

### UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA EDILE - ARCHITETTURA

# EFFICIENZA ENERGETICA E AMBIENTALE DELLE SCHERMATURE SOLARI

IN COLLABORAZIONE CON





RELATORE:

PROF. ING. PLACIDO MUNAFÒ

TESI DI LAUREA DI:

SIMONA MARINELLI

## SCHERMATURE SOLARI ESTERNE

# DISPOSITIVI DI SCHERMO SOLARE INSTALLATI DAVANTI ALLE APERTURE IN FACCIATA CHE SI INTEGRANO CON L'ARCHITETTURA E L'INVOLUCRO EDILIZIO FIND A DIVENIRNE PARTE INTEGRANTE







"... SISTEMI CHE, APPLICATI ALL'ESTERNO DI UNA SUPERFICIE VETRATA TRASPARENTE, PERMETTONO UNA

> MODULAZIONE VARIABILE E CONTROLLATA DEI PARAMETRI ENERGETICI E OTTICO LUMINOSI

> > IN RISPOSTA ALLE SOLLECITAZIONI SOLARI" [D. LGS. 311/2006, ALLEGATO A COMMA 35]

### MOTIVAZIONI

### FONTE DI RISPARMIO ENERGETICO IN EDILIZIA

RAFFRESCAMENTO RIDUZIONE IRRAGGIAMENTO SOLARE ESTERNO **ESTIVO** RISCALDAMENTO AUMENTO RESISTENZA TERMICA DEI SERRAMENTI INVERNALE OBIETTIVO

VERIFICARE SCIENTIFICAMENTE IL REALE EFFETTO SULL' IMPATTO AMBIENTALE

STUDIARE SPERIMENTALMENTE IL COMPORTAMENTO IN OPERA DI DIVERSE TIPOLOGIE DI SCHERMATURE SOLARI

VALUTARE IL DANNO AMBIENTALE DELL'APPLICAZIONE DI SCHERMATURE SOLARI ALL'ESTERNO DELLE SUPERFICI VETRATE DI UN EDIFICIO

## METODOLOGIA



### IFASE

### ATTIVITÀ SPERIMENTALI

Monitoraggio contemporaneo estivo ed invernale di diverse schermature solari esterne

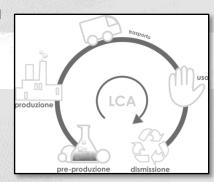
### II FASE

ANALISI ENERGETICA

- Modellazione di una finestra in un edificio di riferimento
- DEFINIZIONE DEI PARAMETRI NECESSARI PER L'ANALISI ENERGETICA DEL MODELLO
- Calcolo delle energie da inserire nella fase d'uso dell'inventario LCI.

### III FASE

ANALISI AMBIENTALE MEDIANTE STUDIO LCA



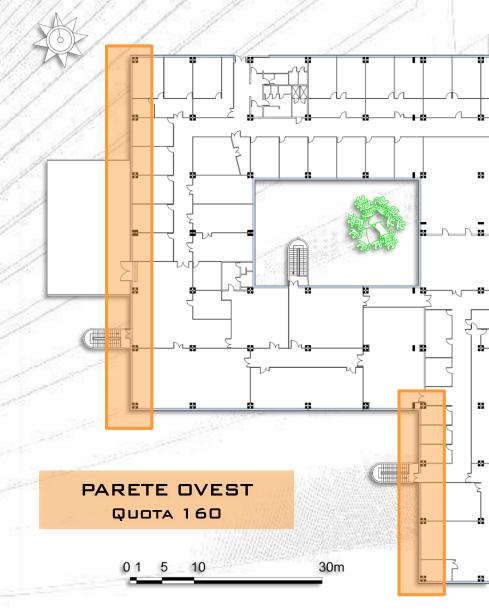
VALUTAZIONE DEL DANNO AMBIENTALE DI UNA FINESTRA CON SCHERMATURA ESTERNA A LAMELLE

# **EDIFICIO**

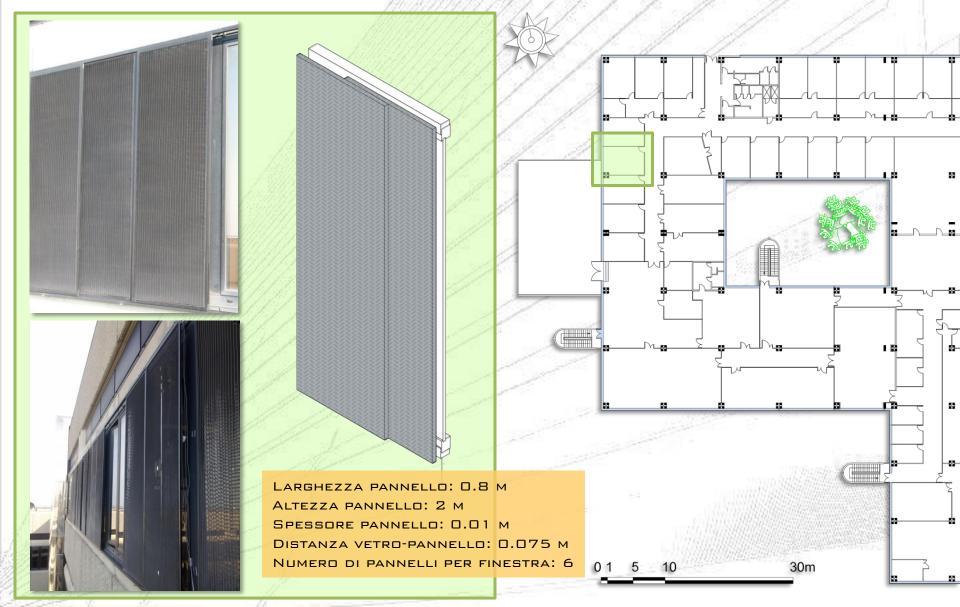
# FACOLTÀ DI INGEGNERIA DELL'UNIVPM



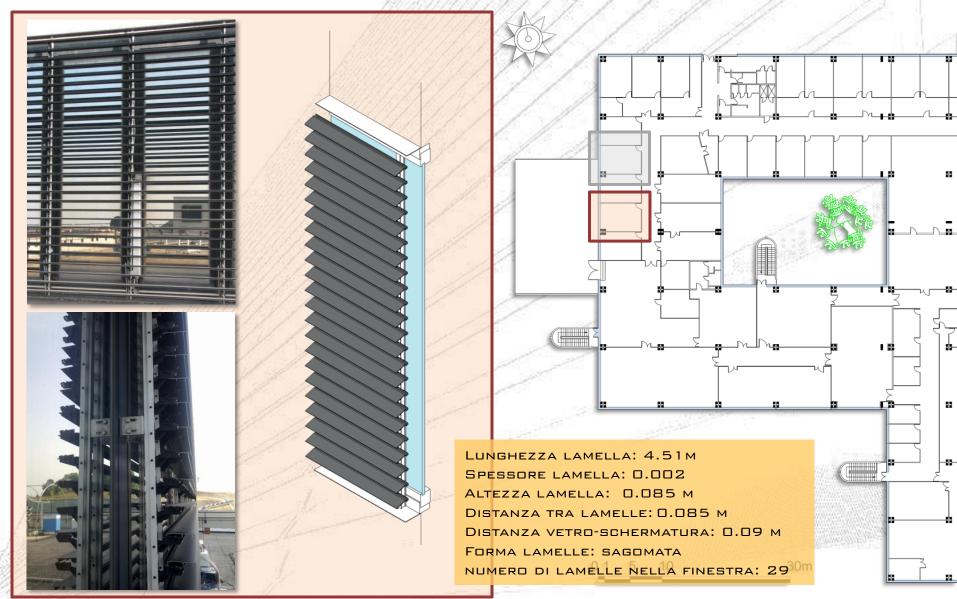




## PANNELLI SCORREVOLI



# FRANGISOLE A LAMELLE ORIENTABILI



### SCHERMATURA ESTERNA A CONTROLLO SOLARE



# FINESTRA DI RIFERIMENTO E PERSIANE TRADIZIONALI



# FINESTRA DI RIFERIMENTO E PERSIANE TRADIZIONALI



### MONITORAGGIO

### **ESTIVO**

DAL 17 SETTEMBRE AL 14 OTTOBRE

\*CONTEMPORANEO DI PANNELLI, FRANGISOLE, SCHERMATURA VETRATA

### INVERNALE

DAL 24 OTTOBRE AL 15 NOVEMBRE

\*CONTEMPORANEO DI FRANGISOLE, PERSIANA IN LEGNO E IN ALLUMINIO

# MONITORAGGIO CONDIZIONI AMBIENTALI ESTERNE



RADIAZIONE DIFFUSA



RADIOMETRI



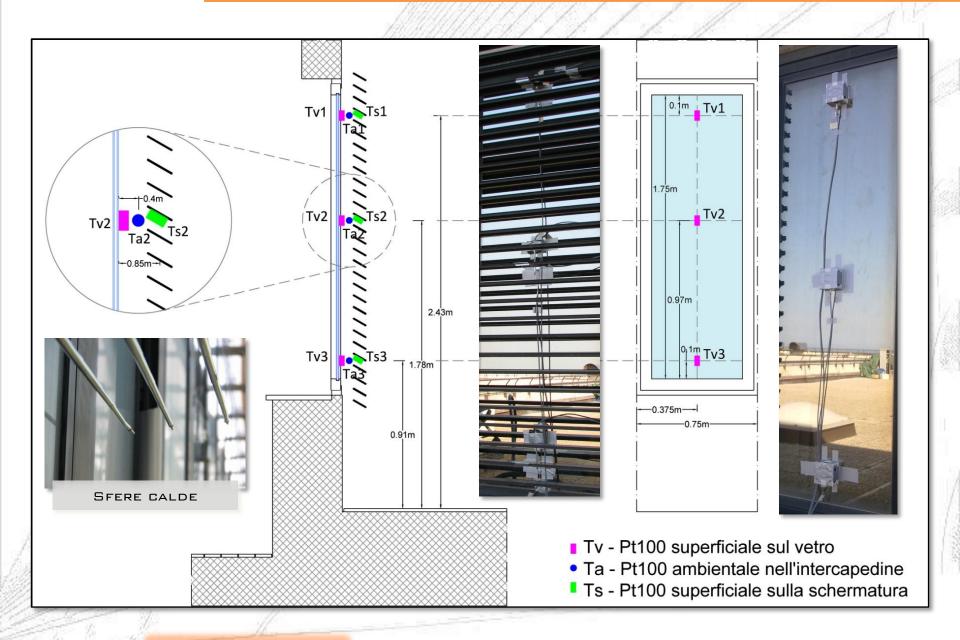
RADIAZIONE VERTICALE

#### CENTRALINA CLIMATICA

- ✓ RADIAZIONE GLOBALE
- ✓ RADIAZIONE DIRETTA
- ✓ TEMPERATURA ARIA
- ✓ VELOCITÀ DEL VENTO
- ✓ DIREZIONE DEL VENTO
- ✓ UMIDITÀ RELATIVA

