



# PROVINCIA DI PISTOIA SERVIZIO PATRIMONIO, EDILIZIA SCOLASTICA E SPORTIVA

## PROGETTO ESECUTIVO

### PROGETTAZIONE EDILE

IL RESPONSABILE UNICO  
DEL PROCEDIMENTO

PROGETTISTA

DISEGNATORE

COLLABORATORI

DR.ING. ALESSANDRO MORELLI  
MORELLI

DR.ARCH. DONATELLA PASCUCCI

PER. IND. LUCARELLI MATTEO

GEOM. MARCO PAOLIERI  
GEOM. STEFANO NICCOLI  
LUCIA SALVI

### OGGETTO

## LICEO SCIENTIFICO "DUCA D'AOSTA"

PROGETTO ESECUTIVO  
RISTRUTTURAZIONE ED AMPLIAMENTO  
LICEO SCIENTIFICO "DUCA D'AOSTA"  
DI PISTOIA



### PROGETTAZIONE IMPIANTI

**ingegneri riuniti** S.p.A.

PROGETTI e STUDI di INGEGNERIA  
via G.Pepe n.15 - 41100 MODENA  
Tel.059-335208 - Fax.059-333221  
E-mail: info@ingegneririuniti.it  
web: http://www.ingegneririuniti.it



DOTT.ING.  
L.REGGIANI

DOTT.ING.  
G.B.TENTI

### PROGETTAZIONE IMPIANTI



**Ing. A. BORTOLAZZI CONSULTING S.R.L.**

Società d'Ingegneria con sistema di qualità certificato ISO 9001:2000 Uffici: Via Maestri del Lavoro, 5 - 44100 Ferrara  
Tel. 0532/770512 Fax. 0532/770361 E-mail info@bortolazzi.it, amministrazione@bortolazzi.it, URL http://www.bortolazzi.it

COORDINATORE TECNICO: ARCH. SERGIO CARIANI



### ELABORATO

RELAZIONE DI CALCOLO - OPERE ELETTRICHE

Rev.	Data	Descriz.	Prog	Drw	Codice	TAVOLA
0	DICEMBRE 2005	EMISSIONE			2473/ESE/1A0/ Tipologia	
					Scala	

## INDICE

1 - Premessa	pag.	2
2 - Leggi, decreti e norme da osservare	pag.	2
3 - Criteri di dimensionamento degli impianti elettrici	pag.	5
4 - Linee di bassa tensione	pag.	7
4.1 - Dimensionamento delle condutture	pag.	7
4.2 - Calcolo delle correnti di corto circuito	pag.	9
5 - Scelta apparecchi di manovra e protezione	pag.	13
5.1 - Generalità	pag.	13
5.2 - Protezione dai sovraccarichi	pag.	13
6 - Dimensionamento del conduttore di protezione e di neutro	pag.	17
6.1 - Conduttore di protezione	pag.	17
6.2 - Conduttore di neutro	pag.	18
7 - Dimensionamento delle nuove linee	pag.	20
7.1 - Dati tecnici di riferimento del progetto	pag.	20
7.2 - Schede calcoli	pag.	20

## 1 - PREMESSA

Oggetto del presente progetto è l'ampliamento e ristrutturazione del liceo scientifico "Duca d'Aosta" di Pistoia.

Il progetto e' stato sviluppato facendo costante riferimento sia alle norme UNI che le norme CEI, nonché alle circolari e decreti legge vigenti.

Sono state rispettate tutte le leggi, decreti e norme attualmente in vigore con maggior riguardo a quelle specificate nelle voci seguenti.

## 2 - LEGGI, DECRETI E NORME DA OSSERVARE

### LEGGI E DECRETI

- D.P.R. n. 547 del 27/04/1955: Norma per la prevenzione degli infortuni sul lavoro;
- D.P.R. n. 164 del 07/01/1956: Norma per la prevenzione degli infortuni sul lavoro nella costruzione;
- D.P.R. n. 303 del 19/3/56 "Norme generali per l'igiene del lavoro;
- C. n. 103 del 27/10/1964: Norme di sicurezza da applicarsi nella progettazione, installazione ed esercizio di centrali termiche ad olio combustibile, a gasolio, a gas di città;
- Legge 13/07/69 n. 615: Provvedimenti contro l'inquinamento atmosferico e relativi regolamenti di attuazione per l'esecuzione di cui al D.P.R. 24/10/67 n. 1288 e D.P.R. 28/12/70 n. 1391;
- Legge n. 186 del 1/03/1968
- Legge n. 186 del 01/03/1968 "Impianti a regola d'arte"; Disposizioni concernenti la produzione di materiali, apparecchiature, macchinari, installazioni ed impianti elettrici ed elettronici";
- D.M. 23/11/1972: Approvazione di tabelle UNI-CIG di cui alla n. 1083 del 06/12/1971, sulle norme per la sicurezza dell'impiego di gas combustibili;
- D.M. 18/12/1972: Approvazione di tabelle UNI-CIG di cui alla Legge n. 1083 del 06/12/1971, sulle norme per la sicurezza dell'impiego di gas combustibili (2 gruppi);
- D.M. 07/06/1973: Approvazione di tabelle UNI-CIG di cui alla Legge n. 1083 del 06/12/1971, sulle norme per la sicurezza dell'impiego di gas combustibili;
- L.C. n. 33831/4183 del 14/01/1975, : Edifici industriali - Impianti termici a gas di rete;
- D.M. 01/12/1975: Norme di sicurezza per apparecchi contenenti liquidi caldi sotto pressione, e successivi aggiornamenti; raccolta R edizione 1982; D.M. 29/02/88, regole tecniche riguardanti i dispositivi di sicurezza termici atti ad intercettare il fluido primario negli scambiatori;
- D.M. 12.04.96 Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per la progettazione, la costruzione e l'esercizio degli impianti alimentati da combustibili gassosi;
- Legge n. 791 del 18/10/1977 "Attuazione della direttiva CEE 73/23 relativa alle garanzie di sicurezza che deve possedere il materiale elettrico destinato ad essere utilizzato entro alcuni limiti di tensione".
- D. M. 1/03/1977: Determinazione delle zone climatiche e dei valori minimi e massimi dei relativi coefficienti volumetrici di dispersione termica;
- Legge 03/01/1978: norme per l'accelerazione delle procedure per l'esecuzione di opere pubbliche, di impianti e costruzioni generali;
- Legge n. 13 del 09/01/1989: disposizioni per favorire il superamento e l'eliminazione delle barriere architettoniche, negli edifici privati;
- D.M. n. 246 del 14/06/1989, Prescrizione tecniche;
- Circolare n. 1669/U.L. del 22/06/1989: Circolare esplicativa;
- Legge n. 46 del 05/03/1990: Norme per la sicurezza degli impianti;
- Legge n. 55 del 10/03/1990: Nuove disposizioni della delinquenza di tipo mafioso e di altre grave forme di manifestazione di pericolosità sociale;
- Legge n. 10 del 09/01/1991: Norme in materia di uso razionale dell'energia;
- D.P.R. n. 447 del 06/12/1991 "Regolamento di attuazione della legge n. 46 del 5 marzo 1990, in materia di sicurezza degli impianti";

- D.L. n. 626 del 19/09/1994 – Attuazione delle direttive CEE riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori sul luogo di lavoro. Comprese relative varianti ed integrazioni
- raccomandazioni e prescrizioni dell'Ente fornitore dell'energia elettrica;
- prescrizioni del locale Comando Provinciale dei V.V.F.;
- prescrizioni degli Enti preposti al controllo degli impianti nella zona in cui si eseguiranno i lavori, ed in particolare: Ispettorato dei Lavoro, Vigili del Fuoco, ISPESL, USL
- leggi, decreti e regolamenti governativi, prefettizi, comunali e di ogni autorità riconosciuta, nonché delle disposizioni che, indirettamente o direttamente, avessero attinenza con l'Appalto in oggetto, siano esse in vigore all'atto dell'Appalto, o siano emanate in corso di esso.

Nel corso dell'esecuzione dell'appalto, l'impresa è obbligata ad uniformarsi alle disposizioni modificative o sostitutive delle norme sopra richiamate.

#### NORME UNI

- n. 6514 del settembre 1969: Corpi scaldanti alimentati ad acqua calda o a vapore bassa pressione - prova termica;
- n. 5364 del settembre 1976: Impianti di riscaldamento ad acqua calda. Regole per la presentazione dell'offerta ed il collaudo;
- n. 7357-74 del dicembre 1976: Impianto di riscaldamento ad acqua calda, regole per il calcolo del fabbisogno termico per il riscaldamento degli edifici;
- n. 9183: Sistemi di scarico delle acque usate - Criteri di progettazione, collaudo e gestione;
- n. 9184: Sistemi di scarico delle acque meteorologiche - Criteri di progettazione, collaudo e gestione;
- n. 9615 - Calcolo delle dimensioni interne del camino;
- n. 8094 - Riscaldatori d'acqua calda per usi sanitari;
- n. 10344...10349 - Riscaldamento degli edifici - Calcolo del fabbisogno di energia;
- n. 10355 - Muratura e solai - Valori della resistenza termica e metodo di calcolo;
- norme e disposizioni emanate dall'I.S.P.E.S.L..

