

Majorano SpA
Osram Targetti
Delegazione AIDI Campania

Illuminazione di interni

Luciano Di Fraia
Università di Napoli "Federico II"
difraia@unina.it

Napoli, 2 febbraio 2006

Nota dell'autore

Questa presentazione è coperta da diritti d'autore.

*Nessuna parte di essa può essere riprodotta
senza l'autorizzazione esplicita dell'autore.*

illuminazione di interni

Sommario

Normative di legge ed europee

**Ottimizzazione economica ed
energetica del progetto**

**Ammodernamento impianti
esistenti con capitale di terzi**

Bioluce

LED

Il D.Lvo 626

D.L. vo 626/94 (come modificato dal D.L.vo 242/96)

art. 3, comma 1 b:

**... eliminazione dei rischi in relazione alle
conoscenze acquisite in base al
progresso tecnico ...**

D.L.vo 626/1994

Art. 33

... illuminazione artificiale **adeguata**
per salvaguardare la sicurezza,
la salute e il **benessere** dei lavoratori...

... i luoghi di lavoro devono disporre
di **sufficiente luce naturale**.....

D.L.vo 626/94

Titolo VI - Uso di VDU

Art. 52

Il datore di lavoro, all'atto della valutazione del rischio, analizza i posti di lavoro con particolare riguardo:

a) ai rischi per la vista e per gli occhi;

.....

D. L.vo 626/94

ALLEGATO VII

2. Ambiente

b) Illuminazione

L'illuminazione generale ovvero illuminazione specifica (lampade di lavoro) devono garantire **l'illuminazione sufficiente** e un **contrasto appropriato tra lo schermo e l'ambiente** .

Fastidiosi abbagliamenti e riflessi sullo schermo o su altre attrezzature devono essere evitati...

Videoterminali - D.M. 2/10/2000 (Linee guida d'uso dei videoterminali)

art 3. Indicazioni sugli ambienti

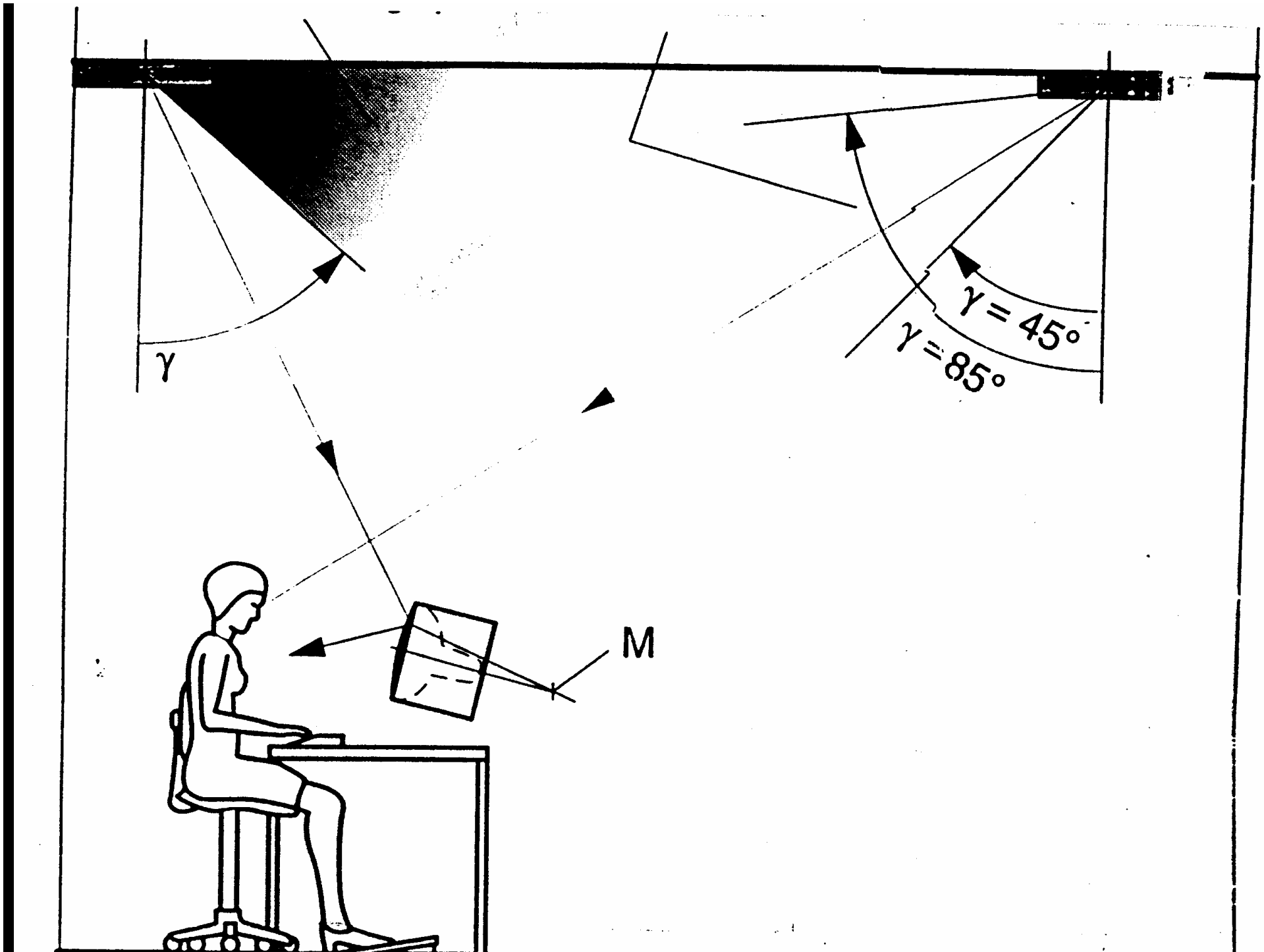
c)... lampade ... al di fuori del campo visivo degli operatori;