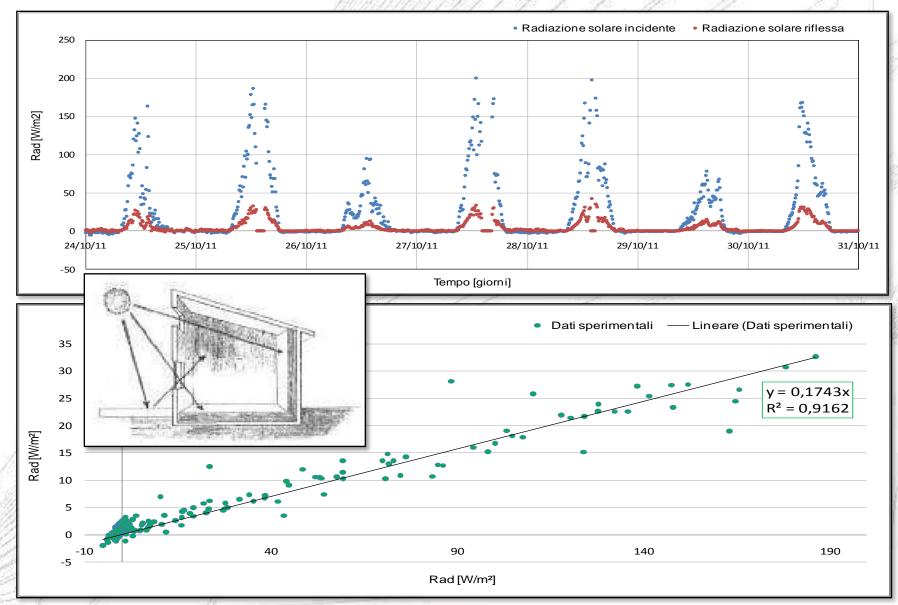


# MONITORAGGIO DEL COMPONENTE

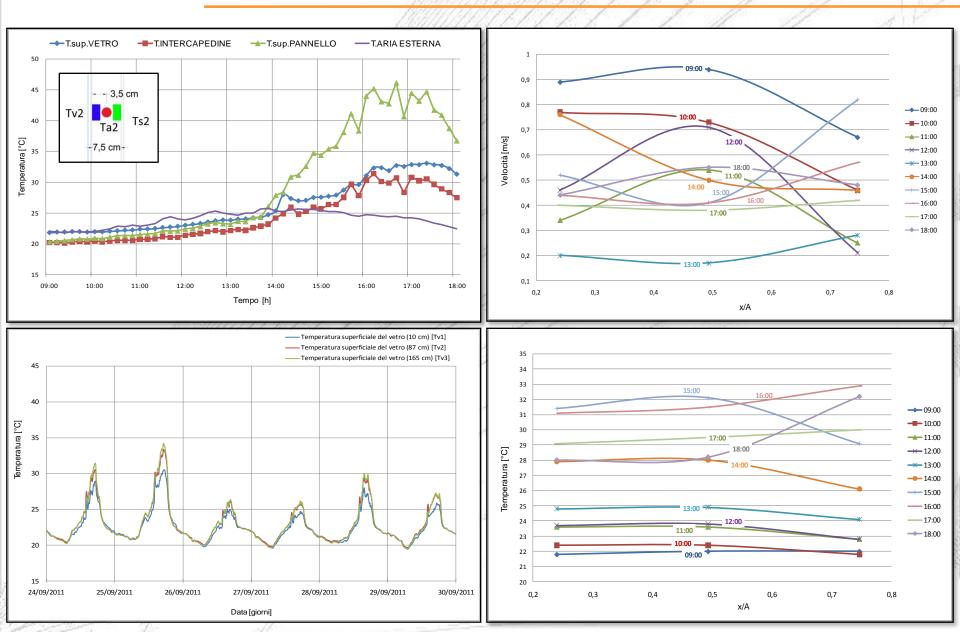


## CALCOLO DELL'ALBEDO

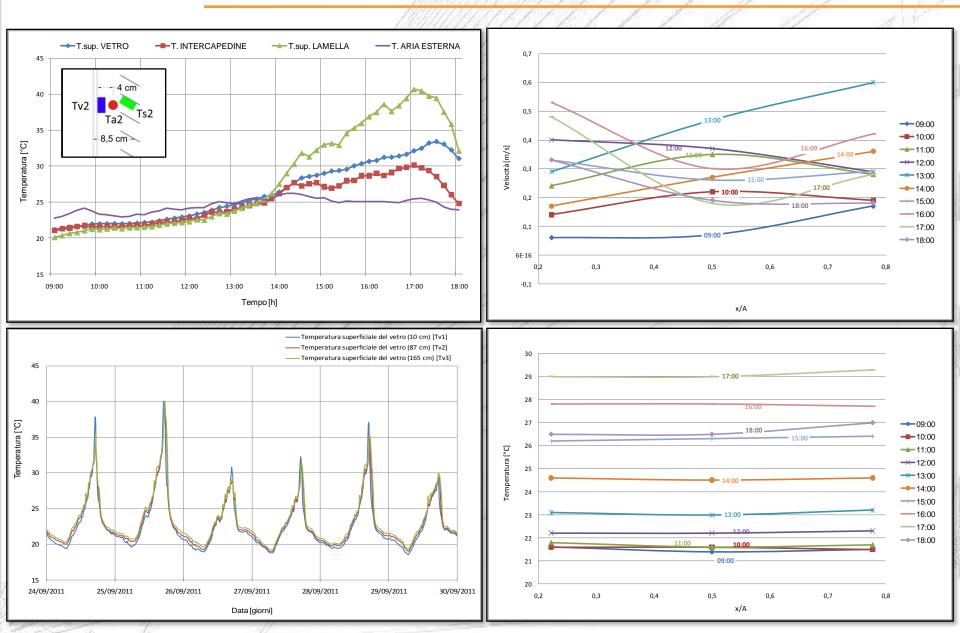
### RADIAZIONE SOLARE RIFLESSA / RADIAZIONE SOLARE INCIDENTE



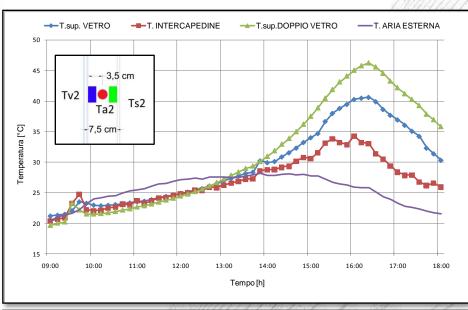
# MAPPATURA SPAZIALE - PANNELLI SCORREVOLI

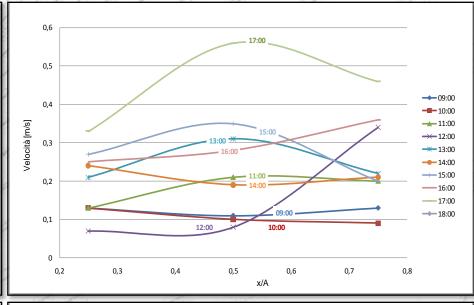


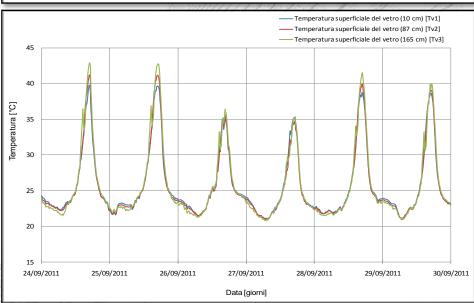
# MAPPATURA SPAZIALE - FRANGISOLE ORIENTABILE

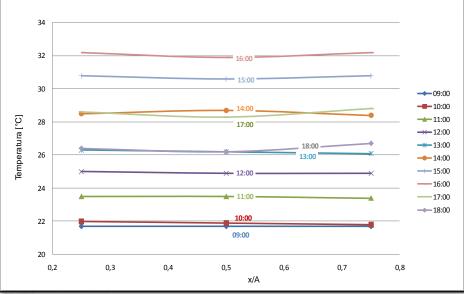


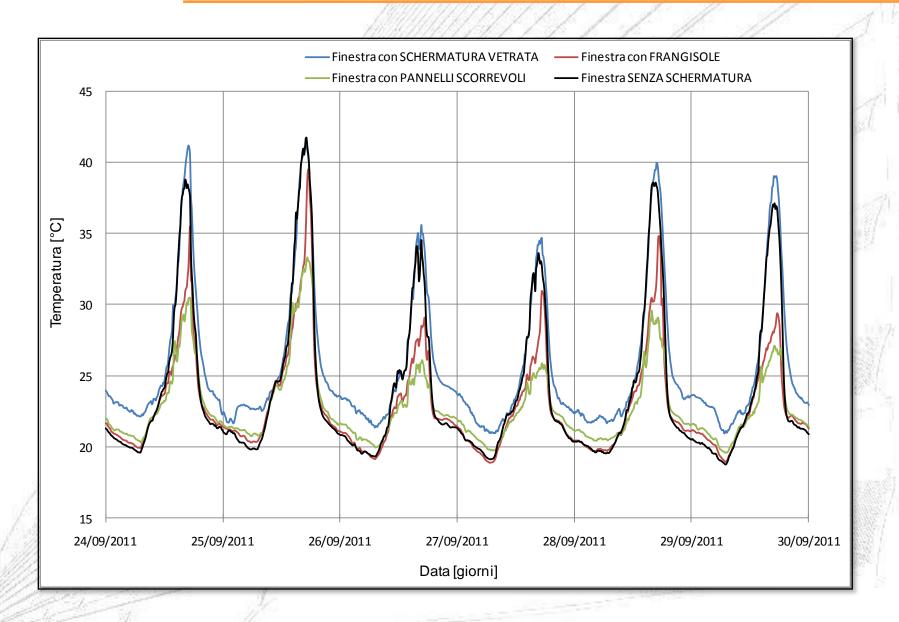
# MAPPATURA SPAZIALE - SCHERMATURA VETRATA