#### NORME CEI

- Norme CEI o progetti di norme CEI (in fase di inchiesta pubblica, in vigore alla data della prestazione dell'offerta);
- Norme CEI 11-1 fasc. n. 5025 (1999) e successive varianti – "Impianti elettrici con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata";
- norme CEI 64-50: impianti elettrici negli edifici civili;
- norme CEI 11-1: impianti di messa a terra;
- norme En 600 79-10 (CEI 31-30 e 31-35) impianti elettrici nei luoghi con pericolo di esplosione ed incendio, e relative varianti;
- norme CEI 64/8 impianti elettrici utilizzatori e relative varianti;
- Norme CEI 31-30 fasc. n. 2895 (1996) – "Costruzioni elettriche per atmosfere esplosive per la presenza di gas – Classificazione dei luoghi";
- Norme CEI 64-8 Quinta edizione (2003) - "Impianti elettrici utilizzatori a tensione non superiore a 1000 V in corrente alternata e a 1500 V in corrente continua";
- norme CEI in generale riferite ai materiali elettrici impiegati.
- Norme CEI 11-20 fasc. n. 5732 (2000) – "Impianti di produzione di energia elettrica e gruppi di continuità collegati a rete di I e II categoria";
- Norme CEI 14-4/1 fasc. n. 4712 (1998) e successive varianti – "Trasformatori di potenza";
- Norme CEI 14-8 fasc. n. 5069 C (1999) e successive varianti – "Trasformatori di potenza a secco";
- Norme CEI 14-12 fasc. n. 4149C (1998) – "Trasformatori trifase di distribuzione di tipo a secco 50 Hz, da 100 kVA, con una tensione massima per il componente non superiore a 36 kV";
- Norme CEI 17-13/1 fasc. n. 5862 (2000) - "Apparecchiature assiegate di protezione e di manovra per bassa tensione (quadri BT)";

- Norme CEI 23-32 fasc. 3765 C (1997) e successive varianti ed ampliamenti - "Sistemi di canali di materiale plastico isolante e loro accessori ad uso portacavi e portapparecchi per soffitto e parete";
- Norme CEI 23-31 fasc. 3764 C (1997) - "Sistemi di canali metallici e loro accessori ad uso portacavi e portapparecchi";
- Norme CEI 34-21 fasc. 4138 (1998) e successive varianti ed ampliamenti - "Apparecchi di illuminazione";
- Norme CEI 81-4 Prima edizione (1996) - "Protezione delle strutture contro i fulmini – Valutazione del rischio dovuto al fulmine";
- Norme CEI 81-8 fasc. n. 6364 (2002) – " Guida all'applicazione all'utilizzo di limitatori di sovratensione sugli impianti elettrici utilizzatori di bassa tensione.

#### NORME I.S.P.E.S.L.

- norme e disposizioni emanate dall'I.S.P.E.S.L.

### 3 - CRITERI DI DIMENSIONAMENTO DEGLI IMPIANTI ELETTRICI

Nella fase iniziale dello studio di un impianto elettrico è necessario considerare una serie di elementi ed informazioni essenziali per il calcolo ed il dimensionamento delle reti.

Gli elementi da considerare in tale studio sono i seguenti:

- dati relativi alla tipologia dell'impianto e sua classificazione (impianto elettrico in edifici residenziali, in luoghi di pubblico spettacolo, in locali adibiti ad uso medico, nei luoghi con pericolo di esplosione e di incendio, ecc.) in modo da individuare in modo univoco tutte le norme di riferimento per la progettazione e futura realizzazione dell'impianto;
- dati relativi alle utenze da alimentare: potenza, tensione, cicli, contemporaneità di funzionamento, loro dislocazione sulla planimetria nell'area considerata;
- dati relativi alle sorgenti di alimentazione dell'energia elettrica: tensione nominale, frequenza, potenza di cortocircuito nel punto di consegna, ecc.;
- dati relativi alle condizioni ambientali del luogo in cui verrà realizzato l'impianto;
- specifiche esigenze nei riguardi soprattutto di affidabilità, continuità di servizio, qualità dell'alimentazione.

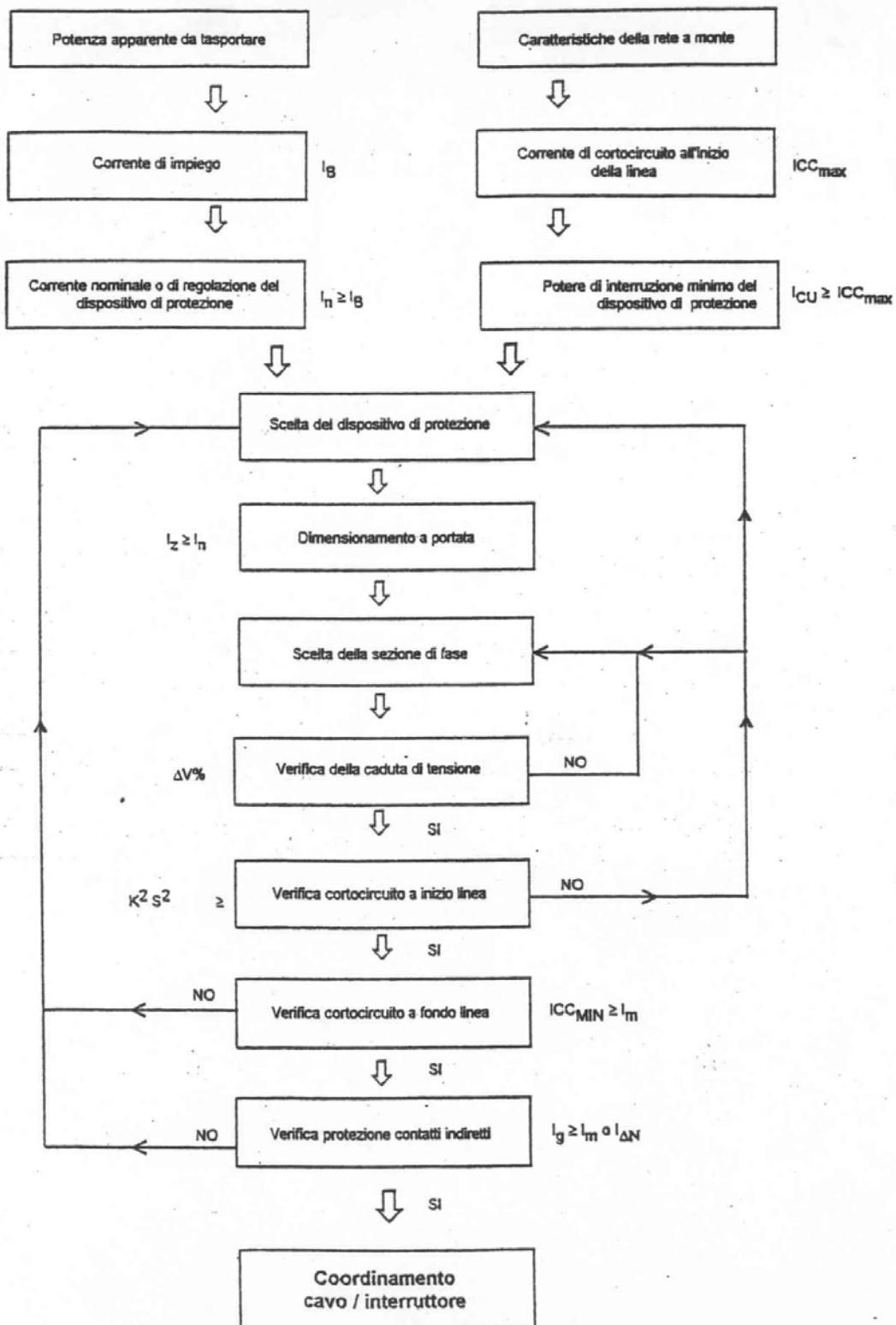
Per definire i componenti principali di un impianto elettrico (cavo / interruttore) devono essere seguiti i criteri operativi sotto elencati:

- Censimento e disposizione topografica dei carichi.

