



Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie,
l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile



Ministero dello Sviluppo Economico

RICERCA DI SISTEMA ELETTRICO

Il laboratorio di prova per le verifiche energetico-ambientali di sistemi di illuminazione "CORVO"

Giuseppe Leonardi, Simonetta Fumagalli,

IL LABORATORIO DI PROVA PER LE VERIFICHE ENERGETICO-AMBIENTALI DI SISTEMI DI ILLUMINAZIONE "CORVO"

Giuseppe Leonardi, Simonetta Fumagalli (ENEA)

Settembre 2010

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Area: Usi finali

Tema: 5.4.3.2 Tecnologie per il risparmio energetico nell'illuminazione pubblica

Responsabile Tema: Simonetta Fumagalli, ENEA

LABORATORIO DI PROVA	5
STRUMENTAZIONE	8
Misure dirette ed indirette	8
Luxmetro	9
Luminanzometro	9
Colorimetro	9
Analizzatore di rete	10
Multimetro digitale	10
Cella fotometrica fissa (luxmetro)	11
Sensori fotometrici (luxmetri)	11
Misure radiometriche	11
Spettroradiometro	12
Set di strumenti per misure su LED	13
IMMAGINI DEL LABORATORIO	14

LABORATORIO DI PROVA



Il laboratorio di illuminotecnica dell'ENEA di Ispra, chiamato CORVO, è in grado poter effettuare misure di prestazioni energetiche su sorgenti luminose, apparecchi di illuminazione, sistemi di regolazione del flusso luminoso, anche con campagne di monitoraggio sul campo.

Nel corso del 2010 è stata acquisita strumentazione per misurare caratteristiche radiometriche e fotometriche sui LED, in previsione anche dell'evoluzione della ricerca.

Tipologie di prova:

- ④ determinazione del profilo energetico di sistemi e componenti in condizioni di lavoro
- ④ analisi dei sistemi di regolazione del flusso luminoso
- ④ influenza delle caratteristiche dell'ambiente sull'illuminamento
- ④ verifica sperimentale di software illuminotecnico
- ④ ...

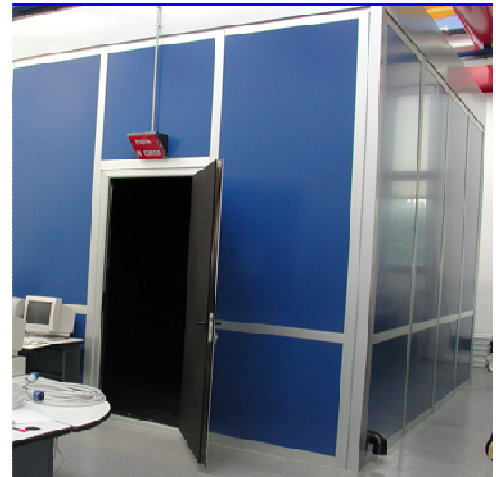
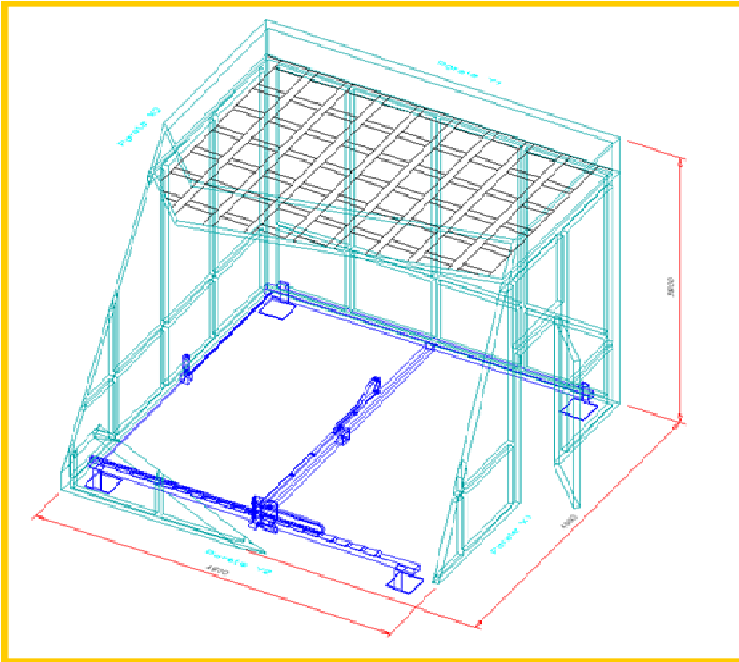
Gli elementi principali del laboratorio sono:

- ④ cella di prova
- ④ dispositivo per misure su tubi di luce (GlowWorm)
- ④ sfera di Ulbricht e banco ottico per misure su LED
- ④ spettroradiometro
- ④ strumentazione portatile per campagne sperimentali
- ④ camera climatica per prove a diverse temperature ambiente e umidità relativa¹
- ④ strumentazione termografica²
- ④ area esterna per misure su sistemi di illuminazione pubblica, inclusi sistemi di regolazione e gestione (PLuTO)

¹ a Ispra ci sono anche il laboratorio per elettrodomestici del freddo (ICELAB) e forni elettrici (FIRELAB), per cui è possibile utilizzo di strumentazione comune

² vedi sopra

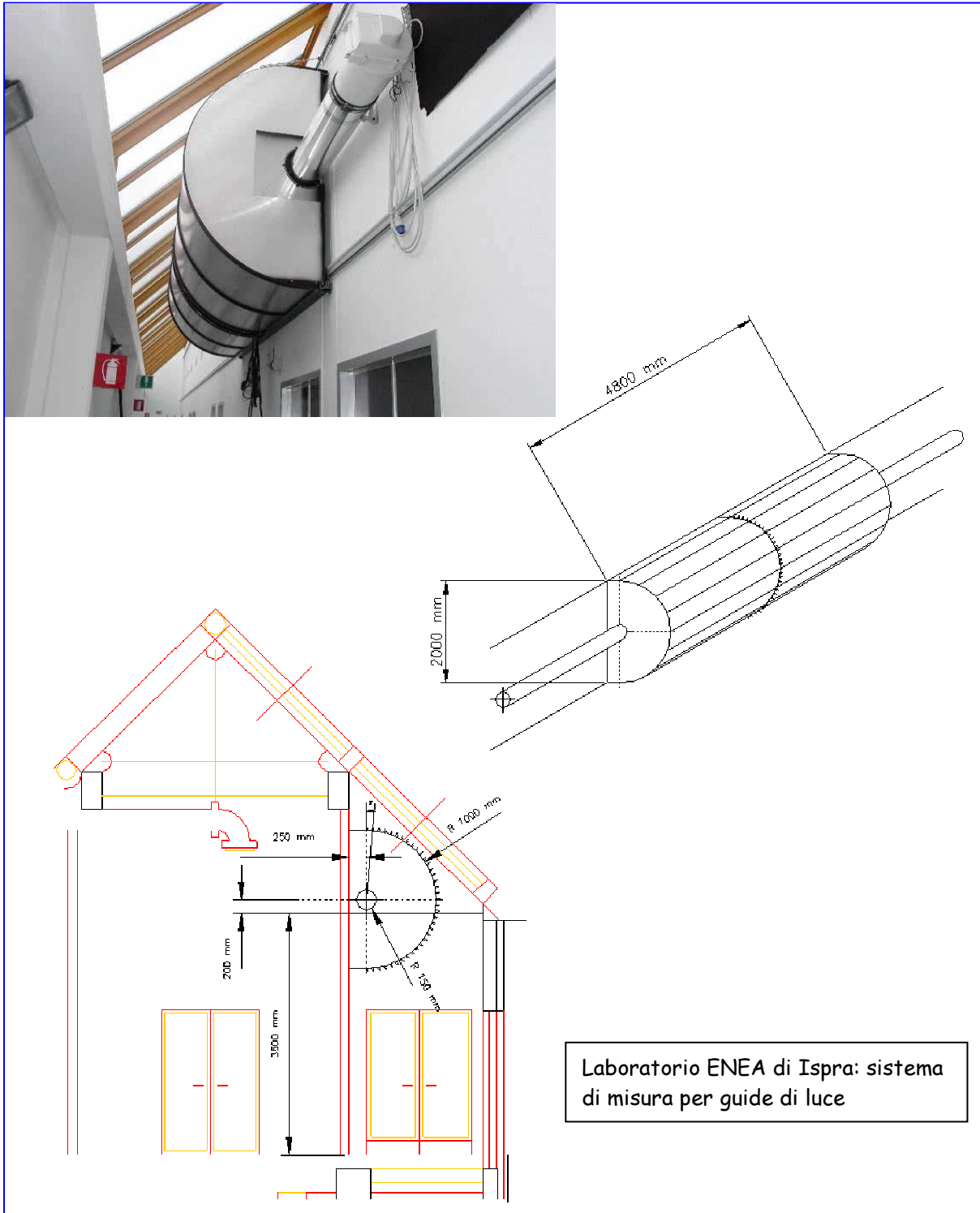
La cella di prova (dimensioni 4.5m x 4.5m x 3.2m), dotata di movimentazione elettromeccanica del sensore di misura sugli assi x-y, è costituita da un ambiente otticamente isolato in grado di simulare locali adibiti ad uso abitativo e/o uffici e di effettuare le misurazioni delle grandezze illuminotecniche ed elettriche maggiormente significative. La cella è stata progettata e realizzata per consentire la rilevazione delle caratteristiche di illuminazione di ambienti in differenti configurazioni architettoniche (ad esempio è possibile avere pareti, pavimento e soffitto di diversi colori).