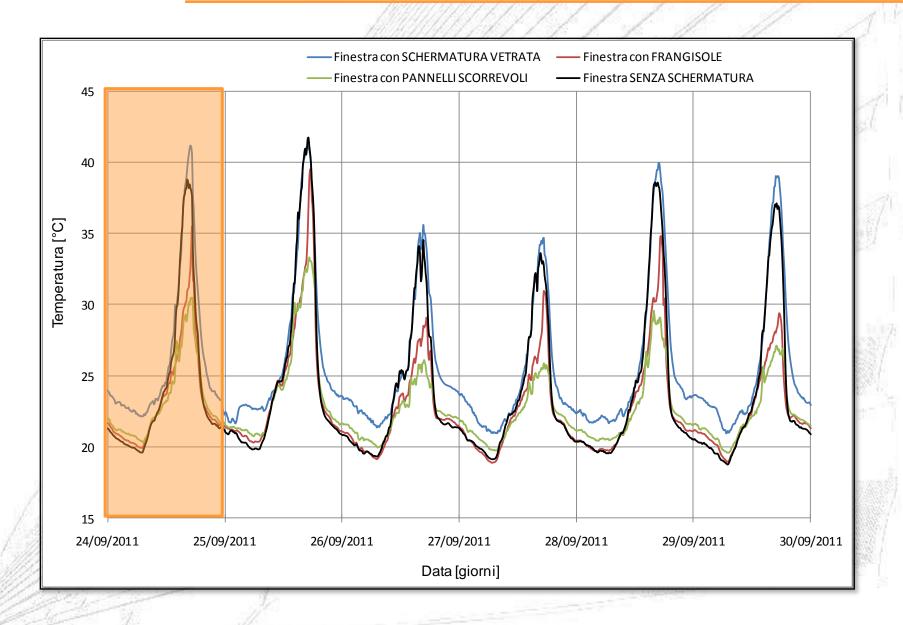


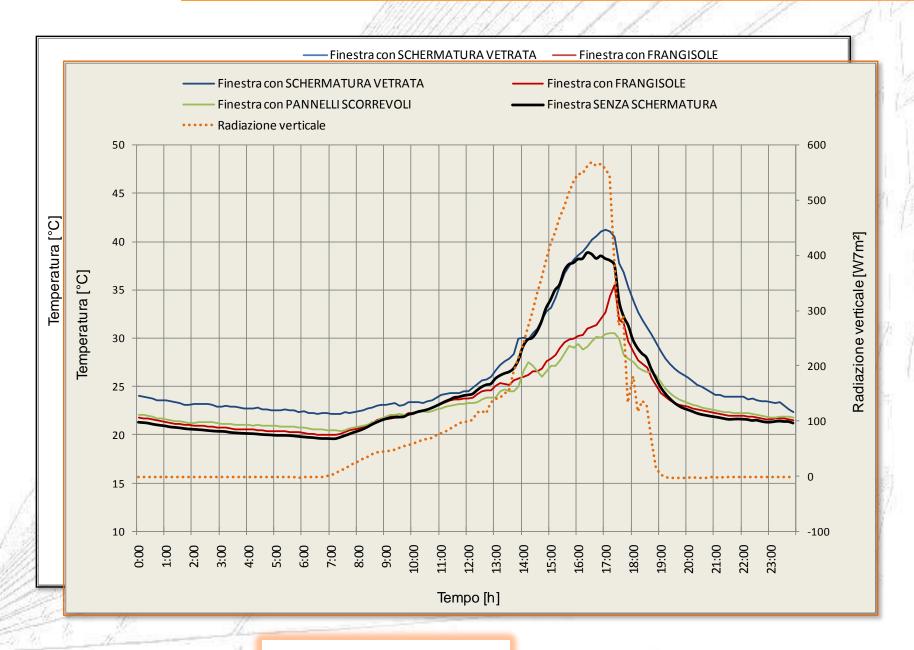


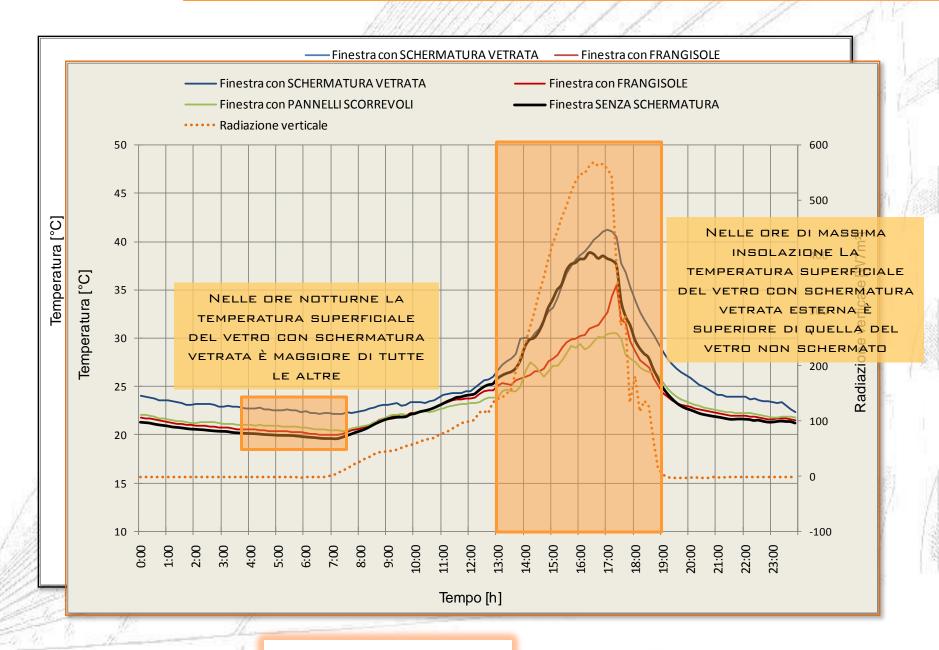


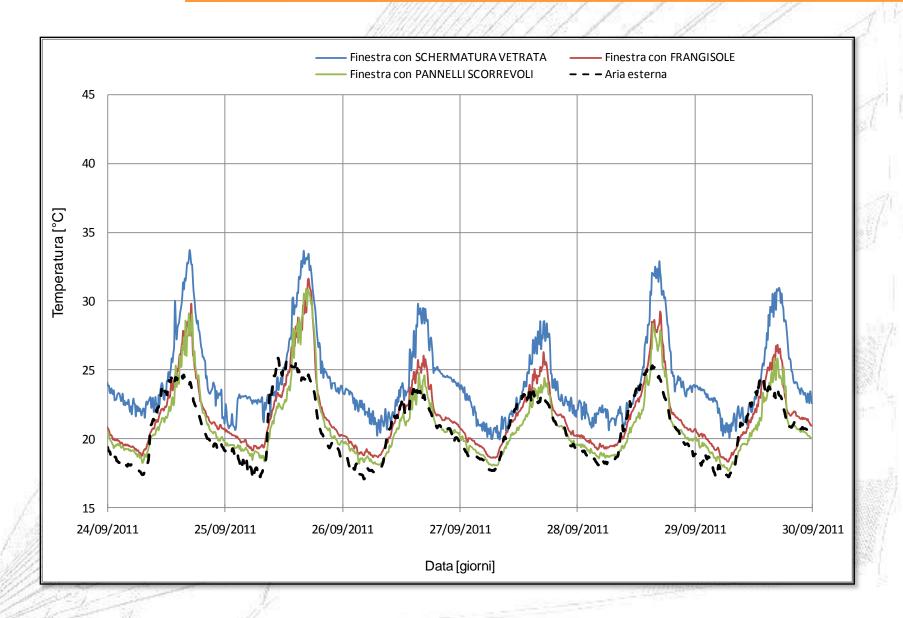




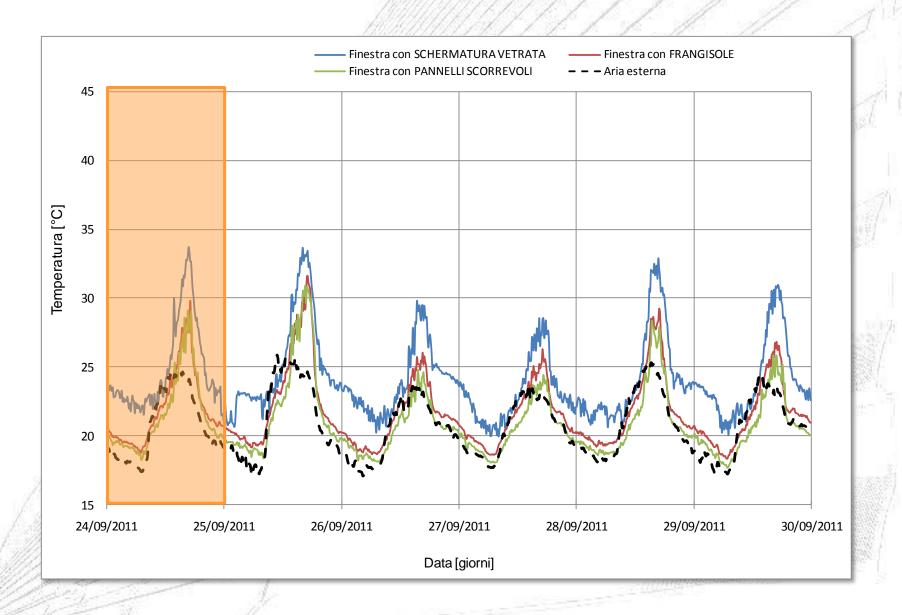


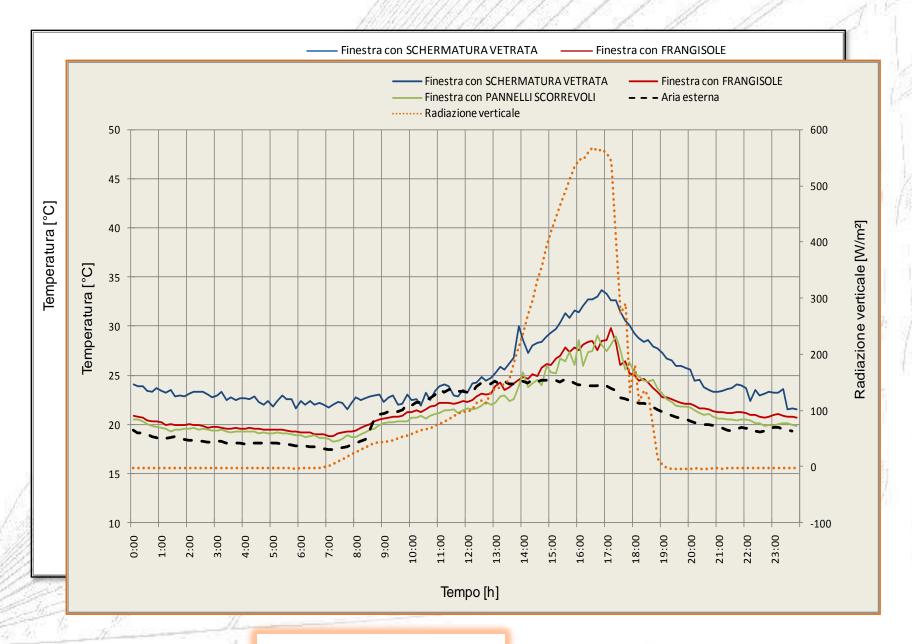


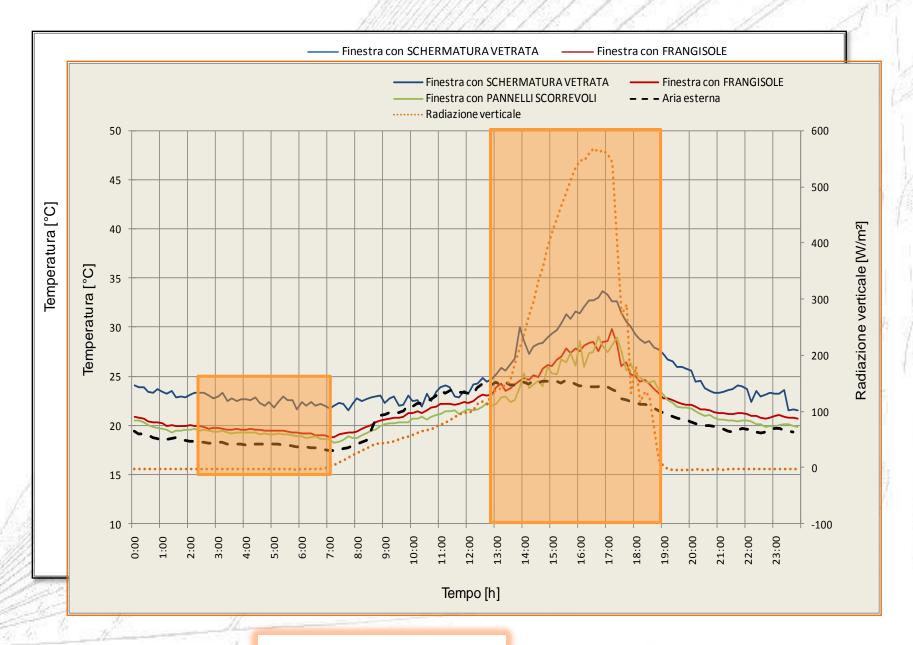




LYFE CYCLE ASSESSMENT



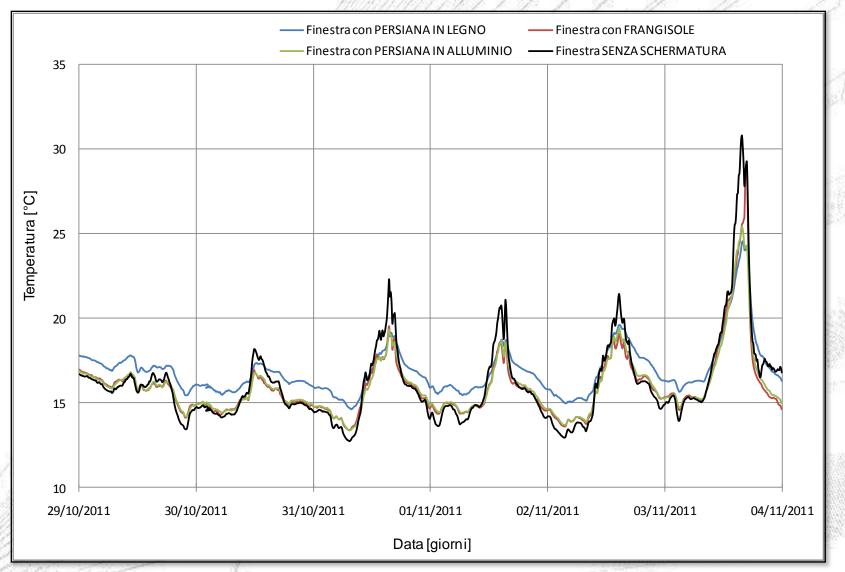




LYFE CYCLE ASSESSMENT

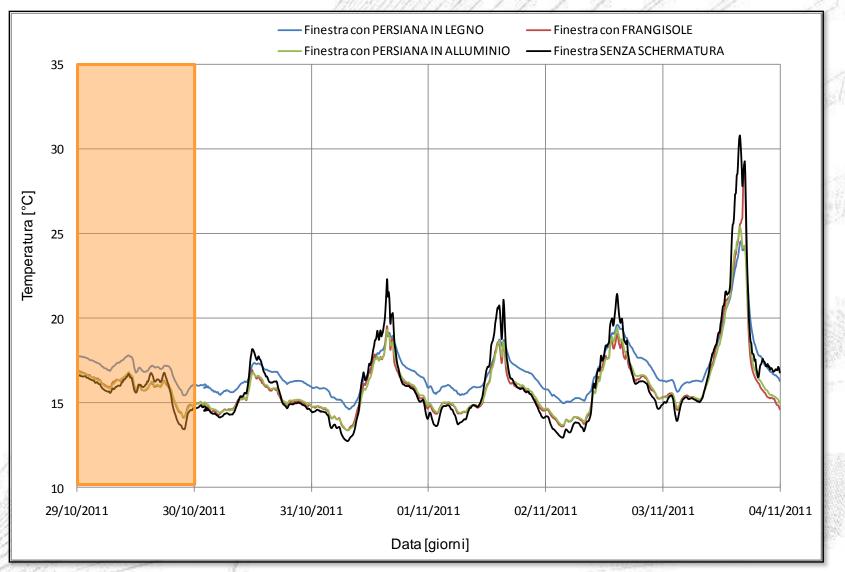
# MONITORAGGIO INVERNALE: CONFRONTO

### TEMPERATURA SUPERFICIALE DEI VETRI



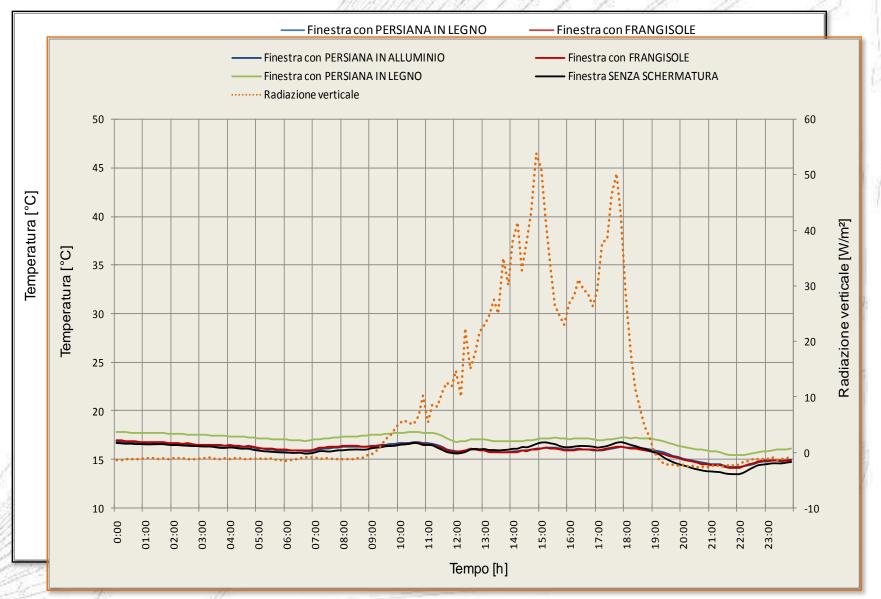
# MONITORAGGIO INVERNALE: CONFRONTO

### TEMPERATURA SUPERFICIALE DEI VETRI

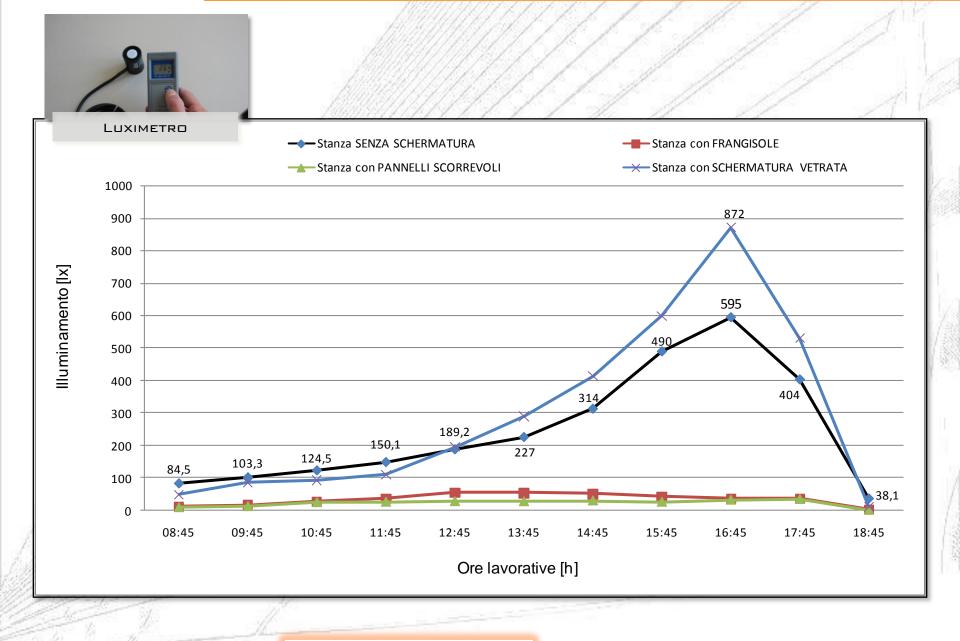


# MONITORAGGIO INVERNALE: CONFRONTO

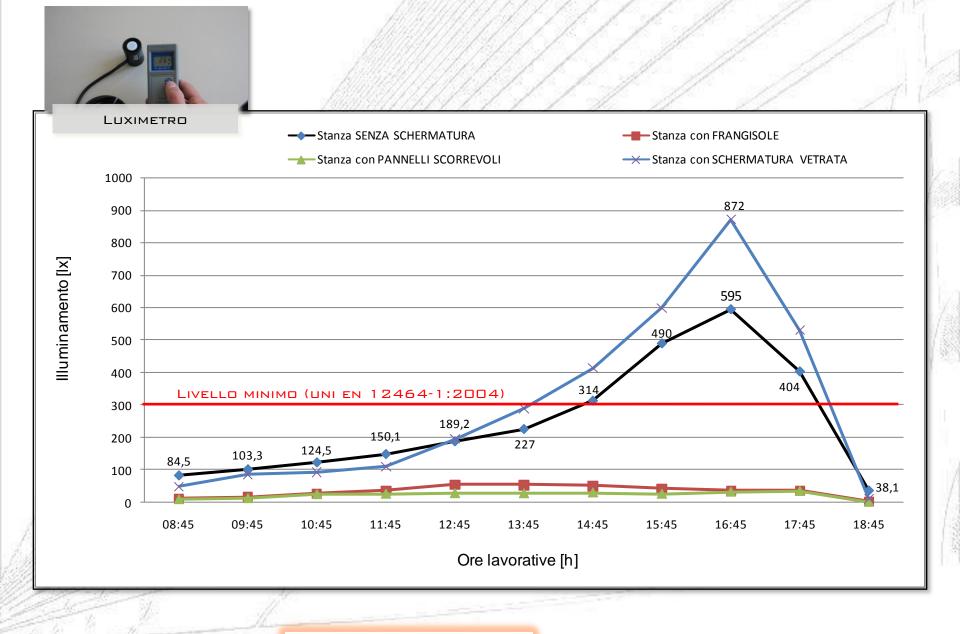
### TEMPERATURA SUPERFICIALE DEI VETRI



# ILLUMINAMENTO ALL'INTERNO DELLE STANZE



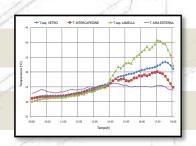
# ILLUMINAMENTO ALL'INTERNO DELLE STANZE



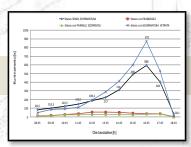
# FRANGISOLE ORIENTABILE

MIGLIORE IN FASE ESTIVA DIURNA CON I PANNELLI SCORREVOLI

MIGLIORE IN FASE ESTIVA NOTTURNA



MIGLIORE RISPETTO AI PANNELLI PER ILLUMINAZIONE NATURALE



NUMEROSI STUDI INTERNAZIONALI "Effect of Louver shading devices on Building energy requirements" ANA I. PALMERO - MARRERO, A. C. OLIVEIRA

PRECISI RIFERIMENTI NORMATIVI UNI EN ISO 13363:1

APPLIED ENERGY 87 (2010)

TIPOLOGIA PIÙ DIFFUSA SUL MERCATO

