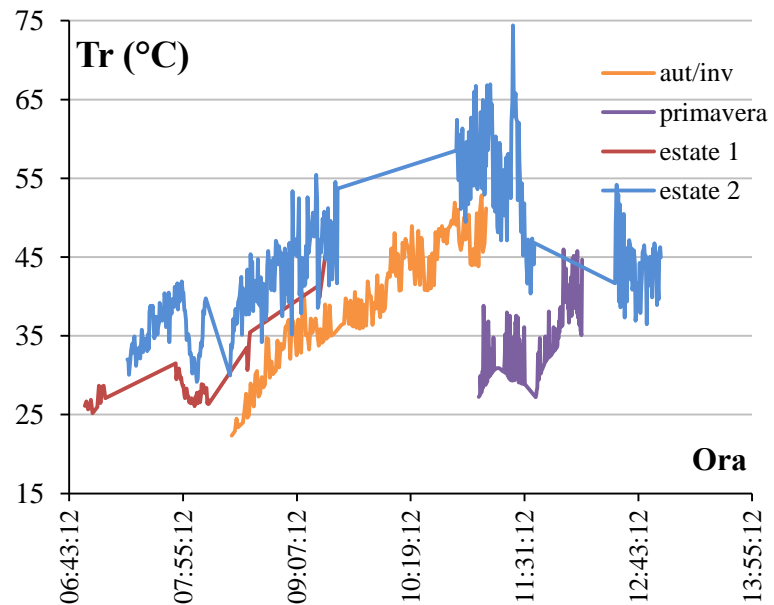
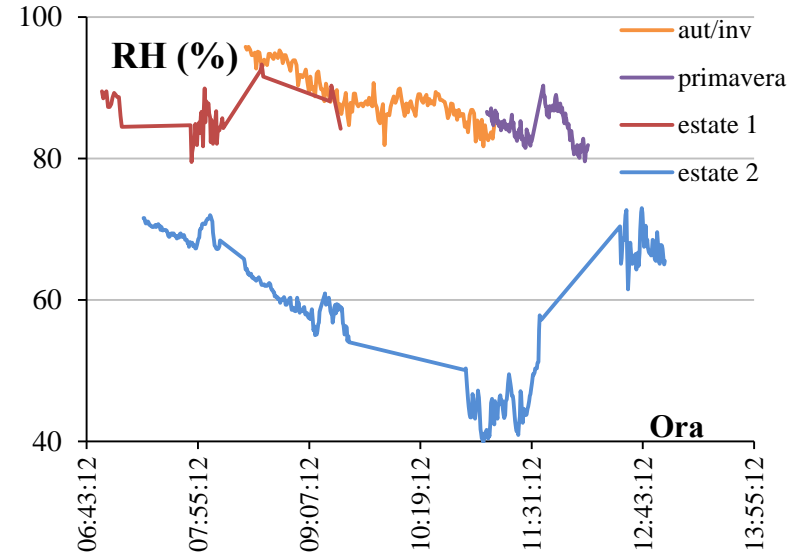
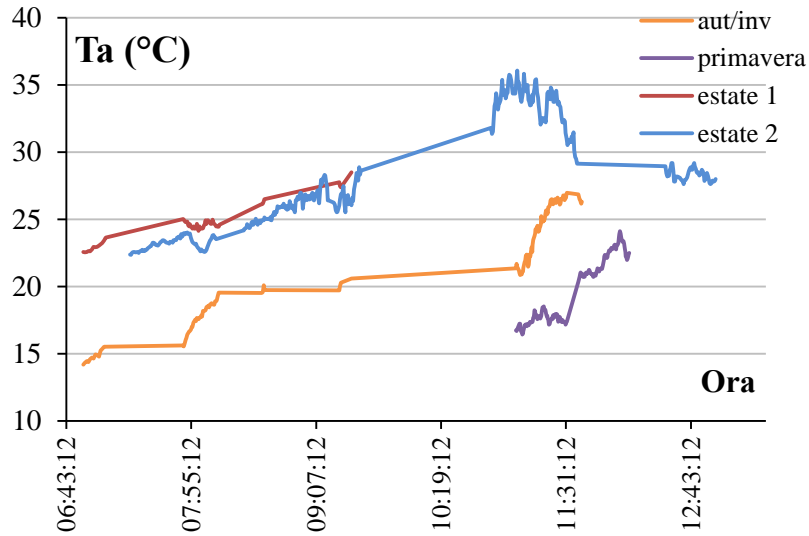
L'ambiente termico delle serre