Laboratorio ENEA di Ispra: cella di prova con movimentazione elettromeccanica x-y del sensore di misura

Il sistema di misura denominato *GlowWorm* è stato costruito per la realizzazione delle curve fotometriche delle guide di luce³.

Comprende 37 punti di misura su 180° (36 settori di 5° estremi inclusi) equidistanti dall'asse centrale della guida di luce, posizionati su un piano ortogonale allo stesso. E' costituito da un insieme di sensori schermato dalla luce esterna tramite un tunnel a forma di semicilindro cavo, di colore nero opaco antiriflettente al suo interno (dimensioni: diametro 2000 mm, lunghezza 4800 mm). I sensori sono collegati a sistema di acquisizione dati e PC.



³ chiamati anche guide di luce, hollow light pipes in inglese

STRUMENTAZIONE

Misure dirette ed indirette

Il laboratorio CORVO è attrezzato per la rilevazione delle seguenti grandezze illuminotecniche ed elettriche:

- illuminamento sul piano di lavoro
- luminanza delle superfici
- luminanza delle sorgenti
- temperatura di colore delle sorgenti
- riflettanza delle superfici
- tensione
- corrente
- potenza attiva e reattiva
- sfasamento
- frequenza di rete
- armoniche
- interferenze della linea di alimentazione elettrica
- radianza spettrale⁴
- flusso luminoso di piccole sorgenti
- intensità luminosa di piccole sorgenti

Questi parametri sperimentali sono rappresentati da grandezze dirette come illuminamento, luminanza, temperatura di colore, temperatura, tensione e corrente e da grandezze derivate come sfasamento, potenza assorbita, potenza attiva e potenza reattiva.

Per la rilevazione delle grandezze sopra citate vengono utilizzati i seguenti strumenti e sensori:

- luxmetro
- luminanzometro
- colorimetro
- analizzatore di rete
- multimetro digitale
- spettrofotometro
- P.C. con scheda di acquisizione dati
- celle fotometriche
- convertitore di tensione di rete
- convertitore di corrente di rete
- spettroradiometro
- sfera integratrice
- banco allineamento

Inoltre possono essere misurate altre grandezze, come la temperatura superficiale, tramite termocamera⁵.

⁴ grandezza radiometrica

⁵ strumento comune laboratori ICELAB, FIRELAB, CORVO

Nel seguito viene riportata una descrizione dettagliata degli strumenti utilizzati.

Luxmetro

Il luxmetro è lo strumento per le misure di illuminamento ed è costituito da una cellula fotosensibile e da un milliamperometro per la misura della corrente da essa prodotta, proporzionale all'energia luminosa che la colpisce.

L'illuminamento è definito come il flusso luminoso (lumen) incidente su una superficie di area unitaria (m^2), si misura in lux (lm/m^2) e risulta inversamente proporzionale al quadrato della distanza della sorgente dalla superficie.

Per le misure di illuminamento condotte presso il laboratorio CORVO viene utilizzato un luxmetro Minolta tipo T10, le cui principali caratteristiche sono:

- elemento sensibile: fotocellula al silicio
- risposta spettrale: da 400 a 760 nm con $\pm 2\%$ della curva fotopica C.I.E
- range di misura: 0.01 a 299.900 lux
- accuratezza della misura: $\pm 2\% \pm 1$ digit
- altre funzioni: misura dell'integrale di illuminamento (da 0.01 a 999.000 lux*h)

Luminanzometro

Il luminanzometro è lo strumento per le misure di luminanza ed è costituito da una fotocellula al silicio la cui corrente emessa è amplificata e inviata a uno strumento digitale che fornisce il valore di luminanza, direttamente in cd/m^2 .