## OBIETTIVI E CONFINI DELLO STUDIO LCA

#### OBIETTIVO

VALUTAZIONE DEL DANNO AMBIENTALE E DEL COSTO ECONOMICO DI UNA FINESTRA CON SCHERMATURA SOLARE ESTERNA A LAMELLE ORIENTABILI

#### UNITÀ FUNZIONALE

AREA VISIBILE DEL CORPO FINESTRATO

SWINDOW = SGLASS + SFRAME = 8,7945 M2

#### SISTEMA OGGETTO DI STUDIO

CORPO FINESTRATO : VETROCAMERA + TELAIO SCHERMATURA:

FRANGISOLE ORIENTABILE

#### CONFINI DEL SISTEMA

PRODUZIONE

メニスログリストル・メート

USO

FINE VITA

VETROCAMERA

TELAID

SCHERMATURA

BILANCIO ENERGETICO
DI UN EDIFICIO

VETROCAMERA TELAIO SCHERMATURA

METODI USATI

ECO-INDICATOR 99

Mary Soll of

EPS 2000

EDIP 2003

IMPACT 2002+

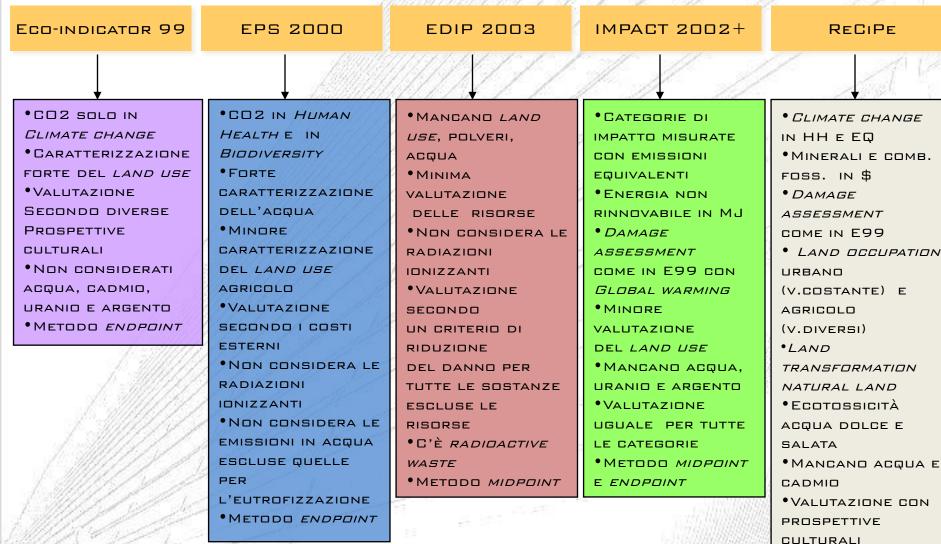
RECIPE MIDPOINT ENDPOINT

CODICE DI CALCOLO

SIMAPRO 7.3.2

LYFE CYCLE ASSESSMENT

### METODI DI VALUTAZIONE



• MINERALI E COMB. FOSS. IN \$ • DAMAGE ASSESSMENT COME IN E99 LAND OCCUPATION **URBANO** (V.COSTANTE) E AGRICOLO (V.DIVERSI) · I AND TRANSFORMATION

RECIPE

NEL MIDPOINT

• METODO ENDPOINT • WATER DEPLETION

### INVENTARIO

# "FASE DI PRODUZIONE DEL CICLO DI VITA"

### **VETROCAMERA**

DOPPIO VETRO A CONTROLLO SOLARE CON CAMERA RIEMPITA DI ARIA

- •G=0.37
- •UG: 1,6 W/м<sup>2</sup>K

#### TELAIO

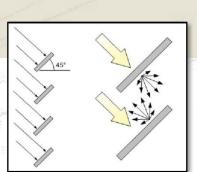
ALLUMINIO A TAGLIO TERMICO

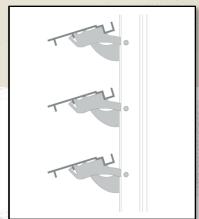
•UF: 2,8 W/M<sup>2</sup>K

### SCHERMATURA SOLARE

FRANGISOLE A LAMELLE ORIENTABILI IN ALLUMINIO ESTRUSO DI COLORE NERO RIFLETTENTI

- •H=2.465M
- $\bullet L = 4.51 M$
- \*NUMERO DI LAMELLE=29