Questa prima analisi permette di:

- \* identificare i coefficienti di utilizzazione e di contemporaneità dei carichi;
- \* determinare la potenza che le condutture devono trasportare;
- \* calcolare la corrente di impiego delle condutture ( $I_B$ );
- Determinazione della corrente nominale ( $I_n$ ) o di regolazione ( $I_r$ ) del dispositivo di protezione in modo che:
  - \* consenta al carico di essere alimentato permanentemente;
  - \* sia insensibile alle correnti di inserzione;
- Determinazione del potere di interruzione ( $I_{cu}$ ) del dispositivo di protezione che deve essere in grado di interrompere la corrente di cortocircuito presunta ( $I_{cc_{max}}$ ) nel punto in cui viene installato;
- Scelta dello sganciatore compatibilmente con le esigenze di continuità di servizio e di sicurezza dell'impianto e delle persone;
- Determinazione della sezione del conduttore di fase e della relativa portata massima ( $I_z$ ) in funzione:
  - \* della modalità di posa
  - \* delle caratteristiche costruttive del cavo
  - \* della caduta di tensione ammessa ( $\Delta U\%$ );
- Verifica della protezione contro sovraccarichi e cortocircuiti confrontando le grandezze caratteristiche del dispositivo di protezione (corrente nominale ( $I_n$ ) o di regolazione ( $I_r$ ) ed energia specifica passante ( $I^2t$ )) con quelle del cavo (rispettivamente portata ( $I_z$ ) ed energia specifica ammissibile ( $K^2S^2$ ));
- Verifica della protezione contro i cortocircuiti a fondo linea. Il confronto tra la corrente di cortocircuito minima a fondo linea ( $I_{cc_{min}}$ ) e la soglia di intervento istantanea ( $I_m$ ) è necessaria solo in presenza di sganciatore solo magnetico o termico sovradimensionato (ad esempio circuiti di sicurezza);
- Verifica della protezione contro i contatti indiretti confrontando le caratteristiche di intervento del dispositivo di protezione (soglie di intervento istantaneo ( $I_m$ ) o differenziale ( $I_{\Delta n}$ ) e tempi totale di interruzione) con:
  - \* le prescrizioni normative in funzione del tipo di impianto (TT, TN e IT) e delle condizioni di installazione;
  - \* le caratteristiche del circuito di guasto verso terra.

## SCHEMA OPERATIVO PER DIMENSIONAMENTO RETI



## 4 - LINEE DI BASSA TENSIONE

### 4.1 - Dimensionamento delle condutture

#### CALCOLO DELLA CORRENTE DI IMPIEGO

Negli impianti utilizzatori destinati sia ad impieghi civili che industriali le correnti assorbite sono molto variabili sia per le diverse condizioni di carico dei singoli utilizzatori che per la non simultaneità di funzionamento degli stessi.

Per un corretto dimensionamento delle condutture e per la scelta ed il coordinamento degli apparecchi di manovra e protezione bisogna valutare la "corrente d'impiego" ( $I_B$ ) cioè la corrente che la linea è destinata a trasportare per soddisfare le necessità dei carichi.

La norma CEI 64-8/2 art. 25.4 definisce la corrente  $I_B$  nel modo seguente: "valore della corrente da prendere in considerazione per la determinazione delle caratteristiche degli elementi di un circuito. In regime permanente la corrente d'impiego corrisponde alla più grande potenza trasportata dal circuito in servizio ordinario tenendo conto dei fattori di utilizzazione e di contemporaneità. In regime variabile si considera la corrente termicamente equivalente, che in regime continuo porterebbe gli elementi del circuito alla stessa temperatura".

Il regime "permanente" si ha quando gli elementi che costituiscono il circuito hanno raggiunto una condizione di equilibrio termico. Il concetto di "permanente" fa dunque riferimento alla costante di tempo termica dei singoli elementi conduttori.

Tale costante, per i cavi, può variare indicativamente dal minuto alle ore, passando dalle sezioni minori alle maggiori; se invece la corrente di carico è variabile periodicamente si considera la corrente termica equivalente:

$$I_B = \sqrt{1/T} \int_0^T i^2 dt$$

dove l'intervallo di integrazione T deve essere stabilito in base ad una attenta analisi della corrente negli intervalli di tempo ove essa presenta i valori più alti. L'elemento discriminante per queste valutazioni è la minore costante di tempo termica fra quelle degli elementi costituenti il circuito; in generale si tratta delle condutture, ma non può escludersi che altri elementi risultino più critici a questo riguardo. Si noti che la norma fa infatti riferimento genericamente agli "elementi" del circuito.

Al fine di determinare la corrente d'impiego si opera nel modo seguente:

#### a) linee terminali

- potenza del carico  $[P_c]$
- fattore di potenza del carico  $[\cos(\Phi_c)]$
- coefficiente di utilizzazione  $[K_u]$

In base ad essi viene ricavato il valore  $I_B$  attraverso la formula:

$$I_B = \frac{K_u \cdot P_c}{c \cdot V_n \cdot \cos\Phi}$$

$c = \sqrt{3}$  per sistemi trifase

$c = 1$  per sistemi monofase

#### b) linee di distribuzione

In questo caso il valore di corrente di impiego viene calcolato come somma vettoriale delle correnti circolanti nelle linee derivate da quella in esame (si procede cioè da valle verso monte); se viene introdotto un determinato coefficiente di contemporaneità, la corrente circolante in ciascuna fase e nell'eventuale neutro di ogni linea si ricava mediante la formula:

$$I_B = K_c \cdot \Sigma [I_{\text{linee derivate}}]$$

Una volta ricavata la  $I_B$  si deve determinare quale è la sezione ottimale del cavo per trasmettere tale corrente. Questa grandezza dipende da tre differenti fenomeni fisici presenti nella conduttura:

- termico (il cavo si scalda per effetto joule a causa della corrente che lo attraversa)
- elettrico (si ha una caduta di tensione nel cavo dipendente dall'impedenza dello stesso e dalla corrente  $I_B$ )
- meccanico (i cavi sono sottoposti durante l'installazione a sforzi di trazione e flessione)

Tali fenomeni vengono analizzati nei paragrafi successivi.

### CALCOLO DELLA PORTATA IN FUNZIONE DELLA CORRENTE D'IMPIEGO

La relazione fondamentale da soddisfare per la scelta corretta della conduttura dal punto di vista termico è:

$$I_B \leq I_Z$$

dove  $I_Z$  è la portata della conduttura definiti come: "massimo valore della corrente che può fluire in una conduttura, in regime permanente ed in determinate condizioni, senza che la temperatura superi un valore specificato" (CEI 64-8/2 art. 25.5).

Tale relazione nasce dalla considerazione che ciascun tipo di isolante è caratterizzato da una temperatura massima di esercizio che non può essere superata durante le normali condizioni di funzionamento, previa riduzione di vita del materiale.

Diventa perciò di fondamentale importanza lo studio del legame esistente tra la corrente che si stabilisce in un conduttore e la temperatura di regime che esso assume quando il sistema è in equilibrio termico. Quando il cavo viene attraversato da una generica ma costante corrente dopo una fase transitoria in cui parte del calore prodotto per effetto Joule nella resistenza del conduttore viene immagazzinato nel cavo con conseguente riscaldamento dello stesso, si ha una successiva condizione di regime termico nella quale la temperatura si mantiene costante e il calore prodotto viene interamente dissipato nell'ambiente.

Da tali considerazioni discende che, nota la temperatura massima assimilabile in regime permanente per un certo tipo di isolante, si determina quale sia la potenza massima dissipabile ( $RI^2$ ) e da questa il valore di corrente sopportabile dal cavo, cioè la sua portata.

Lo studio del fenomeno fisico ora esposto risulta in realtà molto complesso poiché il valore della portata risulta influenzato, pur a parità di sezione e isolante, da altri fattori quali:

- a) tipo di posa del cavo (da cui dipende il valore di conduttanza termica che regola lo scambio di calore con l'ambiente); ad esempio un cavo in tubo o canale posato in cunicolo chiuso riesce a smaltire meno calore di quanto non faccia lo stesso cavo se posato in tubo o canale interrato e perciò a parità di corrente si porterà a temperatura maggiore (o, per meglio dire, a parità di temperatura massima deve essere attraversato da una corrente minore);
- b) temperatura ambiente (tanto più essa è elevata, tanto minore è la corrente che può attraversare un conduttore);
- c) presenza di altri conduttori nelle vicinanze (se altri cavi percorsi da corrente sono posti vicini al conduttore in esame la temperatura di quest'ultimo ne è ovviamente influenzata).