I rilievi con la centralina microclimatica



L'ambiente termico delle serre

I rilievi effettuati



L'ambiente termico delle serre

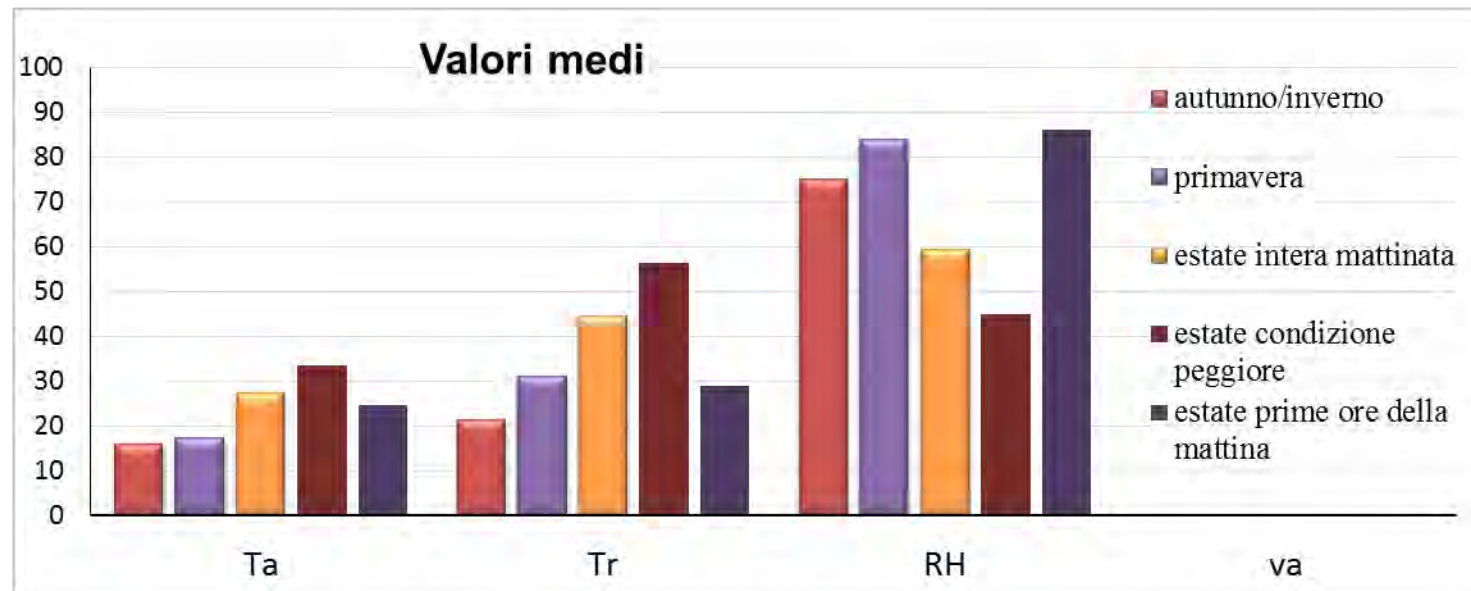
I valori medi dei parametri ambientali

SCENARI CONSIDERATI

	Ta (°C)	Tr (°C)	RH (%)	Va (m/s)
Autunno/inverno	15,9	21,4	75,3	0,03
Autunno/inverno	21,6	38,7	88,6	0,02
Primavera	17,5	31,3	84	0,03
Estate prime ore della mattina	24,6	29	85,9	0,09
Estate intera mattinata	27,6	44,5	59,4	0,4
Estate condizione peggiore	33,6	56,2	45	0,18

MANSIONI CONSIDERATE

- Asportazione strato superficiale
- Trasporto prodotto
- Raccolta prodotto
- Distribuzione fitosanitari
- Asportazione strato superficiale
- Trasporto prodotto
- Raccolta prodotto
- Distribuzione fitosanitari



L'attività metabolica

UNI EN ISO 8996:2005



prospetto 1 Livelli per la determinazione del metabolismo energetico

Livello	Metodo	Precisione	Ispezione del posto di lavoro
1 Screening	1A: Classificazione secondo il tipo di occupazione	Informazioni approssimative Probabilità di errore molto elevata	Non necessaria, ma sono richieste informazioni sull'attrezzatura tecnica e l'organizzazione del lavoro
	1B: Classificazione secondo il tipo di attività		
2 Osservazione	2A: Prospetti di valutazione per componenti	Probabilità di errore elevata Precisione: $\pm 20\%$	È necessaria l'analisi dei tempi e dei movimenti
	2B: Prospetti per attività specifiche		
3 Analisi	Misurazione della frequenza cardiaca in condizioni definite	Probabilità di errore media Precisione: $\pm 10\%$	È richiesto uno studio per la determinazione di un periodo di tempo significativo
4 Per esperti	4A: Misurazione del consumo di ossigeno	Probabilità di errore nei limiti della precisione della misura o dell'analisi dei tempi e dei movimenti	È necessaria l'analisi dei tempi e dei movimenti
	4B: Metodo della doppia marcatura dell'acqua		
	4C: Calorimetria diretta	Precisione: $\pm 5\%$	Non è necessaria l'ispezione del posto di lavoro, ma è necessario valutare le attività di svago Non necessaria