La luminanza è definita come il rapporto tra l'intensità luminosa (candele) proveniente da una superficie luminosa in una data direzione e l'area apparente di quella superficie (m^2); la superficie può essere una sorgente primaria o secondaria: in quest'ultimo caso l'intensità luminosa misurata è quella della luce riflessa dalla superficie e proveniente da una sorgente primaria.

Per le misure di luminanza condotte presso il laboratorio CORVO viene utilizzato un luminanzometro della MINOLTA, tipo LS-11 0, le cui principali caratteristiche sono:

- elemento sensibile: fotocellula al silicio con filtro fotopico di correzione
- range di misura: FAST: 0.01 a 999900 cd/m^2 SLOW: 0.01 a 499900 cd/m^2
- accuratezza della misura: da 0.01 a 9.99 cd/m^2 : $\pm 2\%$, ± 2 digits oltre 10.00 cd/m^2 : $\pm 2\%$, ± 1 digits
- sistema ottico: focale 85 mm / apertura di diaframma 2.8
- angolo di accettazione: $1/3^\circ$
- campo visivo: 9°
- distanza di messa a fuoco: da 1014 mm all'infinito

Colorimetro

Il colore associato a una data radiazione può essere determinato confrontandolo con quello della radiazione emessa da un corpo nero.

Ciò significa che la temperatura in gradi Kelvin (K) cui occorre portare il corpo nero, affinché emetta una luce di colore uguale a quello della luce emessa dalla sorgente in esame, rappresenta la "misura" di tale colore, ed è detta temperatura di colore della sorgente. Riportando sul diagramma CIE tutti i punti

rappresentativi dei colori assunti dal corpo nero alle varie temperature si ottiene una curva detta del corpo nero.

Ogni sorgente luminosa, il cui punto di colore giaccia su questa curva, può essere specificata per mezzo del parametro "temperatura di colore".

A 1000 K, il corpo nero emette radiazioni nella zona "rossa" dello spettro (700 nm), vale a dire onde luminose con un colore rosso intenso. A 3000 K la luce appare bianca di tonalità calda, mentre a 6000 K essa appare tendente verso il blu (tonalità fredda).

Il colorimetro è lo strumento per effettuare misure di colore sulle sorgenti luminose secondo il sistema tricromatico CIE.

Esso è costituito da una testa fotometrica composta da tre cellule fotoelettriche; ognuna di esse ha una curva di risposta che riproduce più o meno fedelmente la curva di visibilità dell'occhio umano secondo ciascuno dei tre colori fondamentali. Si avranno pertanto tre risposte proporzionali alle tre diverse sensibilità dell'occhio ai colori. Il segnale fornito dai fotorilevatori può essere letto direttamente in termini di coordinate tricromatiche oppure convertito automaticamente in temperatura di colore (TK). Le curve di risposta sono generalmente ottenute mediante filtri che possiedono determinate caratteristiche di assorbimento.

Per le misure delle coordinate colorimetriche e della temperatura di colore condotte presso il laboratorio CORVO viene utilizzato un colorimetro della MINOLTA, tipo CHROMA METER CL-200, le cui principali caratteristiche sono:

- elemento sensibile: SPC
- risposta spettrale: secondo la curva colorimetrica dell'Osservatore Standard
- funzioni di misura: valori di tristimolo; cromaticità: Y_{xy} (CIE 1931) e $Y_{u'v'}$ (CIE 1976); deviazione di colore: $D(Y_{xy})$ e $D(Y_{u'v'})$; temperatura di colore
- range di misura: da 0.1 lux a 99900 lux (cromaticità 5 lux o superiore)
- accuratezza: Illuminamento 0.2% +1digit; cromaticità (x, y): ± 0.002

Il colorimetro dispone di 4 teste di misura che vengono utilizzate per mappature dati su superfici.

Analizzatore di rete

Per le misure delle grandezze elettriche del laboratorio CORVO viene utilizzato un analizzatore di rete ENERDIS, tipo MAP 1000, le cui funzioni fondamentali sono:

- analizzatore di energia: misura e registrazione di tutti i parametri elettrici del circuito trifase o monofase
- analizzatore di perturbazioni: rilevazione delle caratteristiche delle tre tensioni del circuito trifase (difetti d'ampiezza, variazioni di tensione, picchi di tensione, ecc.)
- analizzatore di armoniche: armoniche fondamentali, distorsioni del segnale, ecc.