- ·AREA: 11.117M2





# ANALISI ENERGETICA - CALCOLO TEORICO

"FASE DI USO DEL CICLO DI VITA"

### MODELLO DI RIFERIMENTO

FINESTRA DI UN UFFICIO SITUATO AD ANCONA ESPOSTO AD OVEST

#### PARAMETRI DEL CORPO FINESTRATO

CON CONSUMI DA SCHERMATURA

UWS - △R

TRASMITTANZA TERMICA DEL

SERRAMENTO RIDOTTA

G TOT

FATTORE SOLARE TOTALE
(VETRO + SCHERMO)

**DM** COEFFICIENTE DI LUCE DIURNA

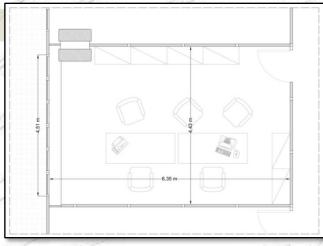
(FINESTRA SCHERMATA)

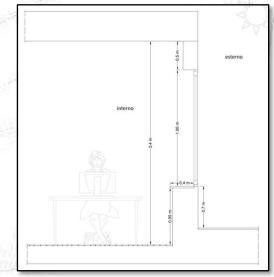
CLIMATIZZAZIONE

IRRAGGIAMENTO

ILLUMINAZIONE

PERMEABILITÀ





LYFE CYCLE ASSESSMENT

# ANALISI ENERGETICA - CALCOLO TEORICO

"FASE DI *USO* DEL CICLO DI VITA"

### CLIMATIZZAZIONE

ESTIVA DR \* UG \* SG \* DT \* GG \* TS

INVERNALE DR \* UG \* SG \* GG\* TW

### **IRRAGGIAMENTO**

ESTIVO HU \* FS \* FC\* FF \* ITS \* SG

INVERNALE -HU \* FS \* FC\* FF \* ITW \* SG

# PERMEABILITÀ

ESTIVA MS\* \*CP \* DT \* GS \* C

INVERNALE MW \* CP \* GG \*C

LYFE CYCLE ASSESSMENT

# ANALISI ENERGETICA - CALCOLO TRAMITE SOFTWARE

"FASE DI *PRODUZIONE* DEL CICLO DI VITA"

### MODELLO DI RIFERIMENTO

FINESTRA DI UN UFFICIO SITUATO AD ANCONA ESPOSTO AD OVEST

#### PARAMETRI DEL CORPO FINESTRATO

CON CONSUMI DA SCHERMATURA

UWS - AR

TRASMITTANZA TERMICA DEL

SERRAMENTO RIDOTTA

G TOT

FATTORE SOLARE TOTALE

(VETRO + SCHERMO)

CLIMATIZZAZIONE

CLIMATIZZAZIONE

IRRAGGIAMENTO

COEFFICIENTE DI LUCE

DIURNA

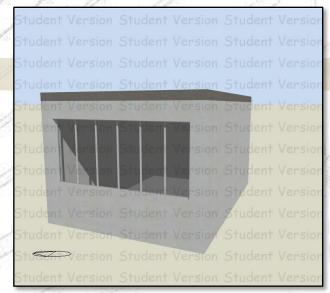
(FINESTRA SCHERMATA)