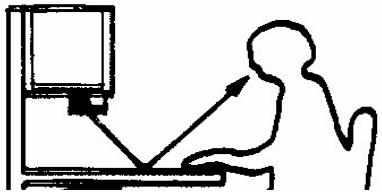
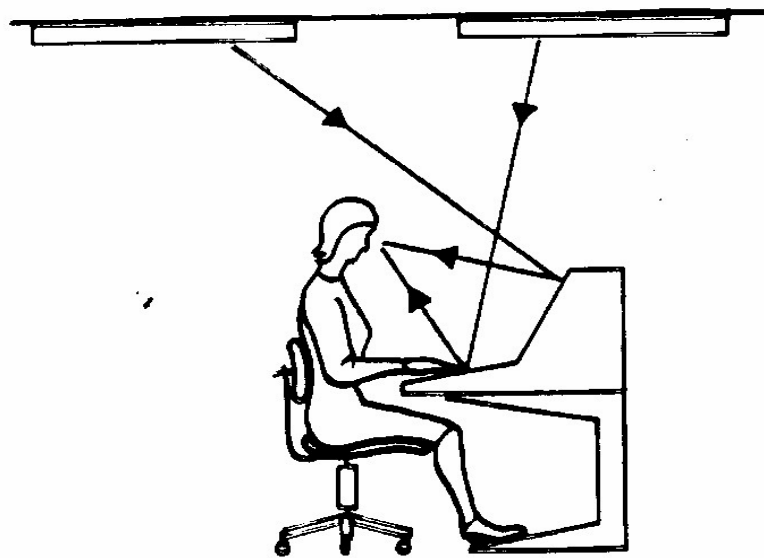
.....

Va in **ogni modo** evitato l'abbagliamento dell'operatore e la presenza di riflessi sullo schermo **qualunque sia la loro origine.**

art. 5. Indicazioni atte ad evitare l'insorgenza di problemi visivi

a) Illuminare correttamente il posto di lavoro, **possibilmente** con luce naturale,...ovvero con illuminazione artificiale. ...illuminamenti non eccessivi e con fonti luminose poste **al di fuori** del campo visivo e che non si discostino, per intensità, in misura rilevante da **quelle** degli oggetti e superfici presenti nelle immediate vicinanze, in modo da evitare contrasti eccessivi.





Norme illuminotecniche

Illuminazione naturale - Requisiti

DM 18/12/75 (edilizia scolastica)

fatt. medio luce diurna (es.:aule: ≥ 0.03)

UNI 10840/2000 (scuole)

fatt. medio luce diurna (es.:aule: ≥ 0.03)

uniformità: ≥ 0.6

abbagliamento : DGI: ≥ 21

colore luce naturale entrante

Illuminazione artificiale

**Fino al 20/11/03:
norma UNI 10380**

**Dall' 1/07/03:
norma UNI EN 12464-1**

Esempi di requisiti illuminotecnici

Attività	? E_m (lx)	UGR	R_a
uffici	500	19	80
aule	300	19	80
scale	150	25	40

? E_m : illuminamento medio mantenuto; UGR: livello di abbagliamento; R_a : indice di resa del colore

Altri requisiti

evitare l'abbagliamento da luce riflessa

uniformità

temperatura di colore delle lampade da scegliere in funzione del:

livello di illuminamento

colori ambiente e arredamento

attività

UNI EN 12464-1/2003

Abbagliamento da luce diretta UGR (Unified Glare Rating)

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right)$$

L_b : luminanza dello sfondo: $L_b = E_{ind} / ?$; E_{ind} : illuminaz. verticale indiretta sull'occhio dell'osservatore

L : luminanza degli apparecchi di illuminazione nella direzione dell'osservatore

$?$: angolo solido (sr) di un apparecchio di illuminazione sotteso dall'occhio dell'osservatore

p : indice di posizione di Guth di ciascun apparecchio di illuminazione rispetto alla linea dello sguardo

Nota: Tutte le assunzioni fatte per UGR vanno indicate nella documentazione

UNI EN 12464-1/2003

Videoterminali - abbagliamento da luce riflessa

**luminanze degli apparecchi di illuminazione
che possono riflettersi negli schermi**

qualità schermo

buona

media

scarsa

luminanza

$\leq 1000 \text{ cd/m}^2$

$\leq 1000 \text{ cd/m}^2$

$\leq 200 \text{ cd/m}^2$

Verifiche dell'adeguatezza dell'illuminazione naturale e artificiale

Occorrono:

specialisti del settore

strumentazione specifica

**Adeguamento illum. natur. alle norme:
spesso impossibile**

Aspetti economici ed energetici

**Per minimizzare costi e
consumi energetici
occorre ottimizzare il
progetto**

Ottimizzare il progetto di un nuovo impianto nel rispetto delle norme comporta esplorare milioni di soluzioni.

Il problema si risolve con software speciali

Importanza dell'ottimizzazione

Rivisitazione di progetti di numerosi impianti di illuminazione esistenti

Risultati:

in oltre il 60% dei casi esaminati

$$\frac{\text{costo impianto esistente}}{\text{costo soluzione ottimale individuata}} > 2.5$$

In molti casi, norme non rispettate

Confronto tra una soluzione progettuale ottimizzata e non per interni

Specifiche di progetto:

$E_m \geq 250 \text{ lux};$

$U (E_{min}/E_m) \geq 0.7;$

	lamp.	N	M	Em	U	W(%)	C(%)
Soluzione progettista esperto	36W	10	0.8	360	0.73	125	134
Soluzione ottimale	36W	8	0.75	260	0.7	100	100

Intopt – Interior lighting optimization software, by L. Di Fraia

OUTPUT DATA

OPTIMUM SOLUTION FOR EACH LUMINAIRE/LAMP COMBINATION:

First solution:

Luminaire type: DARK236

Lamp number: 2

Lumen output per lamp [lm]: 3450

LUMINAIRE LAYOUT:

Orientation: Y AXIS

XC	YC
0.70	1.43
2.90	1.43
5.10	1.43
7.30	1.43
0.70	3.57
2.90	3.57
5.10	3.57
7.30	3.57

Ehav [lx] = 500 , Ehmin/Ehav = 0.69, M = 0.52

MAINTENANCE SCHEDULE:

months = 56	Luminaire Cleaning
months = 112	Luminaire Cleaning & Relamping
months = 168	Luminaire Cleaning
months = 224	Luminaire Cleaning, Relamping & Room Surface Cleaning

COSTS :

Hourly cost of the lighting system (in terms of the cost per kWh): 3.28

Capital cost: 61 %

Energy: 11 %

Lamps: 2 %

Maintenance: 26 %

Maintenance Costs:

Group relamping: 31 %

Spot relamping: 16 %

Luminaire cleaning: 31 %

Room surface cleaning: 22 %

Intopt – Interior lighting optimization software, by L. Di Fraia

Second solution:

Luminaire type: DARK158

Lamp number: 1

Lumen output per lamp [lm]: 5400

LUMINAIRE LAYOUT:

Orientation: X AXIS

XC	YC
1.17	1.00
4.00	1.00
6.83	1.00
1.17	2.50
4.00	2.50
6.83	2.50
1.17	4.00
4.00	4.00
6.83	4.00

Ehav [lx] = 500 , Ehmin/Ehav = 0.70, M = 0.60

MAINTENANCE SCHEDULE:

months = 35	Luminaire Cleaning
months = 70	Luminaire Cleaning & Relamping
months = 105	Luminaire Cleaning
months = 140	Luminaire Cleaning, Relamping & Room Surface Cleaning

COSTS :

Hourly cost of the lighting system (in terms of the cost per kWh): 3.59

Capital cost: 50 %

Energy: 18 %

Lamps: 2 %

Maintenance: 30 %

Maintenance Costs:

Group relamping: 21 %

Spot relamping: 8 %

Luminaire cleaning: 43 %

Room surface cleaning: 28 %

Intopt – Interior lighting optimization software, by L. Di Fraia

Third solution:

Luminaire type: DARK136

Lamp number: 1

Lumen output per lamp [lm]: 3450

LUMINAIRE LAYOUT:

Orientation: X AXIS

XC	YC
0.48	0.88
2.24	0.88
4.00	0.88
5.76	0.88
7.52	0.88
0.48	2.50
2.24	2.50
4.00	2.50
5.76	2.50
7.52	2.50
0.48	4.12
2.24	4.12
4.00	4.12
5.76	4.12
7.52	4.12

Ehav [lx] = 499 , Ehmin/Ehav = 0.68, M = 0.58

MAINTENANCE SCHEDULE:

months = 50	Luminaire Cleaning & Relamping
months = 100	Luminaire Cleaning & Relamping
months = 150	Luminaire Cleaning, Relamping & Room Surface Cleaning

COSTS :

Hourly cost of the lighting system (in terms of the cost per kWh): 4.48

Capital cost: 50 %

Energy: 15 %

Lamps: 2 %

Maintenance: 33 %

Maintenance Costs:

Group relamping: 38 %

Spot relamping: 3 %

Luminaire cleaning: 38 %

Room surface cleaning: 21 %

Manutenzione

Scopo della manutenzione degli impianti di illuminazione

mantenere nel tempo livelli adeguati di sicurezza e igiene nei luoghi di lavoro

evitare sprechi di energia e di denaro

Norme di legge

D.Lvo 626/94 e s.m.i. :

art. 33, c.8: “i mezzi di illuminazione artificiale devono essere tenuti costantemente in buone condizioni di pulizia ed efficienza”

DPR 554/99 (Regol. attuazione I. Merloni)

art. 35: il piano di manutenzione è un documento del progetto esecutivo

art. 40: contenuti del piano di manutenzione

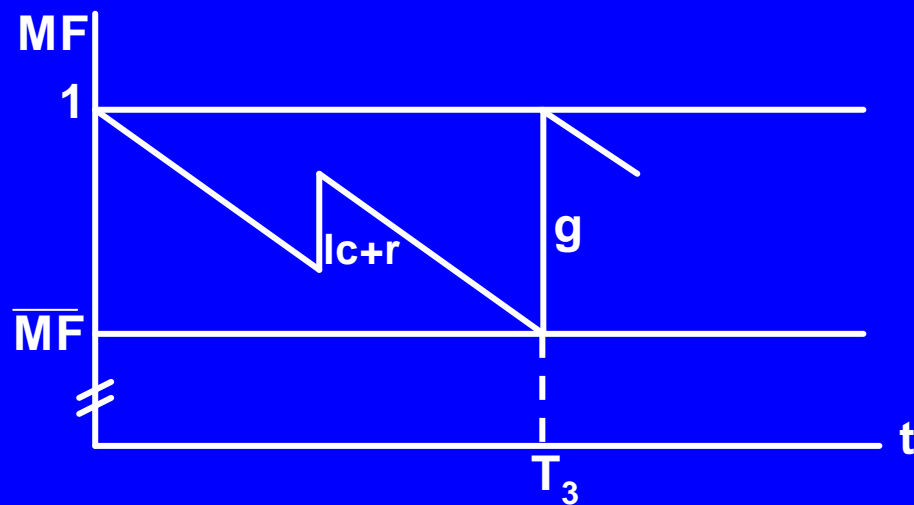
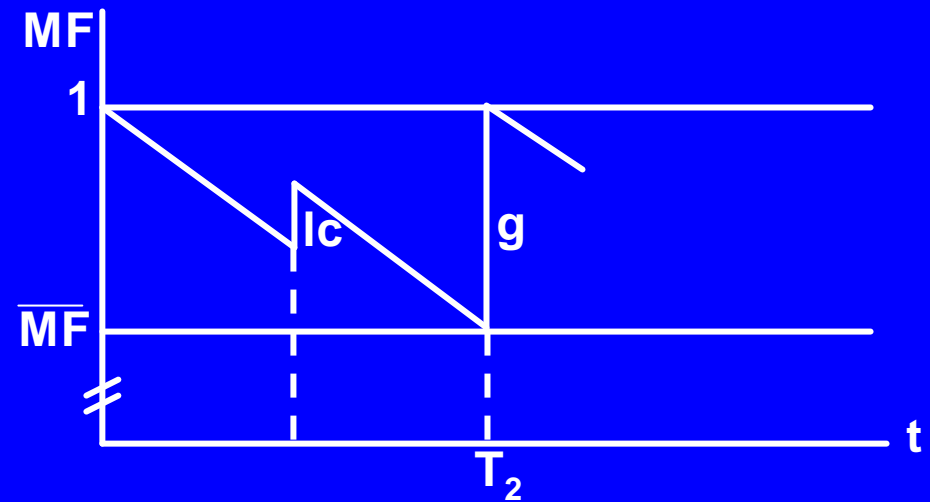
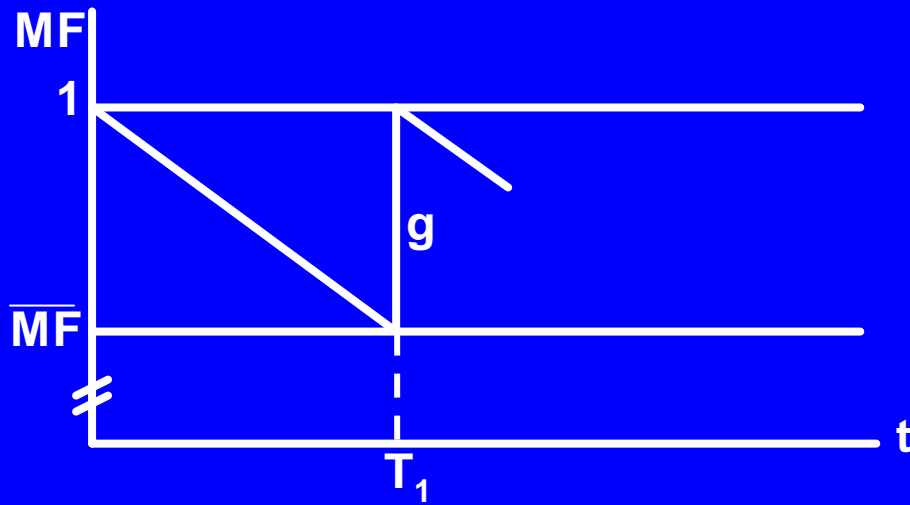
art. 40,c. a e b:“rilevare il livello prestazionale qualitativo e quantitativo dell’opera nel tempo”