Multimetro digitale

Per le misure delle grandezze elettriche nel laboratorio CORVO viene utilizzato un multimetro digitale Hp 3458A ad alte prestazioni, sia per la velocità che per la precisione nelle misure. Le caratteristiche principali sono:

- Funzioni matematiche e statistiche

- 20 kB di memoria
- Autocalibrazione
- Range tensioni 10 mV - 1000 V
- Range resistenze 10 Ohm - 1 GOhm
- Sensibilità 10 nV
- Accuratezza fino a 0.002 ppm
- Misurazioni 2 e 4 fili con compensazione

Cella fotometrica fissa (luxmetro)

Per le misure di illuminamento condotte nella cella *CORVO* viene utilizzato un luxmetro della LMT, tipo B 360 E, le cui principali caratteristiche sono:

- strumento di Classe A conforme alle Norme DIN 5032
- intervallo di misura da 600000 lux a 0.01 lux
- uscita analogica 0-2 V
- testa fotometrica per misure di illuminamento cilindrico o semicilindrico
- testa fotometrica con curva spettrale di visibilità $V(\lambda)$ molto fine
- correzione del coseno per la corretta considerazione dell'angolo di incidenza della luce sulla superficie del rivelatore

La cella fotometrica è collegata in modo permanente al sistema di acquisizione dati e posizionata sul supporto mobile del sistema di movimentazione assi.

Sensori fotometrici (luxmetri)

I sensori fotometrici per le misure di illuminamento utilizzati per prove particolari condotte nella camera *CORVO* o in 'campo' sono sensori al silicio modello Macam SD201 LV Cos, di dimensioni ridotte, con le seguenti caratteristiche:

- CIE-Cos Diffusore a correzione di coseno
- INT-112 Filtro fotonico CIE
- Area attiva del sensore 33 mm²
- Taratura in $\mu\text{V}/\text{Lux}$ con relativo certificato
- Sensibilità 1 $\mu\text{V}/\text{Lux}$

Vengono normalmente utilizzati tramite acquisitore dati e relativa scheda multiplexer per campagne di misurazioni in campo.

Misure radiometriche

La grandezza principale è la radianza spettrale, cioè l'energia nell'unità di tempo emessa per lunghezza d'onda (nel range del visibile). Con opportuni dispositivi, è possibile introdurre la curva di sensibilità dell'occhio e quindi ricavare grandezze fotometriche.

Lo strumento in dotazione del laboratorio CORVO è uno spettroradiometro Konica Minolta CS-2000, con angoli di misura selezionabili, per poter misurare aree di diverse dimensioni. Lo strumento consente di valutare: Radianza Spettrale, Contrasto, Gamma, Luminanza, Cromaticità, Non Uniformità (mura), Resa Cromatica, Purezza d'eccitazione, Lunghezza d'onda Dominante, Temperatura Colore, Coordinate colorimetriche CIE L*a*b*.