Per determinare la portata della conduttura in funzione del tipo di isolante, del tipo di posa, della temperatura ambiente, ecc., si considerano le tabelle riportate dalla norma CEI 64-8/5 e più precisamente:

Tabella 52A - "Scelta dei conduttori e dei cavi in funzione dei tipi di posa"

Tabella 52B - "Messa in opera delle condutture"

Tabella 52C - "Esempi di condutture"

Tabella 52D - "Massime temperature di esercizio"

Tabella 52E - "Sezioni minime dei conduttori"

### CALCOLO DELLA CADUTA DI TENSIONE

Per un corretto impiego degli utilizzatori è necessario che essi funzionino al valore di tensione nominale per la quale sono previsti. Per tale motivo si deve verificare che la caduta di tensione

lungo la linea non assuma valori troppo elevati. I limiti di variazione della tensione sono diversi a seconda del tipo di impianto realizzato e della natura del carico alimentato. Si ricorda inoltre che per macchine sottoposte ad avviamenti che danno luogo ad elevate correnti di spunto, la caduta di tensione sull'utilizzatore deve essere mantenuta entro valori compatibili con il buon funzionamento della macchina anche durante l'avviamento.

La norma CEI 64-8/5 raccomanda una caduta di tensione tra l'origine dell'impianto elettrico e qualunque apparecchio utilizzatore non superiore in pratica al 4% della tensione nominale dell'impianto.

In un impianto di forza motrice una caduta di tensione superiore al 4% può provocare:

- un cattivo funzionamento delle utenze più sensibili;
- difficoltà di avviamento dei motori;
- perdite in linea e quindi mancanza di ottimizzazione dell'impianto di trasmissione dell'energia elettrica.

Il valore della caduta di tensione (V) può essere determinato mediante la seguente formula:

$$\Delta U = K \cdot I_B \cdot L (r \cos\Phi + x \sin\Phi)$$

ed in percentuale:

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_n} \cdot 100$$

dove:

K è un fattore di tensione pari a 2 nei sistemi monofase e bifase e  $\sqrt{3}$  nei sistemi trifase

I è la corrente nel conduttore (A);

L è la lunghezza del conduttore (Km)

r è la resistenza di un chilometro di conduttore ( $\Omega/\text{Km}$ );

x è la reattanza di un chilometro di conduttore ( $\Omega/\text{Km}$ );

Un è la tensione nominale dell'impianto;

$\cos\Phi$  è il fattore di potenza del carico.

Per la resistenza e reattanza specifica dei cavi unificati vengono considerati i valori riportati dalle Tabelle UNEL 35023-70.

## 4.2 - Calcolo delle correnti di corto circuito

### GENERALITÀ

Il corto circuito si verifica quando due punti di un circuito elettrico, fra i quali esiste una differenza di potenziale, vengono in contatto. Il corto circuito è l'evento in grado di originare le maggiori sollecitazioni di tipo termico e dinamico e di conseguenza deve essere interrotto nel più breve tempo possibile.

Le sollecitazioni termiche dipendono dall'energia sviluppata dalla corrente di corto circuito nell'elemento considerato e determinano, oltre ad una riduzione di vita dei materiali isolanti, vari fenomeni dannosi quali rammollimento dei materiali termoplastici, fragilità dei materiali termoindurenti, fusione di saldature dolci, ecc.

Le sollecitazioni dinamiche dipendono prevalentemente dal valore di cresta della prima onda di corrente ed in maniera minore dalle successive; esse sottopongono i conduttori a forze di repulsione ed attrazione.

Per scegliere in modo appropriato le apparecchiature di protezione si deve determinare correttamente l'entità delle correnti di corto circuito nei vari punti dell'impianto e nelle condizioni più sfavorevoli di guasto. Tale analisi va effettuata per le situazioni estreme, corrispondenti rispettivamente al calcolo della corrente di corto circuito massima nel punto di origine di ogni conduttura e quella minima al suo termine (in corrispondenza dei morsetti di collegamento al successivo elemento della rete o dei morsetti di collegamento al carico).

La corrente di corto circuito massima in un sistema trifase si ha per corto circuito trifase nel punto di origine della conduttura; la sua conoscenza è indispensabile per stabilire il potere di interruzione del dispositivo di protezione. La corrente di corto circuito minima si ha per guasto fase-fase o fase-neutro (se il neutro è distribuito) o per guasto fase-massa nel punto della conduttura più lontano dall'origine: la sua conoscenza è richiesta per la verifica del corretto intervento delle protezioni in corrispondenza di tali valori di corrente.

Relativamente alla corrente di corto circuito minima si rammenta che la norma CEI 64-8 si limita a considerare il caso di guasto franco, cioè con impedenza del guasto trascurabile; ciò è giustificato dall'esigenza normativa di considerare situazioni ben individuabili. Quando si verificano guasti non franchi (ad esempio in presenza di arco elettrico o per guasti che interessano parte degli avvolgimenti di macchine elettriche) la corrente di corto circuito può essere inferiore a quella precedentemente citata, ma non è possibile determinarne a priori il valore essendo sconosciuta l'impedenza di guasto. La conduttura è comunque protetta contro tale tipo di guasto se è presente anche la protezione da sovraccarico.

L'andamento della corrente di corto circuito negli istanti immediatamente successivi al corto circuito è costituito dalla sommatoria di due termini:

- una componente simmetrica ad andamento sinusoidale che rappresenta la condizione di funzionamento a regime;
- una componente unidirezionale transitoria il cui andamento dipende dal fattore di potenza del circuito e dall'istante in cui avviene il guasto.

Ai fini della protezione dai corto circuiti in bassa tensione non si deve tener conto del valore di picco della corrente di corto circuito (cioè dell'andamento transitorio) perché il potere di interruzione degli interruttori sono basati sulla componente simmetrica.

## SISTEMA TT

### Impedenza della rete a monte del punto di consegna

Nel caso di sistema TT non si ha una propria cabina di trasformazione ma il punto di fornitura dell'energia elettrica avviene in bassa tensione.

Dal valore  $I_{cco\ tr}$ , fornito dall'ente erogatore di energia elettrica, si ricava l'impedenza totale a monte della rete a monte del punto di consegna:

$$Z_{of} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \times I_{cco\ tr}} \quad [\Omega]$$

Per poter ripartire tale impedenza nelle sue componenti resistiva e reattiva è necessario conoscere anche il fattore di sfasamento nel punto di origine in caso di corto circuito ( $\cos\Phi_{cco}$ ):

$$R_{of} = Z_{of} \times (\cos\Phi_{cco}) \quad [\Omega]$$

$$X_{of} = Z_{of} \times (\sin\Phi_{cco}) \quad [\Omega]$$

$I_{cco}$ (kA)	$\cos\Phi_{cco}$
$1 \leq 4.5$	0.8
$4.5 < 1 \leq 6$	0.7
$6 < 1 \leq 10$	0.5
$10 < 1 \leq 20$	0.3
$20 < 1$	0.25

Dal valore  $I_{cco\ f-n}$  si ricava l'impedenza del neutro a monte del punto di consegna. Tale valore è necessario per effettuare il calcolo della corrente di corto circuito in caso di guasto fase-neutro in un punto qualunque del sistema TT:

$$Z_{oof} = \frac{V_n}{I_{cco\ f-n}} \quad [\Omega]$$

$$\sqrt{3} \times I_{\text{cco f-n}}$$

$Z_{\text{Oof}}$  = somma delle impedenze di fase e di neutro a monte del punto di consegna

Assumendo un fattore di sfasamento determinato attraverso la tabella sopra riportata, si ricavano le componenti resistive e reattive della  $Z_{\text{Oof}}$ :

$$R_{\text{ofn}} = Z_{\text{ofn}} \times (\cos\Phi_{\text{cco}}) \quad [\Omega]$$

$$X_{\text{ofn}} = Z_{\text{ofn}} \times (\sin\Phi_{\text{cco}}) \quad [\Omega]$$

Il valore della resistenza e della reattanza del neutro sono ricavabili come differenza:

$$R_{\text{On}} = R_{\text{ofn}} - R_{\text{of}} \quad [\Omega]$$

$$X_{\text{On}} = X_{\text{ofn}} - X_{\text{of}} \quad [\Omega]$$

A questo punto il calcolo delle correnti procede come per il sistema TN considerando oltre alle impedenze  $Z_{\text{On}}$  e  $Z_{\text{ofn}}$ , l'impedenza  $Z_1$  della linea di distribuzione.