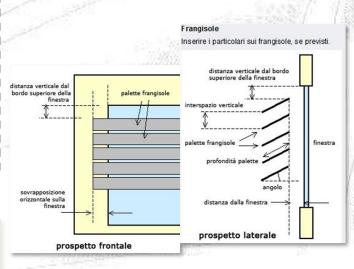
Dм

USO **CON** SCHERMATURA ENERGIA TERMICA E ENERGIA ELETTRICA

ILLUMINAZIONE

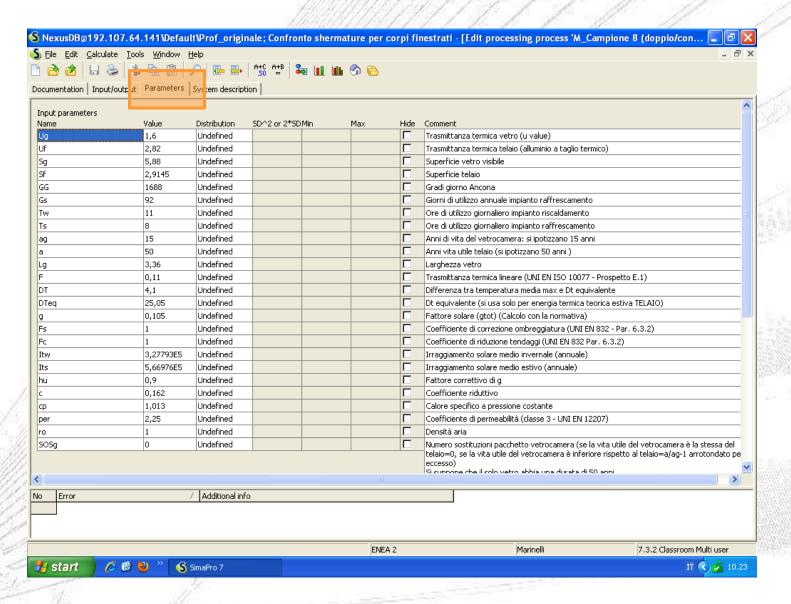
PERMEABILITÀ





## INVENTARIO

### INVENTARIO DEI PARAMETRI



LYFE CYCLE ASSESSMENT

"FASE DI FINE VITA DEL CICLO DI VITA"

#### TEMPO DI VITA

50 ANNI PER CORPO FINESTRATO E SCHERMATURA IN ALLUMINIO

#### FINE VITA VETROCAMERA

RIGENERAZIONE DELLA ZEOLITE
RICICLO DEL VETRO
RICICLO DELL'ALLUMINIO DEL PROFILO DISTANZIATORE

#### FINE VITA TELAIO

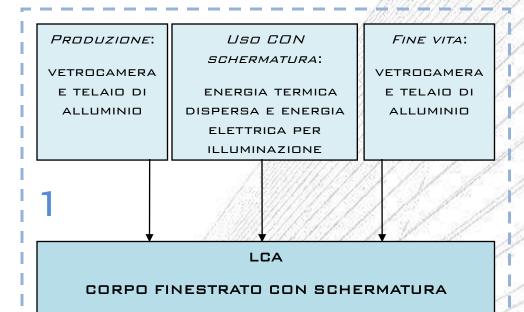
RICICLO DELL'ALLUMINIO E DELL'ACCIAIO SMALTIMENTO DELLE PLASTICHE

#### FINE VITA SCHERMATURA SOLARE

RICICLO DELL'ALLUMINIO DELLE LAMELLE E DEI MONTANTI SMALTIMENTO DELLE PLASTICHE DEI GANCI RICICLO DELL'ACCIAIO DI PIASTRE, BULLONI, VITI E CHIODI

# IL PROCESSO COMPLETO

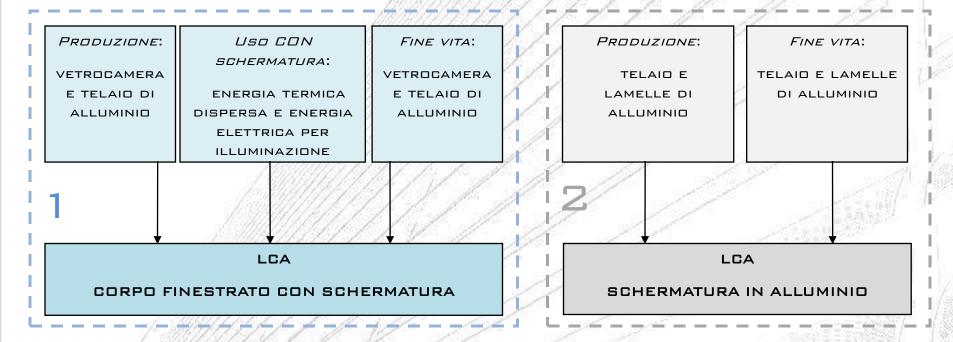
"LCA DI UNA FINESTRA CON SCHERMATURA"



LYFE CYCLE ASSESSMENT

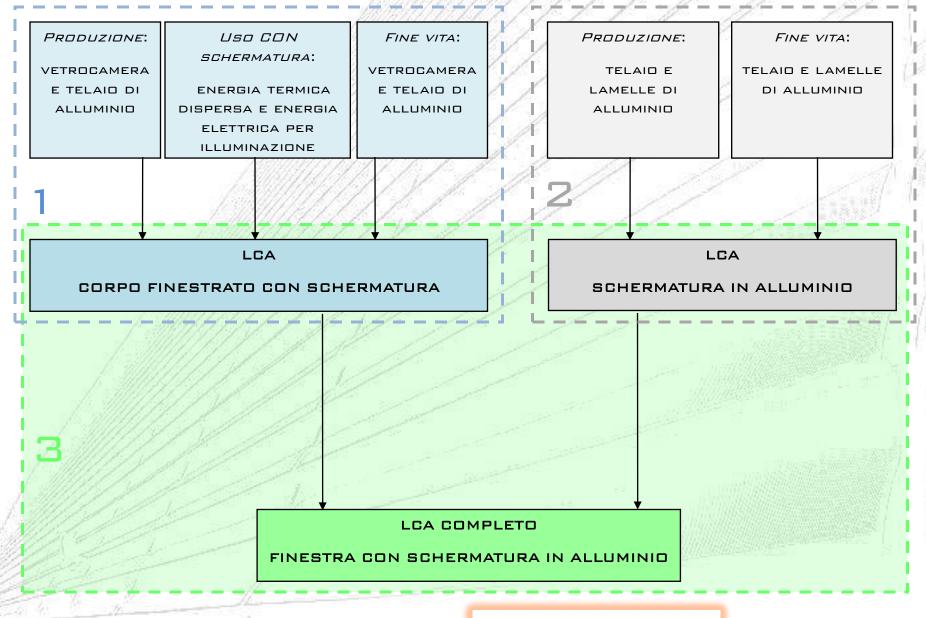
# IL PROCESSO COMPLETO

### "LCA DI UNA FINESTRA CON SCHERMATURA"



### IL PROCESSO COMPLETO

### "LCA DI UNA FINESTRA CON SCHERMATURA"



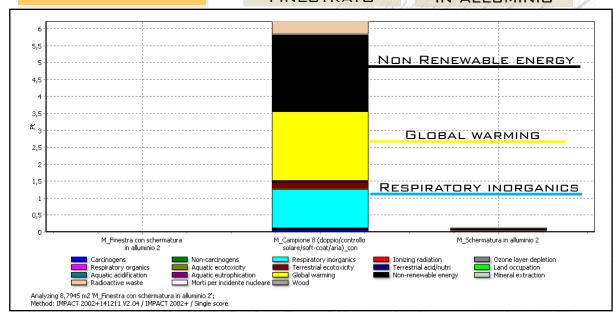
LYFE CYCLE ASSESSMENT

# "FINESTRA CON SCHERMATURA IN ALLUMINIO"

IMPACT 2002+

CORPO

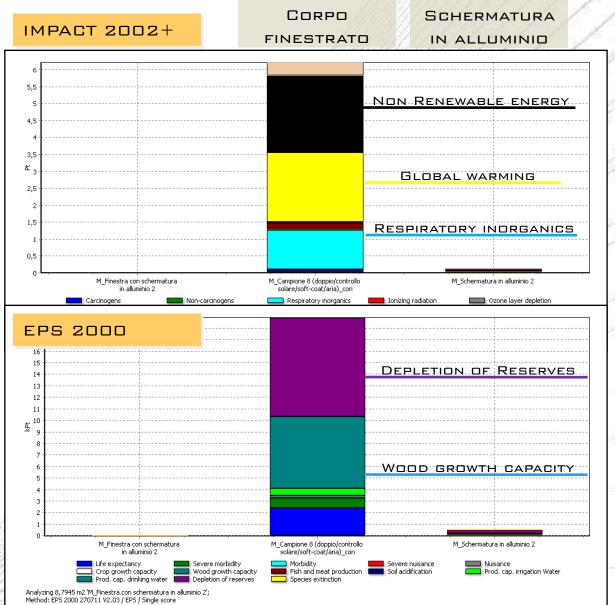
SCHERMATURA IN ALLUMINIO



ANALISI CON IMPACT 2002

IL DANNO TOTALE VALE 6.3539 PT
ELU=€) DOVUTO PER IL 97.8% AL
CORPO FINESTRATO CON I CONSUMI DA
SCHERMATURA DI ALLUMINIO E PER IL
2.2% ALLA SCHERMATURA SENZA USO.

# "FINESTRA CON SCHERMATURA IN ALLUMINIO"



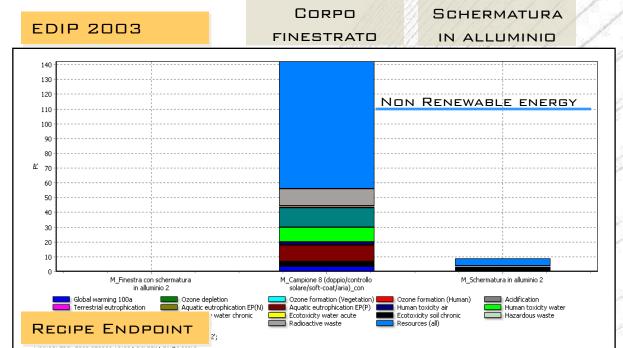
### ANALISI CON IMPACT 2002

IL DANNO TOTALE VALE 6.3539 PT ELU=€) DOVUTO PER IL 97.8% AL CORPO FINESTRATO CON I CONSUMI DA SCHERMATURA DI ALLUMINIO E PER IL 2.2% ALLA SCHERMATURA SENZA USO.