Importanza del piano di manutenzione:

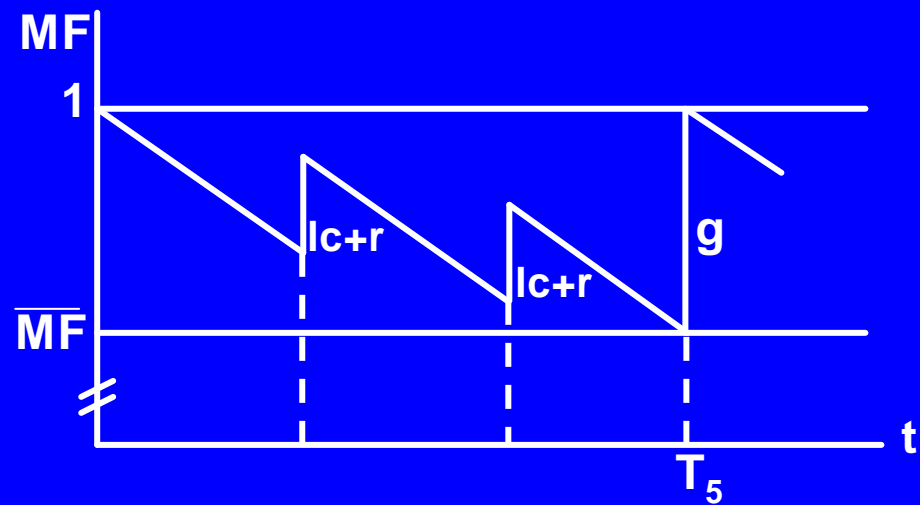
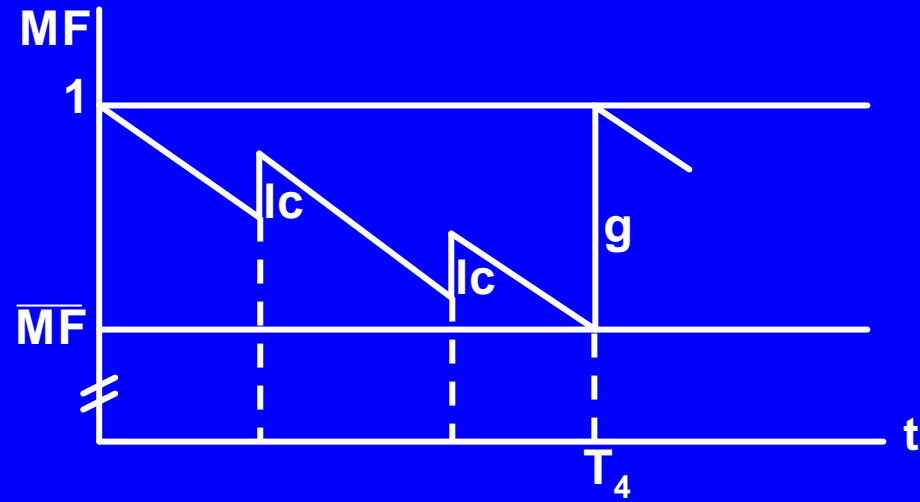
**influisce direttamente sul
dimensionamento di un impianto**