#### Correnti di corto circuito

La determinazione delle correnti di corto circuito nei sistemi TT si ottiene mediante le seguenti formule:

#### Corto circuito trifase

I valori della corrente di corto circuito trifase vengono calcolati dividendo la tensione di fase dell'impianto per la sommatoria di tutte le impedenze precedentemente analizzate:

$$I_{\text{cc tr}} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \times \sqrt{(R_{\text{of}}+R_1)^2+(X_{\text{of}}+X_1)^2}} \quad [\text{A}]$$

### Corto circuito fase-fase

La corrente di corto circuito fase-fase si ottiene dividendo la tensione concatenata per l'impedenza dell'anello di guasto (costituita dal doppio della sommatoria di tutte le impedenze precedentemente considerate):

$$I_{cc\ f-f} = \frac{V_n}{2 \times \sqrt{(R_{of}+R_1)^2+(X_{of}+X_1)^2}} \quad [A]$$

### Corto circuito fase-neutro

In questo caso per determinare la corrente di corto circuito fase-neutro, si deve anche considerare l'impedenza del neutro in quanto anche tale conduttore viene ovviamente attraversato dalla corrente di guasto: essa è pari alla somma vettoriale delle impedenze del neutro nei singoli tratti di linea, analogamente a quanto visto al 3.2.3. La corrente di corto circuito fase-neutro viene calcolata dividendo la tensione di fase per la somma delle impedenze di fase e neutro:

$$I_{cc\ f-n} = \frac{V_n}{\sqrt{3} \times \sqrt{(R_{ofn}+R_1+R_n)^2+(X_{ofn}+X_n+X_1)^2}} \quad [A]$$

$R_n$  = resistenza totale del conduttore di neutro [ $\Omega$ ]

$X_n$  = reattanza totale del conduttore di neutro [ $\Omega$ ]

## 5 - SCELTA APPARECCHI DI MANOVRA E PROTEZIONE

### 5.1 - Generalità

La scelta dei dispositivi di protezione, rivestendo questi un ruolo fondamentale per la sicurezza dell'impianto, degli utilizzatori e delle persone, costituisce un'altra fase fondamentale per la corretta progettazione di un impianto elettrico.

Nei paragrafi successivi vengono esaminate le relazioni fondamentali da soddisfare per garantire la protezione dai sovraccarichi, dai cortocircuiti e dai contatti indiretti.

### 5.2 - Protezione dai sovraccarichi

Si è analizzato, nei paragrafi precedenti, come il criterio base per il dimensionamento di una conduttura sia correlato al legame esistente tra la temperatura di esercizio del cavo e il decadimento nel tempo del materiale isolante; qualsiasi condizione di funzionamento che comporti un passaggio di corrente di valore superiore alla portata del cavo ( $I_Z$ ) ha come conseguenza una sovratemperatura rispetto alla temperatura massima consentita in servizio permanente e quindi determina una riduzione della vita del cavo. Il problema della protezione dai sovraccarichi delle condutture è quindi, per gli impianti elettrici in bassa tensione, essenzialmente un problema termico: si devono limitare le correnti in modo tale che il cavo non raggiunga, per effetto Joule, temperature tanto elevate da compromettere l'integrità e la durata dell'isolante; il danno che l'isolante può subire non dipende ovviamente solo dalle temperature raggiunte ma anche e soprattutto dalla durata della sollecitazione termica.

Per corrente di sovraccarico di una conduttura si intende qualsiasi corrente che risponda ai due seguenti requisiti:

- percorrere un circuito elettricamente sano;
- supera il valore della portata  $I_Z$  della conduttura considerata.

All'art. 433.1 della norma CÉI 64-8/4 si afferma che "devono essere previsti dispositivi di protezione per interrompere le correnti di sovraccarico dei conduttori del circuito prima che tali correnti possano provocare un riscaldamento nocivo all'isolamento, ai collegamenti, ai terminali o all'ambiente circostante le condutture".

Poiché la corrente di sovraccarico può essere originata da cause diverse è necessario distinguere in:

- corrente di sovraccarico di natura "funzionale" prevista nell'ambito dell'esercizio ordinario dell'impianto (ad esempio avviamento di motori);
- corrente di sovraccarico di natura "anomala" dovuta ad irregolari funzionamenti del sistema elettrico (variazioni nella tensione di alimentazione che perdurano nel tempo, inserimento contemporaneo di troppi carichi, motori con rotore bloccato, ecc.).

Mentre la prima deve essere sopportata dalla conduttura senza provocare l'intervento delle protezioni, la seconda deve essere necessariamente interrotta se supera determinati valori di intensità e durata.

### SCELTA DEL DISPOSITIVO DI PROTEZIONE

Le due condizioni fondamentali per una corretta scelta del dispositivo di protezione dal sovraccarico sono (CEI 64-8/4 art. 433.2):

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad (1)$$

$$I_f \leq 1,45 \times I_Z \quad (2)$$

In tali relazioni compaiono, oltre alla corrente di impiego (paragrafo 0) e alla portata della conduttura (paragrafo 0), la corrente nominale ( $I_N$ ) e la corrente di intervento ( $I_f$ ) del dispositivo di protezione (corrente che assicura l'effettivo funzionamento del dispositivo di protezione entro il tempo convenzionale in condizioni definite).

La relazione (1) è formata da tre disequazioni:

a) la portata della conduttura deve essere maggiore o quanto meno uguale alla corrente d'impiego; si è già visto al paragrafo 0 sul dimensionamento dei cavi come la relazione fondamentale da soddisfare sia:

$$I_B \leq I_Z$$

b) il dispositivo posto a protezione della linea deve avere una corrente nominale tale da lasciar passare permanentemente la corrente di normale funzionamento dei carichi:

$$I_B \leq I_N$$

c) la terza relazione deriva dalla considerazione che l'apparecchio di protezione deve interrompere le eventuali correnti superiori alla portata del cavo, cioè:

$$I_N \leq I_Z$$

e pertanto ne deriva che la scelta dell'interruttore automatico può essere fatta soddisfacendo solo la relazione (1) in quanto la (2) risulta automaticamente vera.

### PROTEZIONE DAI CORTO CIRCUITI

Negli impianti elettrici "devono essere previsti dispositivi di protezione per interrompere le correnti di cortocircuito dei conduttori prima che tali correnti possano diventare pericolose a causa degli effetti termici e meccanici prodotti nei conduttori e nelle connessioni" (CEI 64-8/4 art. 434.1).

Il cortocircuito va interrotto in tempi brevissimi, normalmente dell'ordine di qualche centesimo di secondo, durante i quali sono ammesse delle temperature maggiori di quelle consentite nelle normali condizioni di esercizio (in caso di corto circuito si ammette una temperatura massima di 160° C per cavi in P.V.C. e di 250°C per cavi in E.P.R.).

### SCELTA DEL DISPOSITIVO DI PROTEZIONE

I dispositivi idonei alla protezione contro i corto circuiti devono rispondere alle seguenti condizioni (CEI 64-8/4 art. 434.2):

a) avere un potere di interruzione ( $P_c$ ) non inferiore alla corrente di corto circuito presunta nel punto di installazione ( $I_{cc \max}$ ). E' tuttavia ammesso l'utilizzo di un dispositivo di protezione con potere di interruzione inferiore se a monte è installato un altro dispositivo avente il necessario potere di interruzione. In questo caso le caratteristiche dei due dispositivi devono essere coordinate in modo che l'energia che essi lasciano passare non superi quella che può essere sopportata senza danno dal dispositivo situato a valle e dalle condutture protette da questi dispositivi.

$$I_{cc \max} \leq P_c \quad (1)$$

b) Intervenire in modo tale che tutte le correnti provocate da un corto circuito che si presenti in un punto qualsiasi del circuito siano introdotte in un tempo non superiore a quello che porta i conduttori alla temperatura massima ammissibile. Al fine di verificare tale condizione è necessario soddisfare, per ogni valore possibile di corto circuito, la seguente condizione:

$$(I^2t) \leq K^2 S^2 \quad (2)$$

il termine ( $I^2t$ ) è l'energia specifica lasciata passare dal dispositivo di interruzione (integrale di Joule) e corrisponde all'integrale rispetto al tempo del quadrato del valore istantaneo della corrente, valutato in un opportuno intervallo di tempo che si estende dall'istante in cui si stabilisce la sovracorrente sino alla sua interruzione:

$$(I^2t) = \int_{t_0}^t i^2 dt$$

Per le considerazioni in oggetto, fissate determinate condizioni di funzionamento, ciò che interessa conoscere è la curva che fornisce i valori massimi di  $(I^2t)$  in funzione della corrente di corto circuito presunta.

L'energia specifica è una grandezza introdotta dalle norme per valutare l'entità dell'energia termica specifica lasciata passare dal dispositivo di protezione durante il corto circuito. Dimensionalmente non è una grandezza fisicamente indicativa ( $A^2s$ ) ma lo diventa quanto è moltiplicata per la resistenza dell'elemento interessato, determinando così l'energia sviluppata dalla corrente di corto circuito all'interno di esso.