#### ANALISI CON EPS 2000

IL DANNO TOTALE VALE 19410 PT (ELU=€) DOVUTO PER IL 97.27% AL CORPO FINESTRATO CON I CONSUMI DA SCHERMATURA DI ALLUMINIO E PER IL 2.73% ALLA SCHERMATURA SENZA USO.

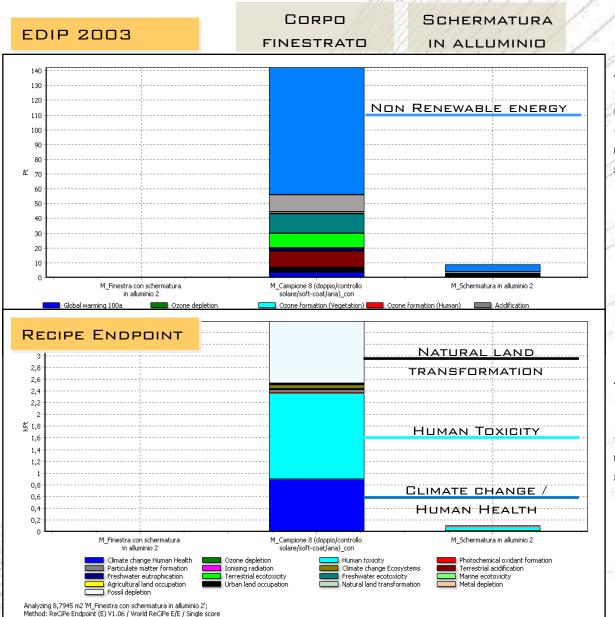
### FINESTRA CON SCHERMATURA IN ALLUMINIO



#### ANALISI CON EDIP 2003

IL DANNO TOTALE VALE 151.06 (ELU=€) DOVUTO PER IL 94.11% CORPO FINESTRATO CON I CONSUMI DA SCHERMATURA DI ALLUMINIO E PER IL 5.89% ALLA SCHERMATURA SENZA USO.

#### FINESTRA CON SCHERMATURA IN ALLUMINIO



### ANALISI CON EDIP 2003

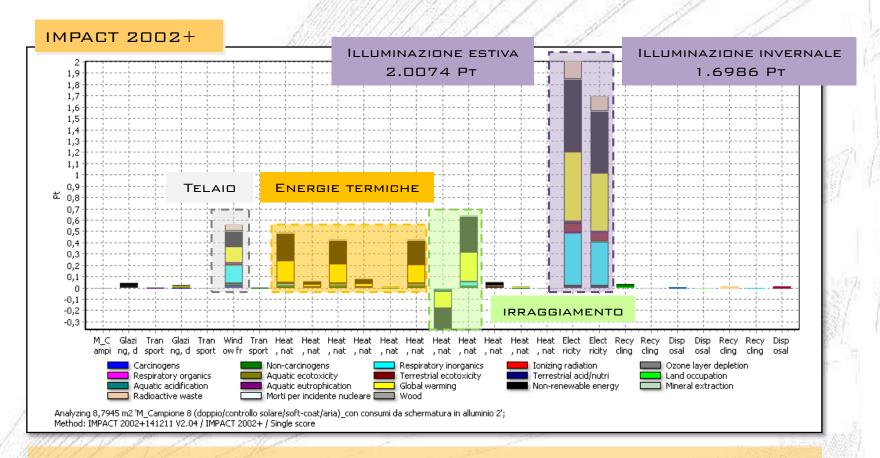
IL DANNO TOTALE VALE 151.06 PT (ELU=€) DOVUTO PER IL 94.11% AL CORPO FINESTRATO CON I CONSUMI DA SCHERMATURA DI ALLUMINIO E PER IL 5.89% ALLA SCHERMATURA SENZA USO.

#### ANALISI CON RECIPE ENDPOINT

IL DANNO TOTALE VALE 3696.2 PT (ELU=€) DOVUTO PER IL 97.05% AL CORPO FINESTRATO CON I CONSUMI DA SCHERMATURA DI ALLUMINIO E PER IL 2.95% ALLA SCHERMATURA SENZA USO.

### ANALISI DELLA VALUTAZIONE

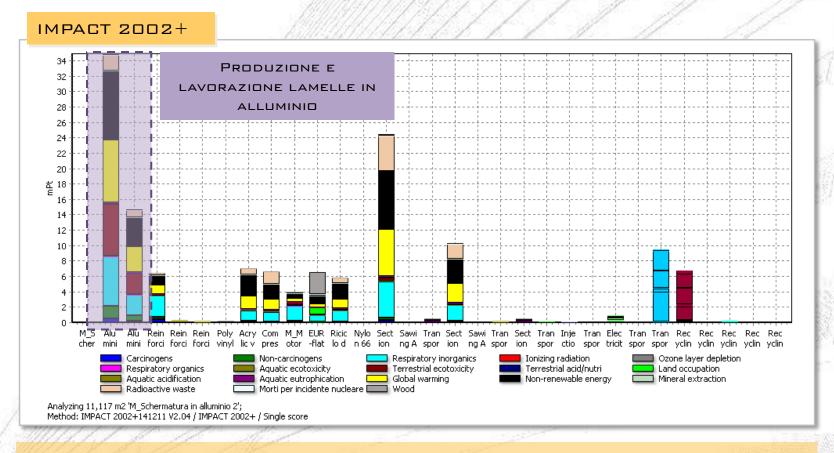
#### CORPO FINESTRATO CON CONSUMI DA SCHERMATURA IN ALLUMINIO



IL DANNO TOTALE VALE 6.2140 PT DOVUTO PRINCIPALMENTE AL CONSUMO DI ENERGIA ELETTRICA PER ILLUMINAZIONE ESTIVA ED INVERNALE

### ANALISI DELLA VALUTAZIONE

#### SCHERMATURA IN ALLUMINIO



IL DANNO TOTALE VALE 0.11PT

DOVUTO PRINCIPALMENTE ALLA PRODUZIONE E ALLA LAVORAZIONE DELLE LAMELLE

#### CONFRONTO TRA FINESTRA CON SCHERMATURA IN ALLUMINIO E IN LEGNO

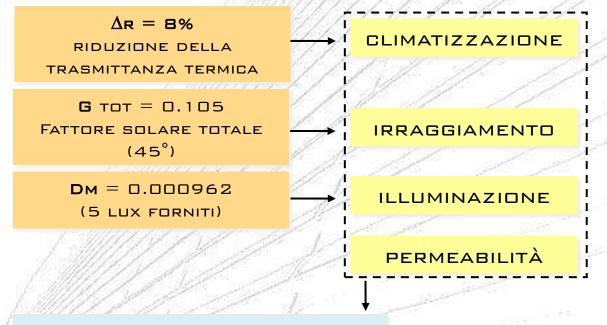
SCHERMATURA IN ALLUMINIO

LAMELLE IN ALLUMINIO ESTRUSO

DURATA DI VITA 50 ANNI

PARAMETRI DEL CORPO FINESTRATO CON

CONSUMI DA SCHERMATURA IN ALLUMINIO



USO CON
SCHERMATURA IN ALLUMINIO

RISULTATI E CONCLUSIONI

#### CONFRONTO TRA FINESTRA CON SCHERMATURA IN ALLUMINIO E IN LEGNO

SCHERMATURA IN ALLUMINIO SCHERMATURA IN LEGNO LAMELLE IN ALLUMINIO ESTRUSO LAMELLE IN LEGNO DURATA DI VITA 50 ANNI DURATA DI VITA 30 ANNI PARAMETRI DEL CORPO FINESTRATO CON PARAMETRI DEL CORPO FINESTRATO CON CONSUMI DA SCHERMATURA IN LEGNO CONSUMI DA SCHERMATURA IN ALLUMINIO  $\Delta_R = 8\%$  $\Delta R = 20\%$ CLIMATIZZAZIONE RIDUZIONE DELLA RIDUZIONE DELLA TRASMITTANZA TERMICA TRASMITTANZA TERMICA G TOT = 0.105G TOT = 0.097**IRRAGGIAMENTO** FATTORE SOLARE TOTALE FATTORE SOLARE TOTALE (45°)  $(45^{\circ})$ DM = 0.000962DM = 0.005036ILLUMINAZIONE (5 LUX FORNITI) (25 LUX FORNITI) PERMEABILITÀ USO CON SCHERMATURA IN LEGNO USO CON FINE VITA SCHERMATURA IN ALLUMINIO RICICLO DEL LEGNO