I fattori principali che influiscono sulla precisione dei risultati sono:

Variabilità individuale

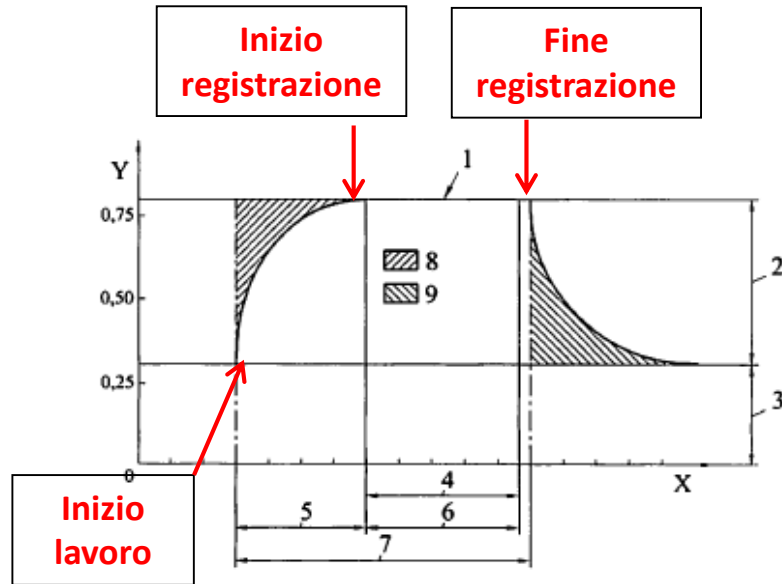
- ◆ Differenze nelle attrezzature da lavoro
- ◆ Differenze nelle velocità di lavoro
- ◆ Differenze nelle tecniche e nell'abilità di lavoro
- ◆ Differenze di genere e caratteristiche antropometriche
- ◆ Differenze tra gli osservatori ed il loro addestramento

Valutazione dell'attività metabolica

UNI EN ISO 8996:2005 – Livello 4, expertise - metodo parziale ed integrale

METODO PARZIALE

Attività con $\dot{V}_{O_2} < 60 \frac{l}{h} = 1 \frac{l}{min}$



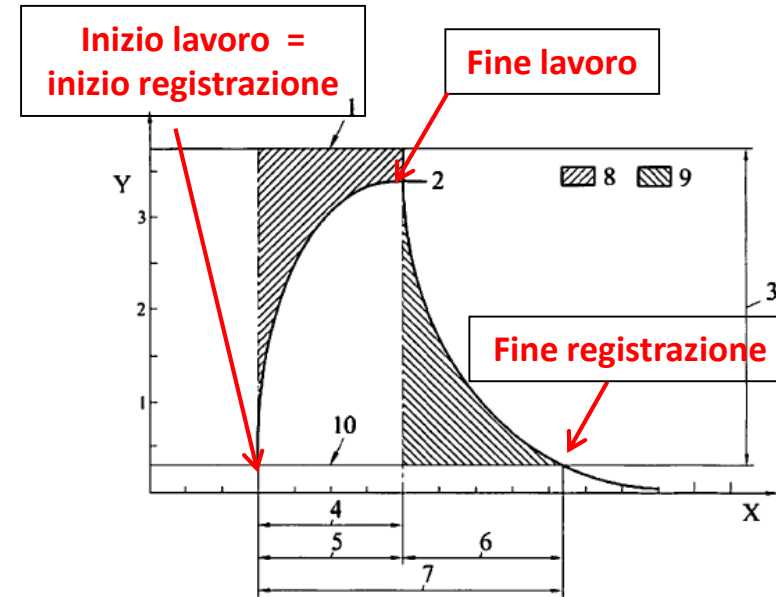
$$M = EE \times \dot{V}_{O_2} \times \frac{1}{A_{Du}}$$

$$RQ = \frac{\dot{V}_{CO_2}}{\dot{V}_{O_2}} \quad EE = (0,23 \times RQ + 0,77) \times 5,88$$