Per i corto circuiti di durata compresa tra 0.1 s e 5 il valore di  $(I^2t)$  si può ottenere assumendo per  $I$  il valore in ampere della corrente di corto circuito e per  $t$  la durata, in secondi, del corto circuito stesso; per durate molto brevi ( $< 0.1s$ ) dove l'asimmetria della corrente è notevole, e per dispositivi di protezione limitatori di corrente, il valore di  $(I^2t)$  lasciato passare deve essere indicato dal costruttore del dispositivo di protezione.

Il termine  $K^2S^2$  rappresenta il massimo valore di energia specifica che il cavo è in grado di sopportare, supponendo un funzionamento adiabatico. Tale valore, moltiplicato per la resistenza del conduttore, determina il calore che, dissipato per effetto joule nel conduttore, porta il cavo alla massima temperatura ammissibile in caso di corto circuito (pari a  $70^\circ C$  per cavi con isolamento in P.V.C. e a  $90^\circ C$  per cavi in EPR).

È importante osservare che il termine  $K^2S^2$  risulta essere indipendente dal tipo di posa del cavo in quanto, non avendo considerato lo scambio termico con l'ambiente (funzionamento adiabatico), è ininfluente la conoscenza del valore di conduttività termica tra conduttura e ambiente circostante.

La formula (2) esprime chiaramente che se l'integrale di Joule lasciato passare dal dispositivo di protezione non supera il valore  $K^2S^2$  ammesso dal conduttore la protezione è assicurata in quanto la temperatura del cavo si mantiene inferiore al massimo valore ammissibile.

Il termine  $K^2S^2$  risulta composto da due termini:

- $S$  sezione del conduttore ( $mm^2$ )
- $K$  coefficiente che tiene conto del materiale conduttore e delle caratteristiche termiche dell'isolante; è funzione di vari parametri quali:
  - \* calore specifico medio del materiale conduttore;
  - \* resistività del materiale conduttore;
  - \* temperatura iniziale e finale del conduttore.

La norma CEI 64-8/4 riporta i valori da assumere per il coefficiente  $K$  per i vari tipi di cavo, essi sono:

- 115 per i cavi in rame isolati in P.V.C.
- 143 per i cavi in rame isolati in E.P.R.
- 76 per i cavi in alluminio isolati in P.V.C.
- 94 per i cavi in alluminio isolati in E.P.R.

### PROTEZIONE DAI CONTATTI INDIRETTI

La protezione contro i contatti indiretti consiste nel prendere le misure intese a proteggere le persone contro i pericoli risultanti dal contatto con parti conduttrici che possono andare in tensione in caso di cedimento dell'isolamento principale.

I metodi di protezione contro i contatti indiretti sono classificati come segue:

- a) protezione mediante interruzione automatica dell'alimentazione;
- b) protezione senza interruzione automatica del circuito (doppio isolamento, separazione elettrica, locali isolati, locali equipotenziali);
- c) alimentazione a bassissima tensione.

## SISTEMA TT

La norma CEI 64-8 art. 413.1.4 nel caso di sistemi TT prevede che per attuare la protezione dai contatti indiretti mediante interruzione automatica dell'alimentazione, deve essere soddisfatta la condizione:

$$R_A \times I_a \leq 50 \text{ V} \quad (1)$$

dove:

$R_A$  è la somma delle resistenze del dispersore e dei conduttori di protezione delle masse, in ohm;

$I_a$  è la corrente che provoca il funzionamento automatico del dispositivo di protezione, in ampere;

50 V è la tensione limite di guasto verso terra in c.a..

Quando il dispositivo di protezione è un dispositivo di protezione a corrente differenziale,  $I_a$  è la corrente nominale differenziale  $I_{an}$ . Quando il dispositivo di protezione è un dispositivo di protezione contro le sovracorrenti, esso deve essere:

- un dispositivo avente una caratteristica di funzionamento a tempo inverso, ed in questo caso  $I_a$  deve essere la corrente che ne provoca il funzionamento automatico entro 5 s, oppure,
- un dispositivo con una caratteristica di funzionamento a scatto istantaneo ed in questo caso  $I_a$  deve essere la corrente nominale che ne provoca lo scatto istantaneo.

## 6 - DIMENSIONAMENTO DEL CONDUTTORE DI PROTEZIONE E DI NEUTRO

### 6.1 - Conduttore di protezione

#### DETERMINAZIONE DELLA SEZIONE

La norma CEI 64-8/4 art. 543.1 riporta due metodi per il dimensionamento del conduttore di protezione (PE):

a) la sezione del conduttore di protezione ( $S_p$ ) non deve essere inferiore al valore determinato con la seguente formula:

$$S_p = \frac{\sqrt{I^2 t}}{K} \quad (1)$$

dove:

$S_p$  = sezione del conduttore di protezione ( $\text{mm}^2$ );

$I$  = valore efficace della corrente di guasto che può percorrere il conduttore di protezione per un guasto di impedenza trascurabile (A);

$t$  = tempo di intervento del dispositivo di protezione (s);

$K$  = fattore il cui valore dipende dal materiale del conduttore di protezione, dell'isolamento e di altre parti e delle temperature iniziali e finali. Valori di  $K$  per i conduttori di protezione in diverse applicazioni sono dati nelle seguenti tabelle in cui  $\theta_0$  indica la temperatura iniziale e  $\theta_f$  la temperatura finale.

Tabella A - Valori di  $K$  per i conduttori di protezione costituiti da cavi unipolari, o per conduttori di protezione nudi in contatto con rivestimento esterno dei cavi

Materiale conduttore	Natura dell'isolante o dei rivestimenti		
	P.V.C. $\theta_0 = 30 \quad \theta_f = 160$	EPR - XLPE $\theta_0 = 30 \quad \theta_f = 250$	G2 $\theta_0 = 30 \quad \theta_f = 220$
Rame	143	176	166
Alluminio	95	116	110
Ferro	52	64	60

Tabella B - Valori di  $K$  per conduttori di protezione costituiti da un'anima di cavo multipolare

Materiale conduttore	Natura dell'isolante		
	P.V.C. $\theta_0 = 70 \quad \theta_f = 160$	EPR - XLPE $\theta_0 = 90 \quad \theta_f = 250$	G2 $\theta_0 = 85 \quad \theta_f = 220$
Rame	115	143	135
Alluminio	76	94	89

Tabella C - Valori di K per conduttori di protezione costituiti dal rivestimento metallico o dall'armatura di un cavo

Natura del rivestimento metallico o dell'armatura	Natura dell'isolante o dei rivestimenti		
	P.V.C. $\theta_0 = 60 \quad \theta_f = 160$	EPR – XLPE $\theta_0 = 80 \quad \theta_f = 250$	G2 $\theta_0 = 75 \quad \theta_f = 220$
Rame	122	149	140
Alluminio	79	96	90
Ferro	42	51	48
Piombo	22	19	19

Tabella D - Valori di K per i conduttori di protezione nudi quando non esistono pericoli di danneggiamento di materiali vicini per effetto della temperatura:

$$\theta_0 = 30^\circ\text{C}$$

Materiale conduttore	Condizioni di posa (°)		
	A	B	C
Rame	228	159	138
Alluminio	125	105	91
Ferro	82	58	50

b) La sezione dei conduttori di protezione può essere determinata facendo riferimento alla seguente tabella, in questo caso non è necessaria la verifica attraverso l'applicazione della formula (1). Se dall'applicazione della tabella risulta una sezione non unificata, deve essere adottata la sezione unificata più vicina al valore calcolato.

Sezione dei conduttori di fase (mm <sup>2</sup> )	Sezione minima del conduttore di protezione (mm <sup>2</sup> )
$S_f \leq 16$	$S_p = S_f$
$16 < S_f \leq 35$	16
$S_f > 35$	$S_p = S_f/2$

## 6.2 - Conduttore di neutro

### DETERMINAZIONE DELLA SEZIONE

La norma CEI 64-8/5 agli artt. 524.2 e 524.3 riporta i criteri da adottare per il dimensionamento del neutro. L'eventuale conduttore di neutro deve avere la stessa sezione dei conduttori di fase:

- nei circuiti monofase a due fili, qualunque sia la sezione dei conduttori;
- nei circuiti trifase quando la dimensione dei conduttori di fase sia inferiore od uguale a 16 mmq. se in rame od a 25 mmq. se in alluminio.

Nei circuiti trifase i cui conduttori di fase abbiano una sezione superiore a 16 mmq. se in rame od a 25 mmq. se in alluminio il conduttore di neutro può avere una sezione inferiore a quella dei conduttori di fase se sono soddisfatte contemporaneamente le seguenti condizioni:

- la corrente massima, comprese le eventuali armoniche, che si prevede possa percorrere il conduttore di neutro durante il servizio ordinario, non sia superiore alla corrente ammissibile corrispondente alla sezione ridotta del conduttore di neutro (la corrente che fluisce nel circuito nelle condizioni di servizio ordinario deve essere praticamente equilibrata tra le fasi);
- la sezione del conduttore di neutro sia almeno uguale a 16 mmq. se in rame e 25 mmq. se in alluminio.