I piani di
manutenzione
equivalenti
sono *infiniti*

Progettazione della manutenzione



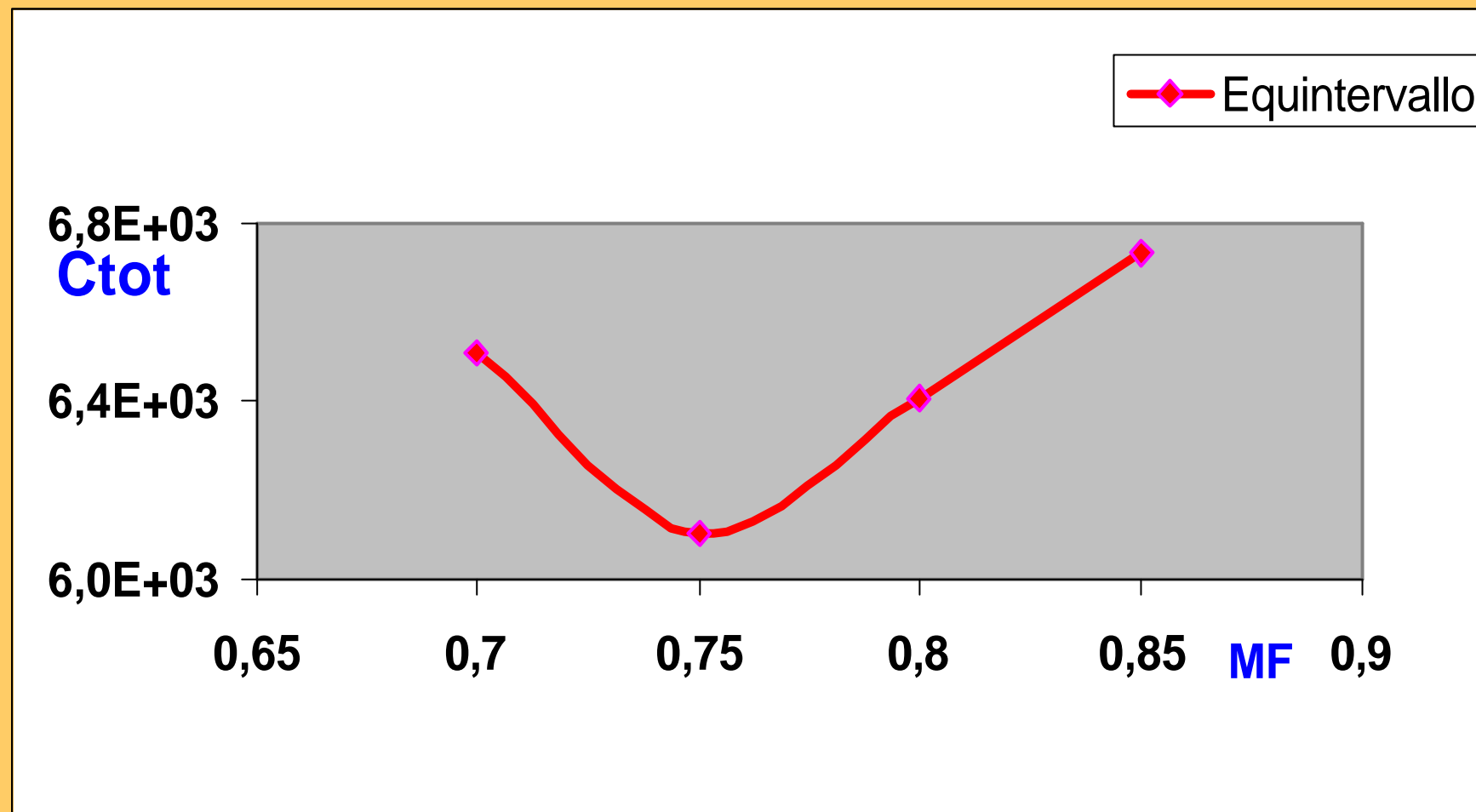
Progettazione della manutenzione



Ottimizzazione del piano di manutenzione

Perciò il problema è trovare il piano **ottimale**, cioè quello che rende minimo il costo complessivo annuo di un impianto

Ricerca del programma ottimale: solo con software “intelligenti”



**Nuova strategia di manutenzione
economicamente più favorevole:**

equilux mantenuti

**interventi di manutenzione effettuati
quando l'illuminamento medio
raggiunge il valore minimo
(mantenuto) desiderato**

Confronto tra piani di manutenzione ottimali equintervallo e equilux

MF	Costo annuo/ centro luce <i>equintervallo</i>	<i>equilux</i>
0,7	20	14.5
0,8	36	30
0,85	60	45

Strategie di gestione con sistema bus

comando automatico o manuale a distanza dell'impianto (accensione, spegnimento, regolazione del flusso luminoso)

telerilevazione guasti

telerilevazione nel tempo dello stato dei componenti dell'impianto (invecchiamento lampade, insudiciamento apparecchi di illuminazione, livello di illuminamento, etc.)

Ammodernamento energetico degli impianti esistenti: opportunità di business

**D.Lvo 192/2005 (Dir. 2002/91/Ce
“Rendimento energetico nell’edilizia”)**

“Illuminazione di interni”, prof. Di Fraia, Napoli, 2 febbraio 2006

Incidenza dell'illuminazione sul consumo totale di energia elettrica:

settore residenziale: 10-15%

**settore terziario e commerciale:
40-60%**

Ammodernamento energetico impianti illuminazione

**Spesso, gli interventi
di miglioramento
energetico sono
un investimento
redditizio.**

Potenzialità di risparmio di energia elettrica da razionalizzazione dei consumi

(fonte: L. Di Fraia, Piano Energetico della Provincia di Napoli, 2002)

Settore	incidenza sul consumo tot. del settore(%)	risparmio potenziale %	GWh	copertura deficit (%)
Illuminazione domestica	>15	min.: 30	130	2.5
		max.: 70	310	5.8
Illuminazione terziaria	>40	min.: 40	290	5.5
		max.: 70	500	9.5

Tipi di interventi:

- adozione migliori tecnologie disponibili
- progettazione energeticamente ottimizzata
- comportamenti energetici razionali
- diversificazione delle fonti

Ammodernamento energetico impianti illuminazione

**Se il progetto
dell'intervento energetico
è ottimale, i risparmi
economici post intervento
fanno recuperare
l'investimento in breve
tempo**

Ammodernamento energetico impianti illuminazione

**Comportamenti da evitare:
interventi in contrasto con le
norme sui luoghi di lavoro (626, EN)**

es.:

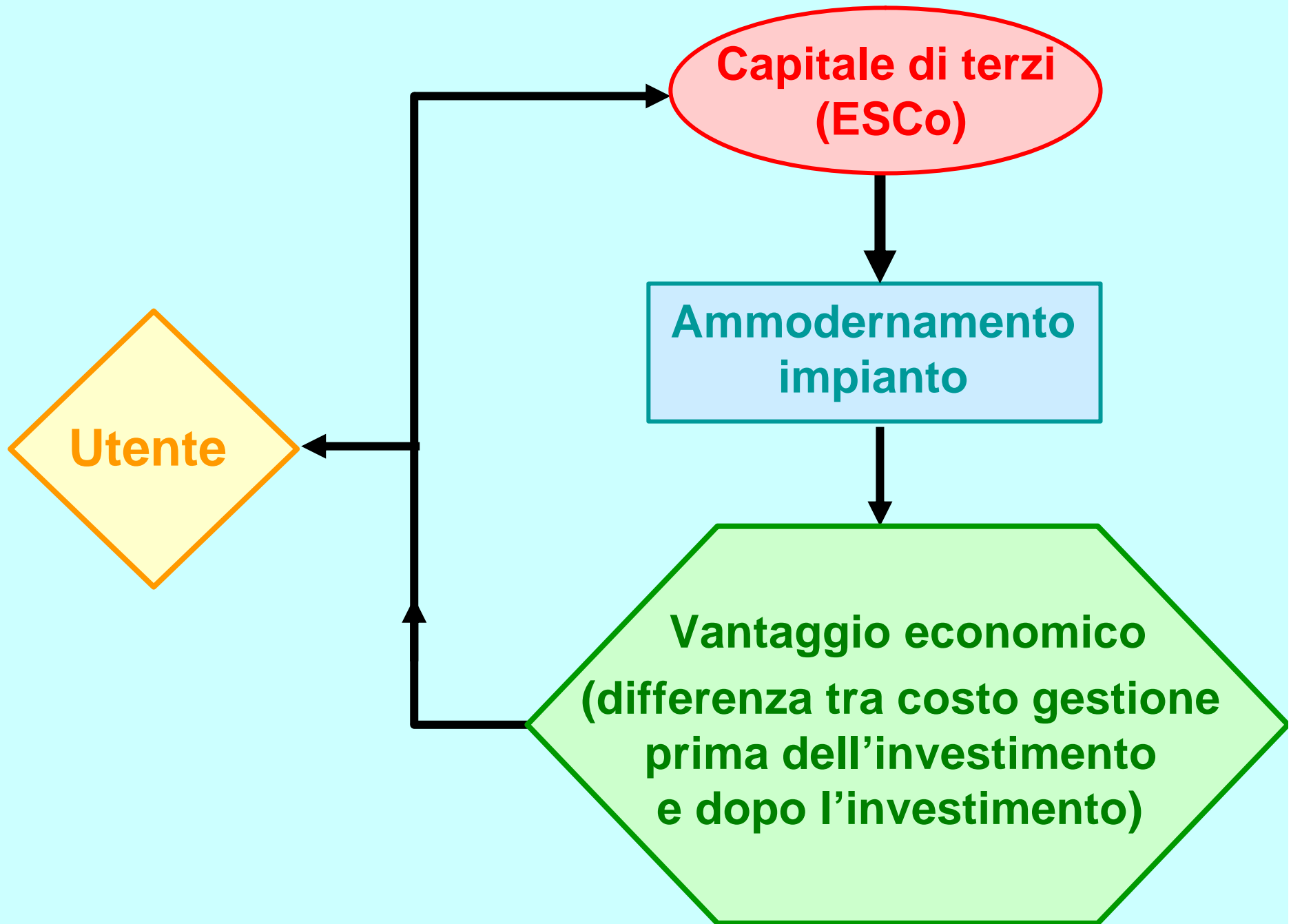
**ridurre l'illuminazione oltre i
livelli minimi consentiti**

**interventi su impianti già
fuori norma**

**l'intervento energetico è
l'occasione propizia anche
per adeguare un impianto
fuori norma a costi contenuti;**

Utilizzo capitale di terzi (FTT) per l'ammodernamento energetico

Un impresa (es.:ESCo) sostiene il costo dell'intervento e viene ripagata con il risparmio nei costi di gestione dopo l'intervento



Il ricorso ad una società ESCo è giustificato se:

ci sono sufficienti margini di miglioramento energetico

l'utente non vuole (o non può) utilizzare proprie risorse finanziarie

l'utente non dispone di know-how tecnico avanzato

Requisiti di una società ESCo

**capacità di progettazione e
gestione ottimizzata interventi**

capacità finanziaria

capacità strutturale

Possibile composizione di una ESCo:

imprenditori

professionisti

produttori e/o operatori commerciali

banche

altri

Incentivi al risparmio energetico

Titoli di Efficienza Energetica

(TEE o certificati bianchi)

(delibere AEEG)

**Soggetti obbligati: distributori
di energia elettrica e gas**

I TEE rendono ancora più vantaggiosi gli interventi di miglioramento energetico

Payback senza TEE: investimento/risparmio annuo

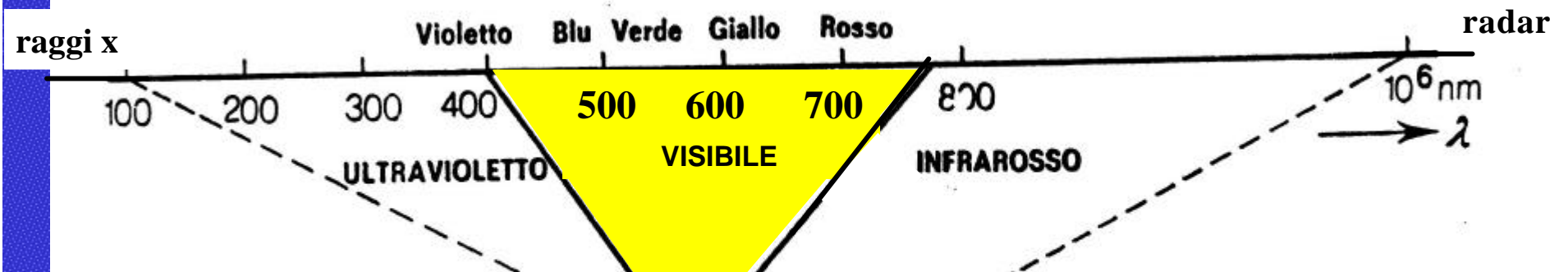
Payback con TEE: investimento/(risparmio annuo + valore del TEE)

Esempio (banale): sostituzione lampade incandescenti con lampade fluorescenti compatte:

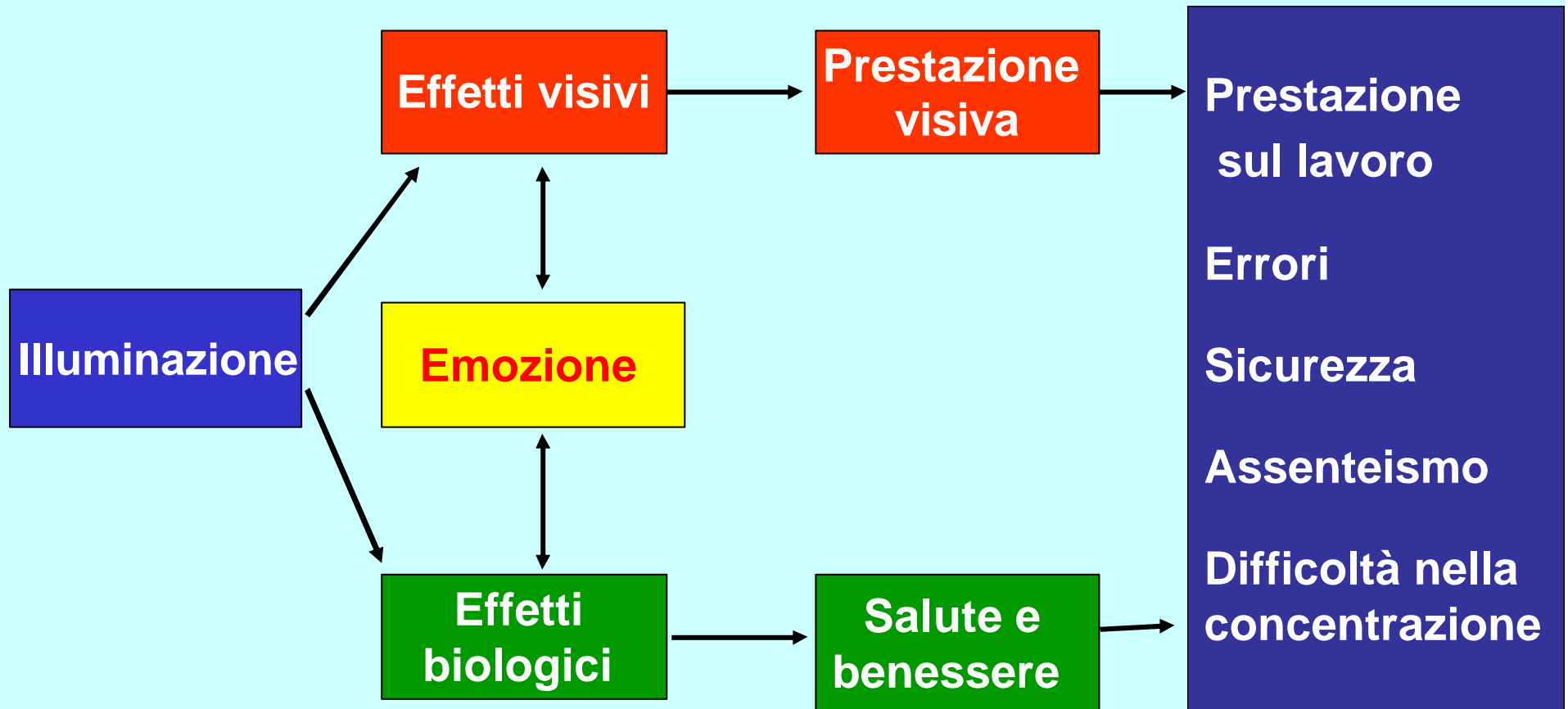
payback senza TEE: 1,3 a

payback con TEE: 1 a

Effetti biologici della luce



Spettro elettromagnetico



La luce influisce anche su:

produzione di ormoni

psiche

malinconia, depressione

rachitismo

osteoporosi

sistema immunitario

recupero degli ammalati

ritmo cardiaco

affaticamento visivo, mal di testa, tensione

~~Recenti~~ *Recenti ricerche*

Per produrre effetti biologici occorre un'illuminazione elevata (>2000 lx)

Effetto caffeina

applicata per breve tempo migliora :

- l'attenzione
- la prestazione intellettuale
- l'umore
- la capacità di prendere decisioni, etc.

Effetto vitamina

applicata per lungo tempo migliora i ritmi circadiani e il benessere psicofisico

Esempi: uffici, case di cura, case di riposo per anziani, luoghi di svago, etc.

Effetti terapeutici della luce

“Winter blues”

Depressione stagionale (SAD)

**Alterazioni dei ritmi circadiani
(da lavoro notturno, viaggio
aereo, discoteche, etc.)**

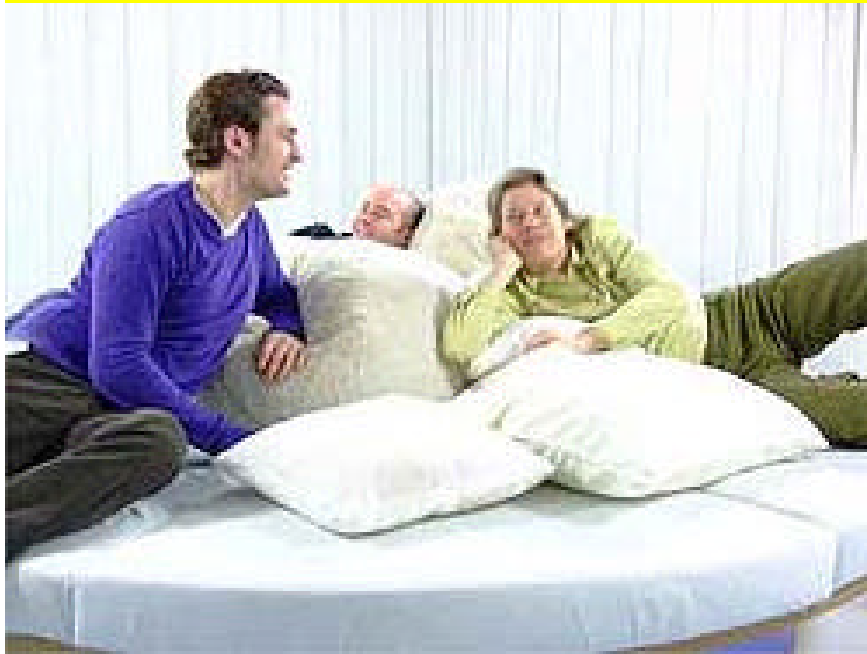
**Regolazione del sonno, appetito,
senso, umore, etc.**

Light Therapy Boxes



“Illuminazione di interni”, prof. Di Fraia, Napoli, 2 febbraio 2006

The Light Lounge del Dana Centre nel museo delle Scienze di Londra



In conclusione, nella progettazione degli impianti di illuminazione per interni occorrerebbe tener conto di queste nuove conoscenze sugli effetti biologici

(art. 3, D.Lvo 626: “..eliminazione dei rischi in relazione alle conoscenze acquisite.. “)

Poiché il benessere biologico richiede molta più luce di quella prevista dalle norme per una buona visione, si pongono problemi sia tecnici che economici per i responsabili della salute dei lavoratori .

Tuttavia, i benefici economici sono notevoli: aumenta la *produttività* e diminuiscono le assenze per malattia.