$$A_{Du} = 0,202 \times W_b^{0,425} \times H_b^{0,725}$$

METODO INTEGRALE

Attività con $\dot{V}_{O_2} > 60 \frac{l}{h} = 1 \frac{l}{min}$



$$M = (M_p \times \frac{t_m + t_r}{t_m}) - (M_s \times \frac{t_m}{t_m})$$

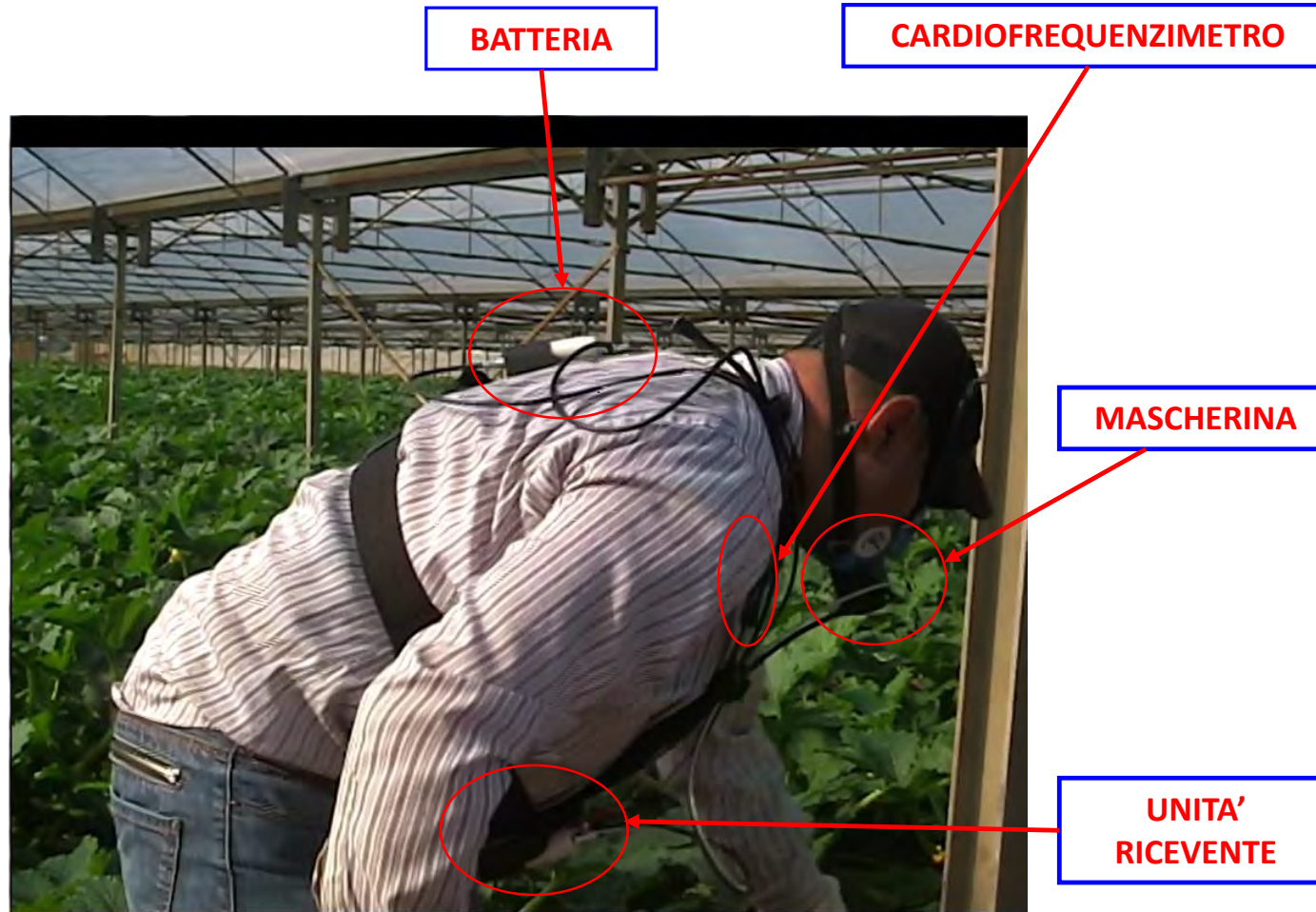
$$M_p = EE \times \dot{V}_{O_2} \times \frac{1}{A_{Du}} \quad M_s = 55 \text{ W/m}^2$$