All'art. 473.3.2 della norma CEI 64-8/4 vengono riportate le seguenti prescrizioni per la protezione del conduttore di neutro:

- a) quando la sezione del conduttore di neutro sia almeno uguale od equivalente a quella dei conduttori di fase, non è necessario prevedere la rivelazione delle sovracorrenti sul conduttore di neutro nè un dispositivo di interruzione sullo stesso conduttore;
- b) quando la sezione del conduttore di neutro sia inferiore a quella dei conduttori di fase, è necessario prevedere la rilevazione delle sovracorrenti sul conduttore di neutro, adatta alla sezione di questo conduttore: questa rilevazione deve provocare l'interruzione dei conduttori di fase, ma non necessariamente quella del conduttore di neutro;
- c) non è necessario tuttavia prevedere la rilevazione delle sovracorrenti sul conduttore di neutro se sono soddisfatte contemporaneamente le due seguenti condizioni:
  - il conduttore di neutro è protetto contro i cortocircuiti dal dispositivo di protezione dei conduttori di fase del circuito;
  - la massima corrente che può attraversare il conduttore di neutro in servizio ordinario è chiaramente inferiore alla portata di questo conduttore.

## 7 - DIMENSIONAMENTO DELLE NUOVE LINEE

Nelle pagine successive verranno prodotti i calcoli per il dimensionamento delle reti elettriche B.T., relativi al progetto degli impianti elettrici da realizzarsi all'interno dell'istituto scolastico "Duca d'Aosta" di Pistoia. Saranno eseguite le seguenti elaborazioni:

- dimensionamento delle linee elettriche in cavo;
- calcolo delle correnti di corto circuito;
- calcolo della caduta di tensione;
- verifica della protezione dei cavi (sovraccorrenti) e delle persone (contatti indiretti);

per l'elaborazione di tali calcoli è stato utilizzato il programma computerizzato DOCwin della ditta ABB. (i "carichi fittizi" inseriti nei calcoli rappresentano la potenza necessaria per arrivare al valore di potenza totale assorbita dai vari quadri elettrici di distribuzione).

Oltre ai calcoli per il dimensionamento delle linee, vengono allegati i calcoli illuminotecnici dei locali tipo.

### 7.1 - Dati tecnici di riferimento del progetto

Il progetto degli impianti elettrici in oggetto è stato condotto tenendo in considerazione i seguenti dati tecnici di riferimento:

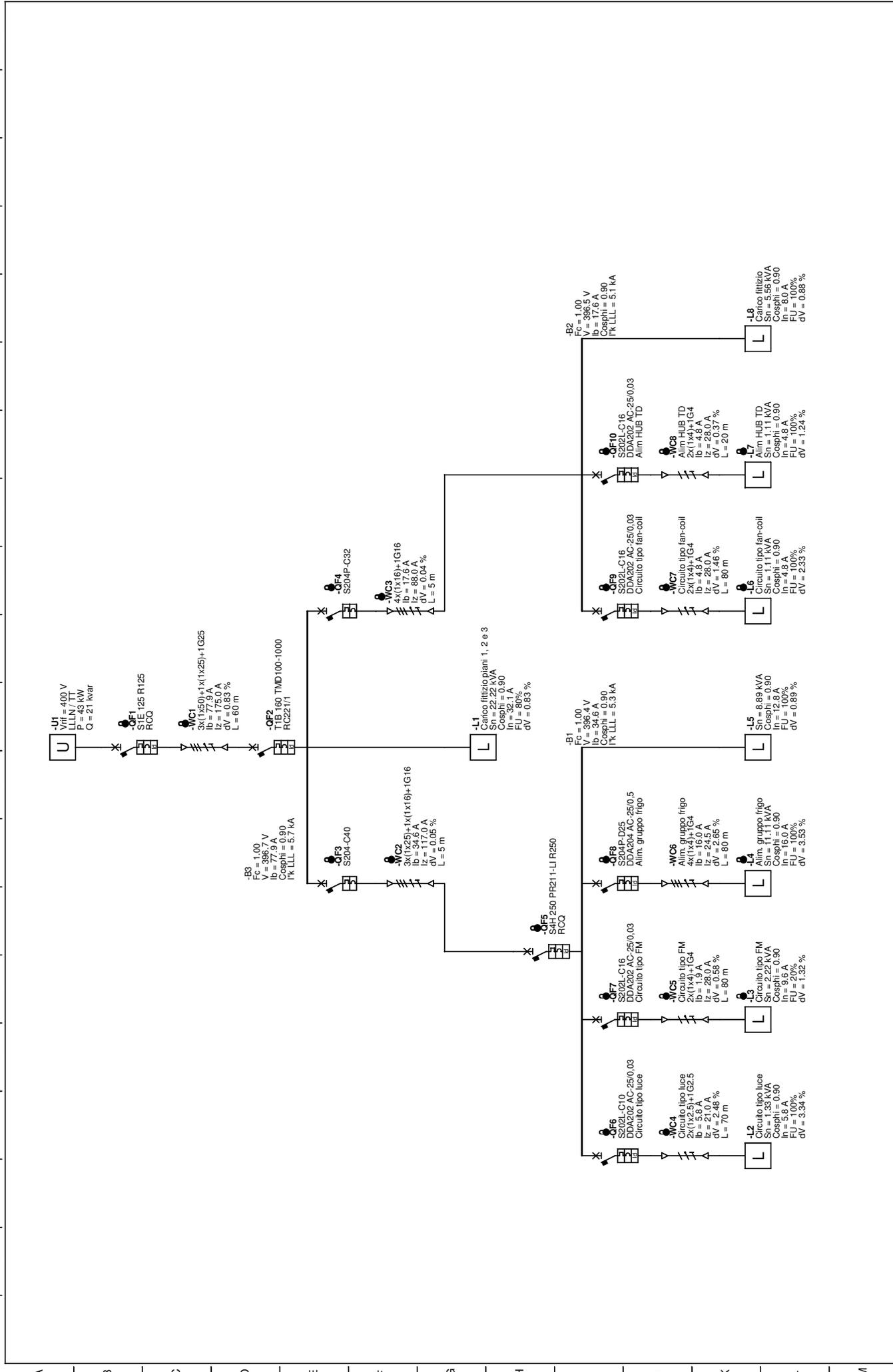
- |  |       |
|--|-------|
| - Tensione concatenata a carico degli impianti di distribuzione B.T. | 400 V |
| - Tensione di fase verso neutro a terra                              | 230 V |
| - Frequenza  | 50 Hz |
| - Temperatura ambiente di esercizio                                  | 30° C |
| - Sistema di distribuzione B.T.                                      | TT    |

### 7.2 - Allegati

Alla presente relazione si allega:

- Calcoli DOCwin (portata cavi, caduta di tensione %, protezione contro i sovraccarichi, protezione contro i cortocircuiti, protezione contro i contatti indiretti, correnti di corto circuito);
- Calcoli illuminotecnici;
- Valutazione del rischio dovuto a fulminazione.

## **CALCOLI DOCwin**



OGGETTO :	Ampliamento e ristrutturazione Liceo scientifico "Duca D'Aosta" Pistoia	COMMITTENTE :	Provincia di Pistoia Servizio patrimonio, edilizia scolistica e sportiva	DATA	12/05	FOGLIO N°	1
				DISEGN.	A. V.	TOT. FOGLI	1

Alimentazione	-U1	
Tensione nominale		400 [V]
Frequenza		50 [Hz]
Numero di Fasi		LLLN
Sistema di distribuzione		TT
Potenza di cortocircuito trifase		6,928 [MVA]
CosPhi di corto circuito trifase		0,300
Corrente di corto circuito trifase		10,000 [kA]
Potenza di cortocircuito fase-neutro		4,157 [MVA]
CosPhi di corto circuito fase-neutro		0,600
Corrente di corto circuito fase-neutro		6,000 [kA]
Potenza di cortocircuito fase-terra		4,157 [MVA]
CosPhi di corto circuito fase-terra		0,600
Corrente di corto circuito fase-terra		6,000 [kA]

## Elenco dei carichi generici

Carico	-L1	
Tensione nominale		400 [V]
Fasi		LLLN
Sistema di distribuzione		TT
Potenza apparente nominale		22,22 [kVA]
Potenza attiva nominale		15,87 [kW]
Potenza reattiva nominale		7,72 [kvar]
Cosphi		0,90
Corrente assorbita		32,1 [A]
Fattore di utilizzazione		80 [%]
Resistenza di terra		1 [Ohm]
Caduta di tensione		0,8 [%]