CASO DI STUDIO

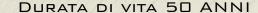
MONITORAGGIO

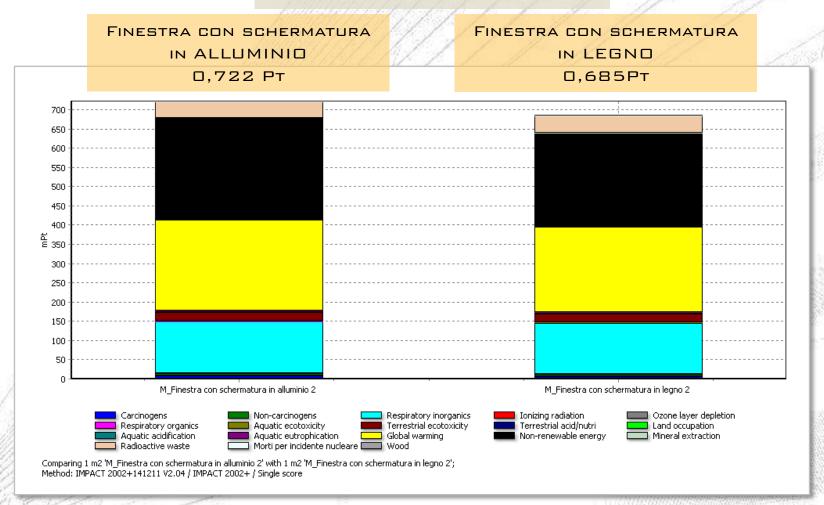
ANALISI SPERIMENTALE

LYFE CYCLE ASSESSMENT

RISULTATI E CONCLUSIONI

#### CONFRONTO TRA FINESTRA CON SCHERMATURA IN ALLUMINIO E IN LEGNO

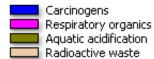


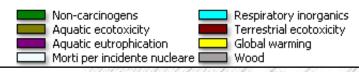


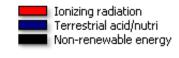
IL DANNO MASSIMO È DATO DALLA FINESTRA CON SCHERMATURA IN ALLUMINIO

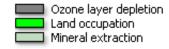
### CONFRONTO TRA SCHERMATURA IN ALLUMINIO E IN LEGNO

#### **IMPACT 2002+**

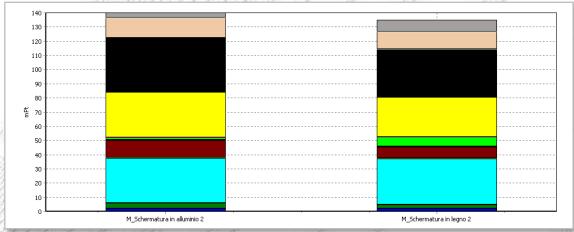








SCHERMATURA IN ALLUMINIO 50 ANNI 0.0126 PT



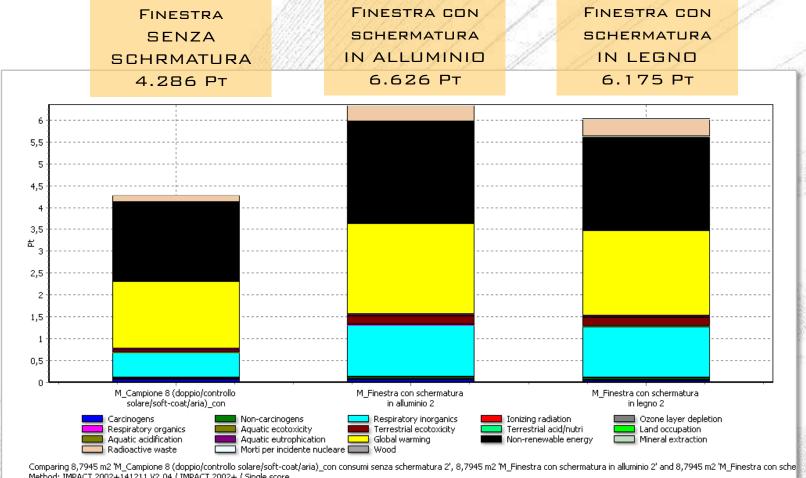
SCHERMATURA IN LEGNO 50 ANNI 0.0611

SCHERMATURA IN ALLUMINIO 50 ANNI 0.0126 PT



SCHERMATURA IN LEGNO 30 ANNI 0.0073

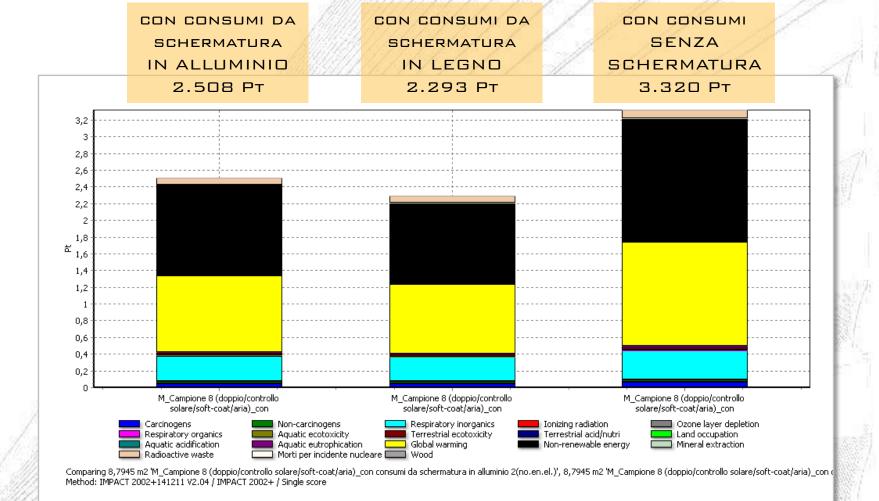
#### CONFRONTO TRA FINESTRA SENZA SCHERMATURA E CON SCHERMATURE



Method: IMPACT 2002+141211 V2.04 / IMPACT 2002+ / Single score

IL DANNO MASSIMO È DATO DALLA FINESTRA CON SCHERMATURA IN ALLUMINIO

#### CONFRONTO TRA CORPI FINESTRATI SENZA ENERGIA ELETTRICA



SE NON SI CONSIDERA L'ENERGIA ELETTRICA IL DANNO MASSIMO È DATO DALLA
FINESTRA SENZA SCHERMATURA

# CALCOLO DEI COSTI ESTERNI

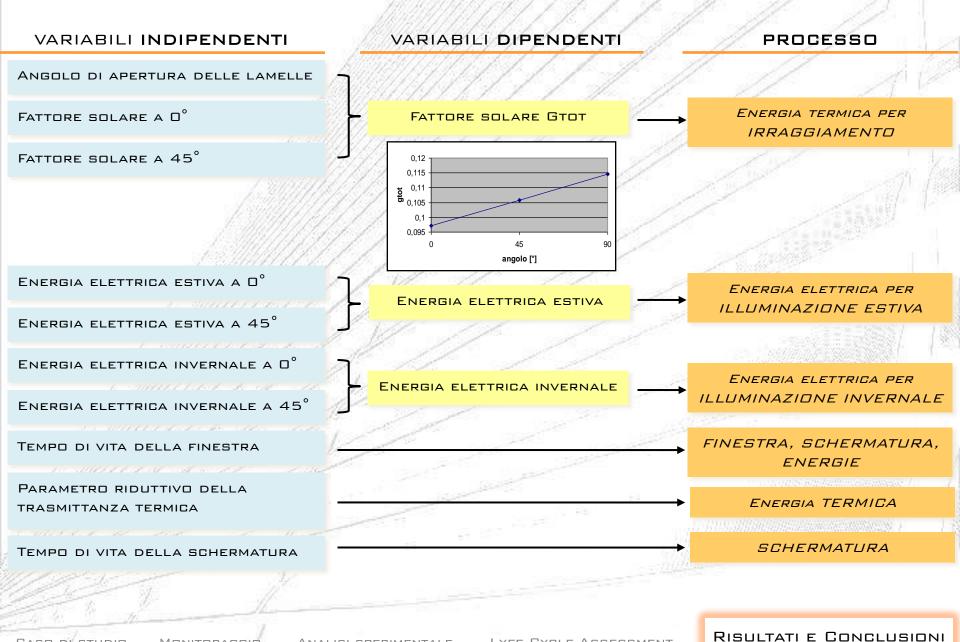
Меторо	HUMAN HEALTH [€]	ECOSYSTEM PRODUCTION CAPACITY [€]	ABIOTIC STOCK RESOURCE / RESOURCES [€]	BIODIVERSITY / ECOSYSTEM QUALITY [€]	TOTALE [€]
EPS	3539.6	6934.3	8904.1	32.025	19410
ECO- INDICATOR99	495.99	-	530.48	3.9744	1028.81
I COSTI INTERNI					5151

<sup>\*</sup>I DUE METODI PER CALCOLARE IL DANNO FORNISCONO RISULTATI CHE DIFFERISCONO DI UN FATTORE 20

\*IL COSTO INTERNO HA LO STESSO ORDINE DI GRANDEZZA DEL COSTO ESTERNO: 5 VOLTE PIÙ GRANDE DEL VALORE DI ECO-INDICATOR 99 4 VOLTE PIÙ PICCOLO DEL VALORE DI EPS.

## FOGLIO DI CALCOLO

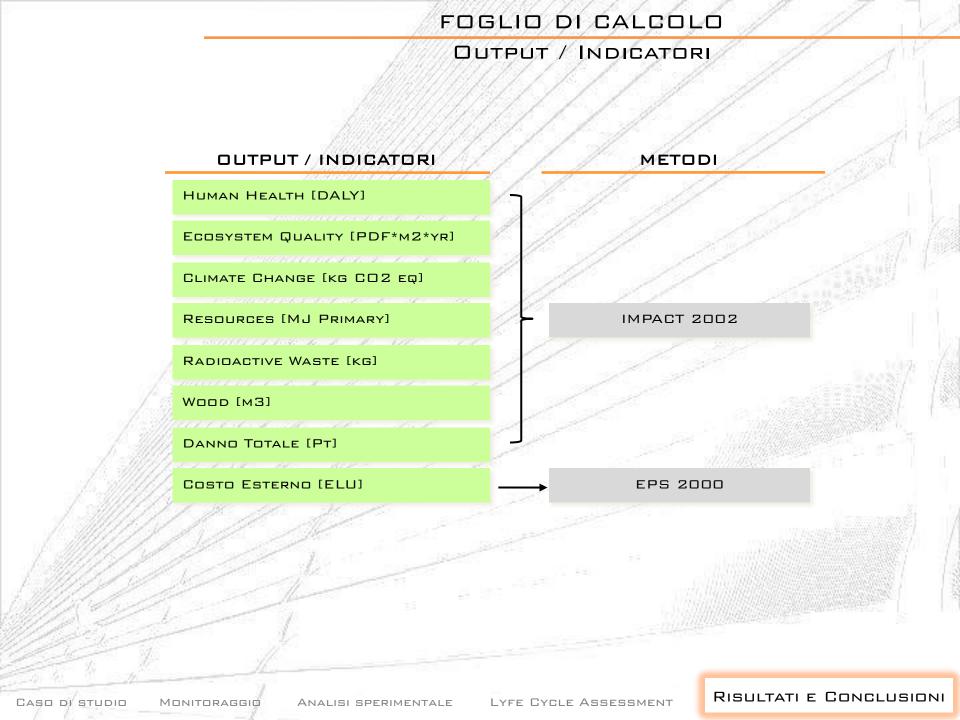
### VARIABILI DIPENDENTI E INDIPENDENTI



ANALISI SPERIMENTALE LYFE CYCLE ASSESSMENT

CASO DI STUDIO

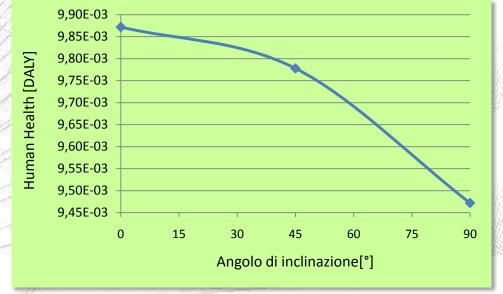
MONITORAGGIO



# FOGLIO DI CALCOLO

### ESEMPIO PER L'INDICATORE HUMAN HEALTH





RISULTATI E CONCLUSIONI