t_m Durata del periodo principale in min

t_r Durata del periodo di recupero in min

Valutazione attività metabolica

L'ergospirometro portatile

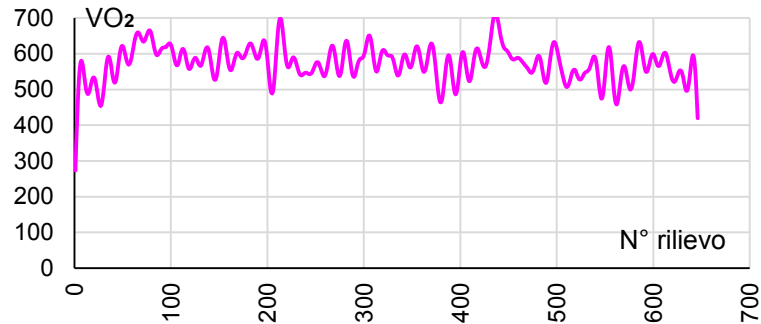


Valutazione attività metabolica

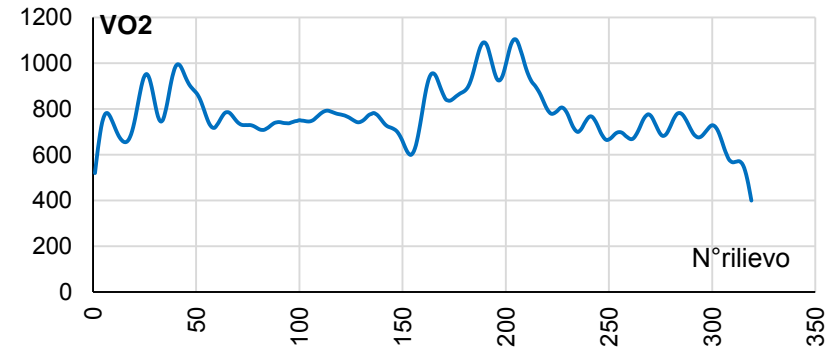
I rilievi del consumo d'ossigeno



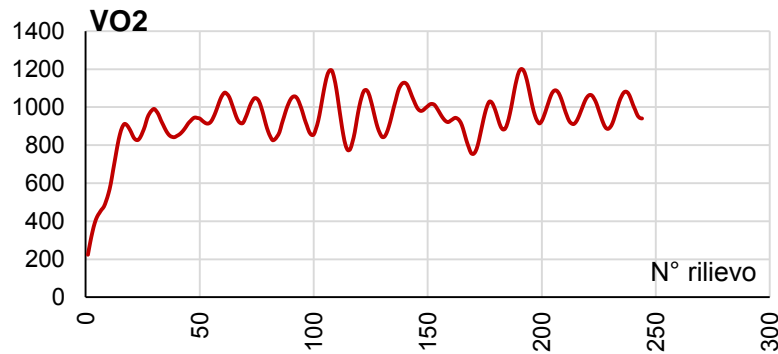
**ASPORTAZIONE STRATO SUPERFICIALE
(metodo parziale)**



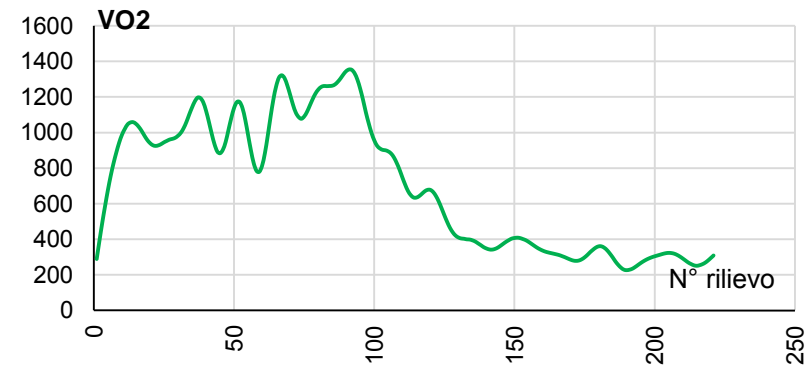
**DISTRIBUZIONE PRODOTTI FITOSANITARI
(metodo parziale)**



**RACCOLTA PRODOTTO
(metodo parziale)**



**TRASPORTO PRODOTTO
(metodo integrale)**



	P	H	Adu	VO2	VCO2	RQ	M
Asportazione strato sup	60	1,57	1,6	34,8	27,94	0,8	122
Distrib prodotti fitosanitari	85	1,86	1,84	48,86	42,3	0,86	151,4
Raccolta prodotto	86	1,72	1,99	58,49	46,86	0,8	164
Trasporto prodotto	84	1,83	2,06	63,08	58,25	0,92	217,6

Valutazioni isolamento termico

La valutazione dell'isolamento termico – UNI EN ISO 9920:2009

$$I_{cl} = 0,161 + 0,835 \sum I_{clu}$$

INVERNO



ESTATE



Asportazione strato superficiale

No	Capo di abbigliamento	Iclu
8	Boxer	0,04
33	Maglietta maniche lunghe	0,12
90	Pantaloni da lavoro	0,24
254	Calzini alle caviglie	0,02
258	Scarpe	0,05
140	Felpa a maniche lunghe	0,29
		Icl= 0,8

Asportazione strato superficiale

No	Capo di abbigliamento	Iclu
8	Boxer	0,04
33	Maglietta maniche lunghe	0,12
90	Pantaloni da lavoro	0,24
254	Calzini alle caviglie	0,02
258	Scarpe	0,05
		Icl= 0,55

Raccolta prodotti

No	Capo di abbigliamento	Iclu
8	Boxer	0,04
31	T-shirt	0,1
102	Jeans	0,15
70	Camicia a maniche lunghe	0,29
258	Scarpe	0,05
		Icl= 0,69

Raccolta prodotti

No	Capo di abbigliamento	Iclu
8	Boxer	0,04
102	Jeans	0,15
70	Camicia a maniche lunghe	0,29
258	Scarpe	0,05
		0,6