Per 150 anni si è creduto che sulla retina esistessero solo due tipi di fotorecettori:

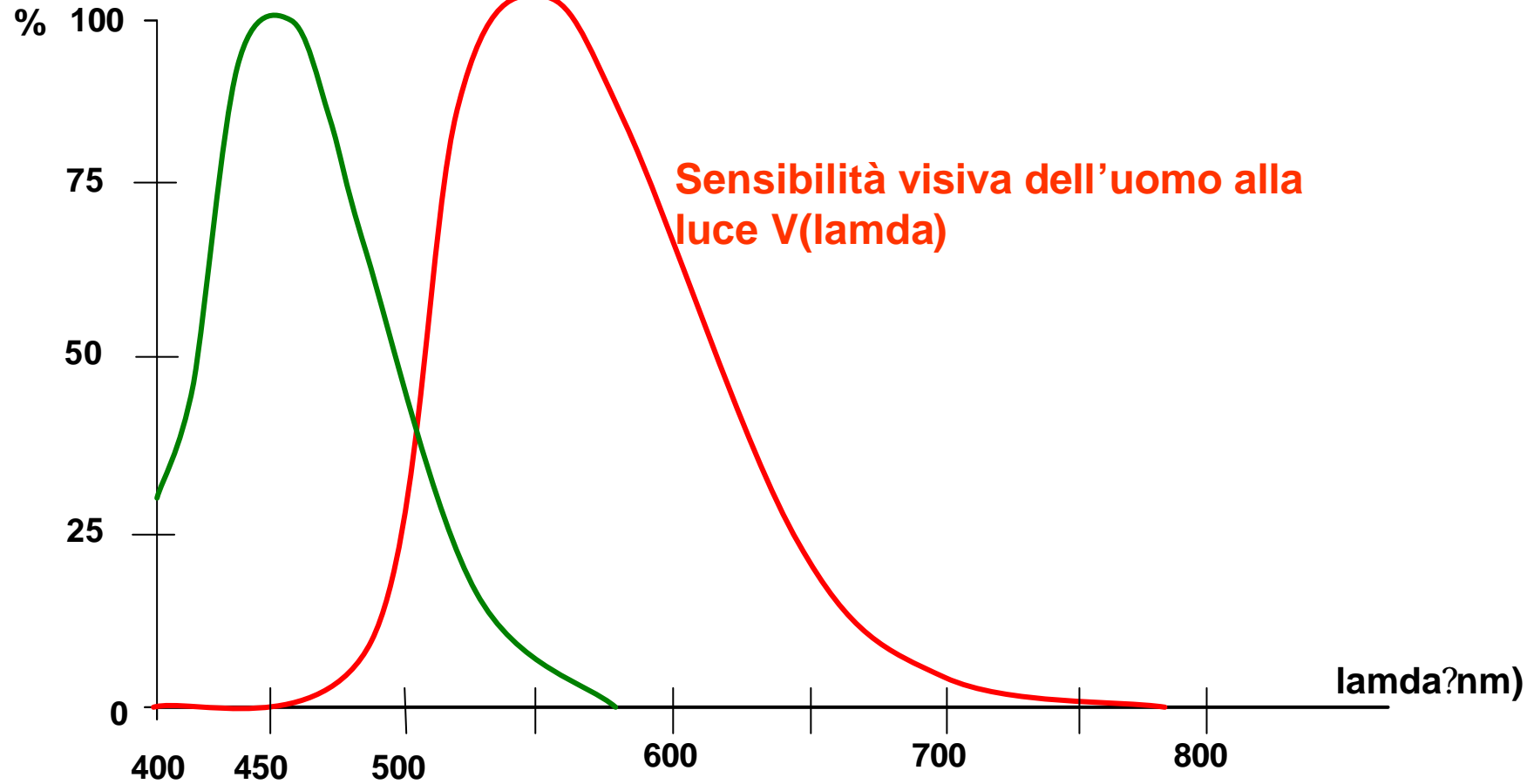
**coni e bastoncelli
adibiti alla visione**

**Nel 2003, è stato scoperto un
terzo tipo di fotorecettore,
l'ipRGC, ed una nuova molecola,
la melanopsina,
adibiti agli effetti biologici**

**L'ipRGC trasforma la luce
incidente sulla retina in
impulsi nervosi che giungono
alla ghiandola pineale adibita
al controllo degli ormoni, i
quali a loro volta regolano
numeroso funzioni corporee e
mentali**

Caso della melatonina

Sensibilità biologica dell'uomo alla luce M(λ)



**Tali nuove conoscenze
consentiranno di sfruttare
meglio i numerosi effetti
benefici della luce e di
svilupparne nuove
applicazioni in medicina.**

**Occorre recepirle nella
pratica progettuale.**

Sorgenti luminose allo stato solido (LED)

Caratteristiche principali

Radiazioni monocromatiche di colore giallo, arancione, rosso, blu e verde, a seconda del materiale utilizzato

Luce bianca: dalla miscela di radiazioni rosse, verdi e blu (RGB)

Ottima regolazione del flusso luminoso

Dimensioni ridotte

Elevata resistenza a urti e vibrazioni

Nessuna emissione di infrarosso e ultravioletto

Vantaggi per gli utilizzatori

soluzioni illuminotecniche innovative

modesti costi di esercizio

Confronto tra LED e altri tipi di lampade per illuminazione generale di interni

	Incandesc.	Alogeni	Led (luce bianca)
Tonalità colore	calda	calda	calda/fredda
Resa colore	eccellente	eccellente	buona
Flusso lum. (lm)	>= 120	>=140	25/125
Pot. (W)	>=15	>=10	1/5
Durata (ore)	1000	2000	>= 50.000
Efficienza (lm/W)	8/17	13/25	>= 30

**Confronto realistico:
tra fattori di
utilizzazione di app.
illuminaz. con LED e di
quelli con altre
sorgenti**

Punti deboli dei LED per illuminazione generale

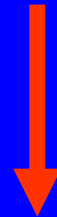
Variazione delle caratteristiche ottiche di un singolo LED con:

temperatura

corrente di pilotaggio

tempo

Variabilità da LED a LED dello stesso tipo:
luce emessa
lunghezza d'onda
dipendenza da temperatura e tempo



Problemi di uniformità spaziale del colore bianco e suo mantenimento nel tempo (importante per luoghi di lavoro)

Sistemi di illuminazione RGB - LED

Vantaggi

**variazioni ampie e istantanee
del colore e della luce emessa**

***Grazie per
l'attenzione***