Modello	Konica Minolta CS-2000		
Campo lunghezza d'onda	Da 380 nm a 780 nm		
Risoluzione lunghezza d'onda	0,9 nm/pixel		
Ampiezza di banda della lunghezza d'onda a display	1,0 nm		
Precisione della lunghezza d'onda	±0,3 nm (lunghezza d'onda media: 435,8 nm, 546,1 nm, 643,8 nm lampada Hg-Cd)		
Ampiezza di banda spettrale	5 nm o meno (ampiezza di banda dimezzata)		
Angolo di misura (selezionabile)	1°	0,2°	0,1°
Range di misura luminanza (illuminante A)	0,003 - 5,000 cd/m ²	0,075 - 125.000 cd/m ²	0,3 - 500.000 cd/m ²
Luminanza minima display	0,00002 cd/m ² :		
Accuratezza: Luminanza (illuminante A) *1	±2%		
Accuratezza: Cromaticità (illuminante A) *1	x,y :±0,003 (0,003 - 0,005 cd/m ²) x,y :±0,002 (0,005 - 0,05 cd/m ²) x :±0,0015 (0,05 cd/m ²) y :±0,001	x,y :±0,003 (0,075 - 0,125 cd/m ²) x,y :±0,002 (0,125 - 1,25 cd/m ²) x :±0,0015 (1,25 cd/m ²) y :±0,001	x,y :±0,003 (0,3 - 0,5 cd/m ²) x,y :±0,002 (0,5 - 5 cd/m ²) x :±0,0015 (5 cd/m ²) y :±0,001
Ripetibilità: Luminanza (2?)	0,4 % (0,003 - 0,05 cd/m ²) 0,3 % (0,05 - 0,1 cd/m ²) 0,15 % (0,1 - 5.000 cd/m ²)	0,4 % (0,075 - 1,25 cd/m ²) 0,3 % (1,25 - 2,5 cd/m ²) 0,15 % (2,5 - 125.000 cd/m ²)	0,4 % (0,3 - 5 cd/m ²) 0,3 % (5 - 10 cd/m ²) 0,15 % (10 - 500.000 cd/m ²)
Ripetibilità: Cromaticità (2?)	0,002 (0,003 - 0,005 cd/m ²) 0,001 (0,005 - 0,1 cd/m ²) 0,0006 (0,1 - 0,2 cd/m ²) 0,0004 (0,2 - 5.000 cd/m ²)	0,002 (0,075 - 0,125 cd/m ²) 0,001 (0,125 - 2,5 cd/m ²) 0,0006 (2,5 - 5 cd/m ²) 0,0004 (5 - 125.000 cd/m ²)	0,002 (0,3 - 0,5 cd/m ²) 0,001 (0,5 - 10 cd/m ²) 0,0006 (10 - 20 cd/m ²) 0,0004 (20 - 500.000 cd/m ²)
Errore di polarizzazione	1°: 2% o meno (400 - 780 nm); 0,1° e 0,2°: 3% o meno (400 - 780 nm)		
Tempo di integrazione	FAST: 0,005 - 16 secondi; Standard: 0,005 - 120 secondi		
Tempo di misura	Da 2 sec min. (modalità manuale a 243 sec. max. (modalità		

	standard)
Modalità Spazio colore	LVxy, Lvu'v', LvT?uv, XYZ, lunghezza d'onda dominante, grafico spettrale

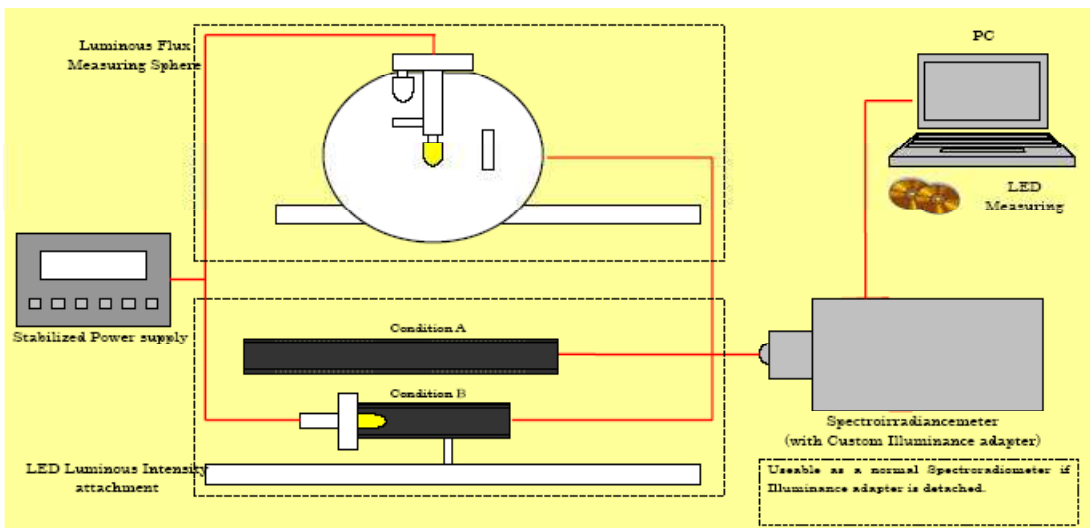
*1 Media di 10 misure in modalità Standard ad una temperatura di $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e con umidità relativa del 65% o meno.

Set di strumenti per misure su LED

Allo spettroradiometro sono associati accessori per misure di Flusso Luminoso, Illuminamento, Intensità Luminosa.