Valutazioni isolamento termico

La valutazione dell'isolamento termico – UNI EN ISO 9920:2009

$$I_{cl} = 0,161 + 0,835 \sum I_{clu}$$

INVERNO

Trasporto prodotti

No	Capo di abbigliamento	Iclu
8	Boxer	0,04
31	T-shirt	0,1
102	jeans	0,15
254	Calzini alle caviglie	0,02
70	Camicia a maniche lunghe	0,29
258	Scarpe	0,05
		0,7

Distribuzione prodotti fitosanitari

No	Capo di abbigliamento	Iclu
8	Boxer	0,04
33	Maglietta a maniche lunghe	0,12
102	Jeans	0,15
121	Tuta 'Chemical protective'	0,6
258	Scarpe	0,05
		Icl= 0,96



ESTATE

Trasporto prodotti

No	Capo di abbigliamento	Iclu
8	Boxer	0,04
102	jeans	0,15
70	Camicia a maniche lunghe	0,29
254	Calzini alle caviglie	0,02
258	Scarpe	0,05
		0,62

Distribuzione prodotti fitosanitari

No	Capo di abbigliamento	Iclu
8	Boxer	0,04
33	Maglietta a maniche lunghe	0,12
102	Jeans	0,15
121	Tuta 'Chemical protective'	0,6
258	Scarpe	0,05
		Icl= 0,96

Valutazione - indice WBGT

Stagione: estate



WBGT=Wet Bulb Globe Temperature
(UNI EN 27243:1996)

Indice empirico correlato allo stress termico a cui un individuo è sottoposto

CALCOLO INDICE WBGT

All'interno e all'esterno di edifici in assenza di irraggiamento solare

$$WBGT = 0.7xt_{nw} + 0.3xt_g$$

All'esterno di edifici in presenza di irraggiamento

$$WBGT = 0.7xt_{nw} + 0.2xt_g + 0.1xt_a$$

	Condizioni termiche considerate	Ta (°C)	Tnw (°C)	Tg (°C)	WBGT (°C)
1	Estate prime ore della mattina	24,6	23,5	27,7	24,8
2	Estate intera mattinata	27,6	23,1	36,2	27
3	Estate condizione peggiore	33,6	26,7	48	33

CONFRONTO

$WBGT ? WBGT_{lim}$

CALCOLO WBGT limite

Classe	Metabolismo, M		Valori di riferimento di WBGT [°C]			
	(W/m ²)	(W)	Soggetto acclimato		Soggetto non acclimato	
0	M < 65	M < 117	33		32	
1	65 < M < 130	117 < M < 234	30		29	
2	130 < M < 200	234 < M < 360	28		26	
			Aria stagnante	Aria non stagnante	Aria stagnante	Aria non stagnante
3	200 < M < 260	360 < M < 468	25	26	22	23
4	M > 260	M > 468	23	25	18	20

Mansione	M	Classe	WBGT lim (sogg non acclim)
Asportazione strato sup	122	1	29
Raccolta prodotto	164,4	2	26
Trasporto prodotto	217,6	3	22/23
Distrib. fitosanitari	151,4	2	26

Mansione	Condizione critica
Asportazione strato superficiale	3
Raccolta prodotto	2,3
Trasporto prodotto	1,2,3
Distribuzione fitosanitari	2,3

PHS - PREDICTED HEAT STRAIN (UNI EN ISO 7933:2005)

Metodo per la valutazione analitica dello stress termico

COSA VALUTA

Temperatura rettale (in °C)

La quantità totale di perdita d'acqua (in g)

CONFRONTA

la temperatura rettale con il valore massimo ammissibile

$$t_{re} \geq 38^{\circ}\text{C}$$

la quantità totale di perdita d'acqua del soggetto con il valore massimo ammissibile

$$SW_{tot} \geq D_{max} = f(P) \begin{cases} DRINK = 1 & \begin{cases} D_{max50} = 0.075 \times bodymass & \text{per un soggetto medio} \\ D_{max95} = 0.05 \times bodymass & \text{per proteggere il 95 \% della popolazione lavorativa} \end{cases} \\ DRINK = 0 & D_{max} = 0.03 \times bodymass \end{cases}$$