- ④ Adattatore per Misura di Illuminanza
- ④ Sfera di Ulbricht per misura Flusso Luminoso
- ④ Banco per misura Intensità Luminosa su asse prefissato

In figura le possibili combinazioni:





Initial ageing (100 hours)



Photometric measurements in CORVO test cell



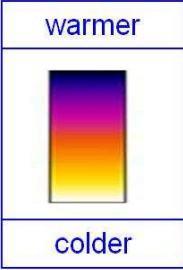
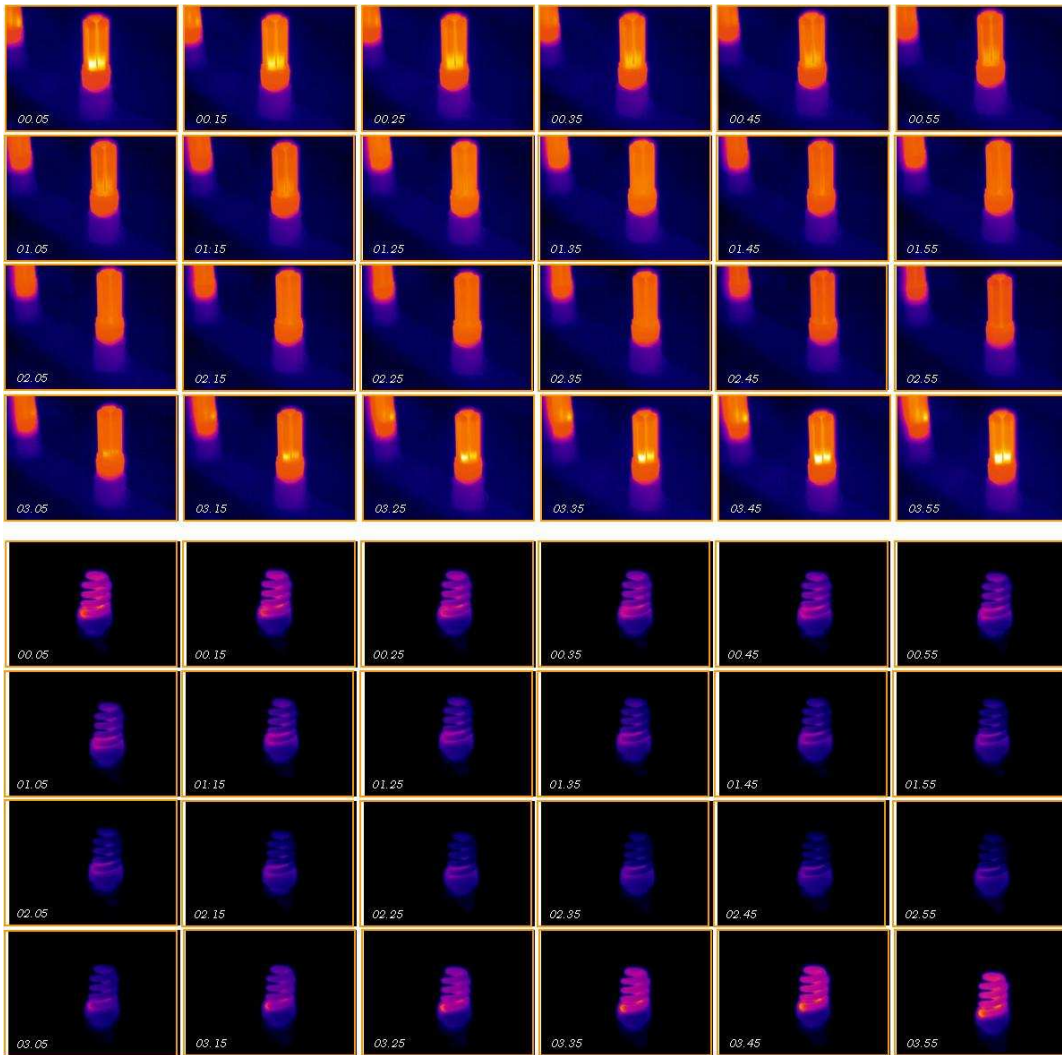
On-Off cycles in ICELAB climatic chamber



... Inside the climatic chamber



Esempio di prove nel laboratorio CORVO: test di cicli on-off su lampade fluorescenti compatte, a diverse condizioni climatiche



Ripresa termografica di accensione di due lampade fluorescenti compatte. Le indicazioni di tempo sono in mm.ss