EVENTUALE LIMITAZIONE DEI TEMPI DI ESPOSIZIONE

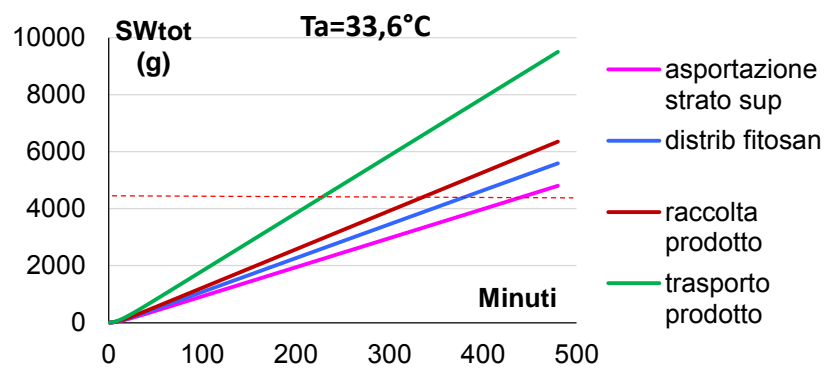
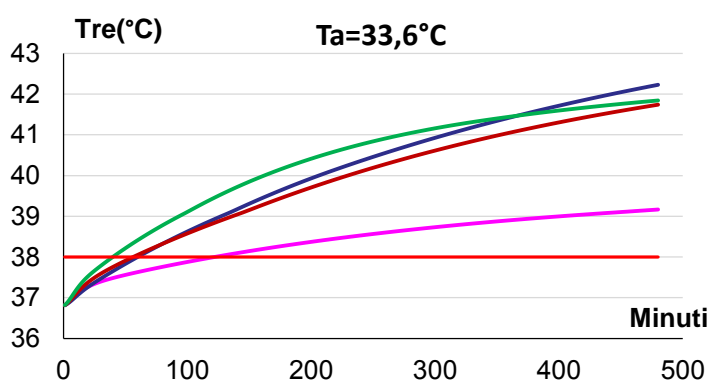
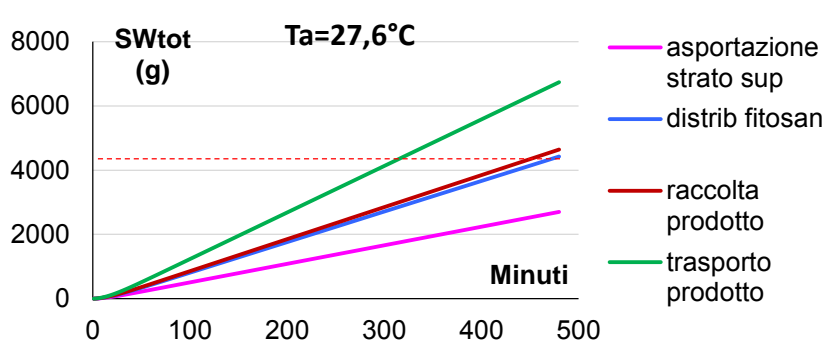
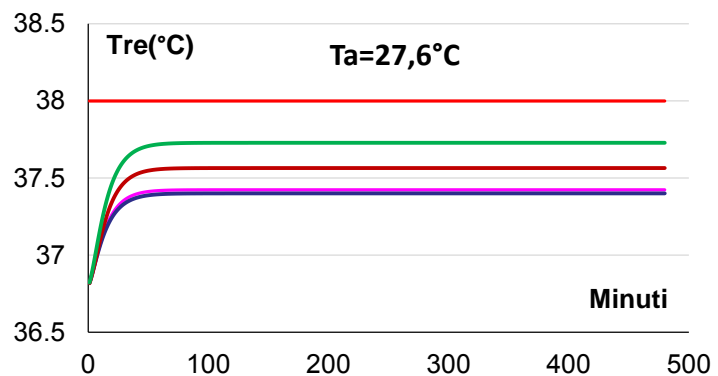
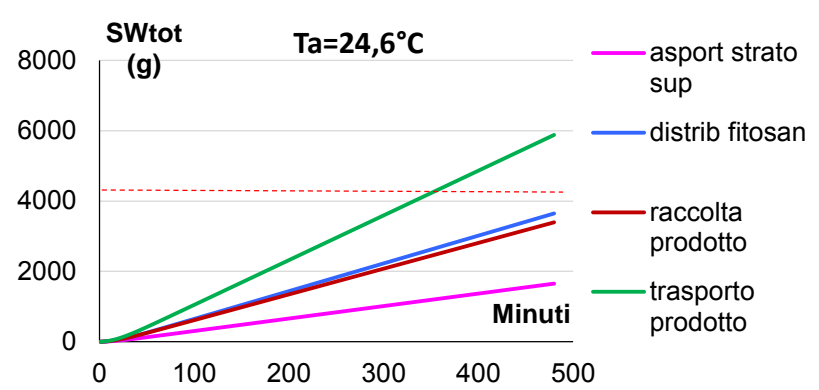
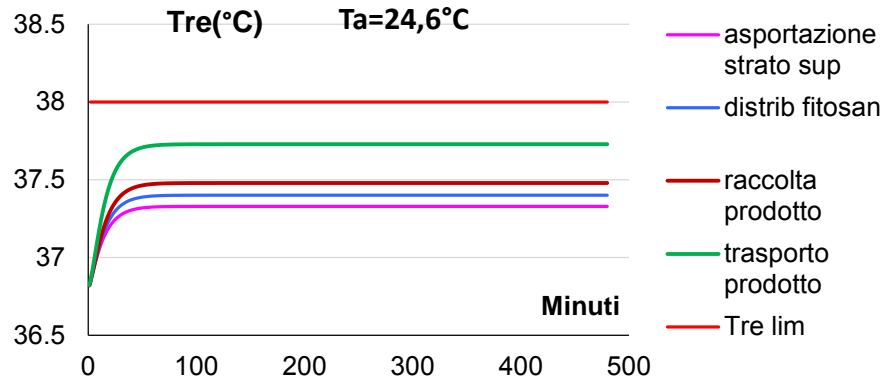
$D_{lim\ tre}$

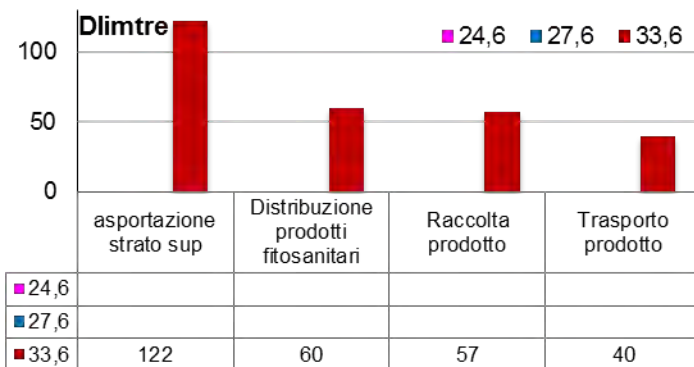
$D_{lim\ loss50}$

$D_{lim\ loss95}$

Valutazione - modello PHS

Stagione: estate. Risultati: andamenti Tre e SW tot





ASPORTAZIONE STRATO SUPERFICIALE

Limitazione solo nella condizione di $T_a=33,6^{\circ}\text{C}$ per raggiungimento del limite della temperatura rettale

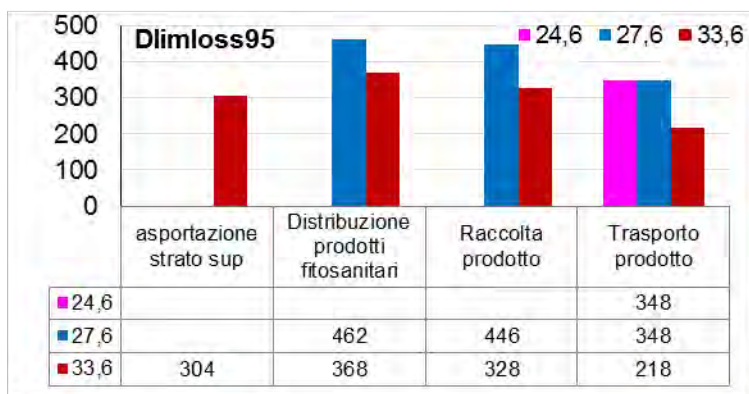
DISTRIBUZIONE PRODOTTI FITOSANITARI

RACCOLTA PRODOTTO

$T_a=24,6^{\circ}\text{C}$ Nessuna limitazione

$T_a=27,6^{\circ}\text{C}$ Limitazione per raggiungimento della quantità massima di perdita di acqua

$T_a=33,6^{\circ}\text{C}$ Limitazione per raggiungimento limite della temperatura rettale



TRASPORTO PRODOTTO

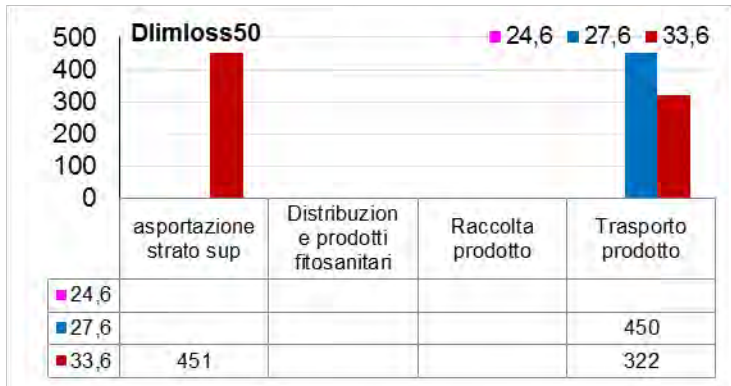
unica mansione che ha la limitazione dei tempi di esposizione per tutti e 3 gli scenari considerati:

$T_a=24,6^{\circ}\text{C}$

$T_a=27,6^{\circ}\text{C}$

$T_a=33,6^{\circ}\text{C}$

} Limitazione per raggiungimento della quantità massima di perdita di acqua
Limitazione per raggiungimento limite della temperatura rettale



Conclusioni

- ❖ Ambiente di lavoro caratterizzato da ampia variabilità giornaliera e stagionale
- ❖ Mansioni caratterizzate da impegno metabolico diverso e abbigliamento variabile
- ❖ Necessità di una valutazione puntuale con metodiche adeguate
- ❖ Interazione con altri rischi
- ❖ DPI che facilitano la dispersione di calore (*“personal cooling systems”*)



Grazie per
l'attenzione



v.molinaro@in
ail.it