Carico	-L2	
Tensione nominale		231 [V]
Fasi		LN
Sistema di distribuzione		TT
Potenza apparente nominale		1,33 [kVA]
Potenza attiva nominale		1,15 [kW]
Potenza reattiva nominale		0,58 [kvar]
Cosphi		0,90
Corrente assorbita		5,8 [A]
Fattore di utilizzazione		100 [%]
Resistenza di terra		1 [Ohm]
Caduta di tensione		3,3 [%]

Carico	-L3	
Tensione nominale		231 [V]
Fasi		LN
Sistema di distribuzione		TT
Potenza apparente nominale		2,22 [kVA]
Potenza attiva nominale		0,39 [kW]
Potenza reattiva nominale		0,19 [kvar]
Cosphi		0,90
Corrente assorbita		9,6 [A]
Fattore di utilizzazione		20 [%]
Resistenza di terra		1 [Ohm]
Caduta di tensione		1,3 [%]

**Carico -L4**

Tensione nominale	400 [V]
Fasi	LLLN
Sistema di distribuzione	TT
Potenza apparente nominale	11,11 [kVA]
Potenza attiva nominale	9,59 [kW]
Potenza reattiva nominale	4,82 [kvar]
Cosphi	0,90
Corrente assorbita	16,0 [A]
Fattore di utilizzazione	100 [%]
Resistenza di terra	1 [Ohm]
Caduta di tensione	3,5 [%]

**Carico -L5**

Tensione nominale	400 [V]
Fasi	LLLN
Sistema di distribuzione	TT
Potenza apparente nominale	8,89 [kVA]
Potenza attiva nominale	7,93 [kW]
Potenza reattiva nominale	3,86 [kvar]
Cosphi	0,90
Corrente assorbita	12,8 [A]
Fattore di utilizzazione	100 [%]
Resistenza di terra	1 [Ohm]
Caduta di tensione	0,9 [%]

**Carico -L6**

Tensione nominale	231 [V]
Fasi	LN
Sistema di distribuzione	TT
Potenza apparente nominale	1,11 [kVA]
Potenza attiva nominale	0,97 [kW]
Potenza reattiva nominale	0,48 [kvar]
Cosphi	0,90
Corrente assorbita	4,8 [A]
Fattore di utilizzazione	100 [%]
Resistenza di terra	1 [Ohm]
Caduta di tensione	2,3 [%]

Carico -L7

Tensione nominale	231 [V]
Fasi	LN
Sistema di distribuzione	TT
Potenza apparente nominale	1,11 [kVA]
Potenza attiva nominale	0,99 [kW]
Potenza reattiva nominale	0,48 [kvar]
Cosphi	0,90
Corrente assorbita	4,8 [A]
Fattore di utilizzazione	100 [%]
Resistenza di terra	1 [Ohm]
Caduta di tensione	1,2 [%]

Carico -L8

Tensione nominale	400 [V]
Fasi	LLLN
Sistema di distribuzione	TT
Potenza apparente nominale	5,56 [kVA]
Potenza attiva nominale	4,96 [kW]
Potenza reattiva nominale	2,41 [kvar]
Cosphi	0,90
Corrente assorbita	8,0 [A]
Fattore di utilizzazione	100 [%]
Resistenza di terra	1 [Ohm]
Caduta di tensione	0,9 [%]

Elenco dei cavi

Cavo	L [m]	Isolante	Formazione	Ib [A]	Iz [A]	dV %	Ik min [kA]	Ik max [kA]
-WC2	5	EPR/XLPE	3x(1x25)+1x(1x16)+1G16	34,6	117,0	0,05	0,209	5,734
-WC3	5	EPR/XLPE	4x(1x16)+1G16	17,6	88,0	0,04	0,208	5,734
-WC8 Alim HUB TD	20	EPR/XLPE	2x(1x4)+1G4	4,8	28,0	0,37	0,191	2,110
-WC1	60	EPR/XLPE	3x(1x50)+1x(1x25)+1G25	77,9	175,0	0,83	0,209	10,000
-WC4 Circuito tipo luce	70	EPR/XLPE	2x(1x2.5)+1G2.5	5,8	21,0	2,48	0,137	2,148
-WC5 Circuito tipo FM	80	EPR/XLPE	2x(1x4)+1G4	1,9	28,0	0,58	0,153	2,148
-WC6 Alim. gruppo frigo	80	EPR/XLPE	4x(1x4)+1G4	16,0	24,5	2,65	0,149	5,331
-WC7 Circuito tipo fan-coil	80	EPR/XLPE	2x(1x4)+1G4	4,8	28,0	1,46	0,152	2,110

## Elenco dei cavi

Cavo	-WC1	-	
Lunghezza			60 [m]
Formazione			3x(1x50)+1x(1x25)+1G25
Tipo cavo (Fase e Neutro)			Unipolare con guaina
Isolante (Fase e Neutro)			EPR/XLPE
Materiale conduttore (Fase e Neutro)			Cu
Sezione Fase			1 x 50,0 [mm] <sup>2</sup>
Sezione N			1 x 25,0 [mm] <sup>2</sup>
Tipo Cavo (PE)			Unipolare
Isolante (PE)			XLPE/EPR
Materiale conduttore (PE)			Cu
Sezione PE			25,0 [mm] <sup>2</sup>
Corrente di impiego			77,9 [A]
Corrente imposta dall'utente			[A]
Portata			175,0 [A]
Caduta di tensione			0,83 [%]
Temperatura di lavoro			41,9 [°C]
Norma di riferimento			CEI 64-8
Modalità di posa			Entro cunicoli In tubi protettivi Condotti non ventilati
Particolari di posa:			
Numero di passerelle			
Cavi in fascio			
Numero di conduttori adiacenti di altri circuiti			
Conduttori adiacenti di sezione diversa			
Numero di strati			1
Numero di condotti			1
Resistenza termica del terreno			1 [mK/W]
Installazione in locali con pericolo d'incendio			
Coefficiente di correzione utente			1,30
Ik max			10,000 [kA]
Ik min			0,209 [kA]
Protezione			
Protetto dal sovraccarico da:		-QF1	Ok
Protetto dal corto circuito da:		-QF1	Ok
Protetto dai contatti indiretti da:		-QF1	Ok

Elenco dei cavi

Cavo	-WC2	-	
Lunghezza			5 [m]
Formazione			3x(1x25)+1x(1x16)+1G16
Tipo cavo (Fase e Neutro)			Unipolare con guaina
Isolante (Fase e Neutro)			EPR/XLPE
Materiale conduttore (Fase e Neutro)			Cu
Sezione Fase			1 x 25,0 [mm] <sup>2</sup>
Sezione N			1 x 16,0 [mm] <sup>2</sup>
Tipo Cavo (PE)			Unipolare
Isolante (PE)			XLPE/EPR
Materiale conduttore (PE)			Cu
Sezione PE			16,0 [mm] <sup>2</sup>
Corrente di impiego			34,6 [A]
Corrente imposta dall'utente			[A]
Portata			117,0 [A]
Caduta di tensione			0,05 [%]
Temperatura di lavoro			35,3 [°C]
Norma di riferimento			CEI 64-8
Modalità di posa			Montaggio sporgente In canali Orizzontali
Particolari di posa:			
Numero di passerelle			
Cavi in fascio			
Numero di conduttori adiacenti di altri circuiti			1
Conduttori adiacenti di sezione diversa			
Numero di strati			1
Numero di condotti			1
Resistenza termica del terreno			1 [mK/W]
Installazione in locali con pericolo d'incendio			
Coefficiente di correzione utente			1,30
Ik max			5,734 [kA]
Ik min			0,209 [kA]
Protezione			
Protetto dal sovraccarico da:		-QF5	Ok
Protetto dal corto circuito da:		-QF2	Ok
Protetto dai contatti indiretti da:		-QF2	Ok

## Elenco dei cavi

Cavo	-WC3	-	
Lunghezza			5 [m]
Formazione			4x(1x16)+1G16
Tipo cavo (Fase e Neutro)			Unipolare con guaina
Isolante (Fase e Neutro)			EPR/XLPE
Materiale conduttore (Fase e Neutro)			Cu
Sezione Fase			1 x 16,0 [mm] <sup>2</sup>
Sezione N			1 x 16,0 [mm] <sup>2</sup>
Tipo Cavo (PE)			Unipolare
Isolante (PE)			XLPE/EPR
Materiale conduttore (PE)			Cu
Sezione PE			16,0 [mm] <sup>2</sup>
Corrente di impiego			17,6 [A]
Corrente imposta dall'utente			[A]
Portata			88,0 [A]
Caduta di tensione			0,04 [%]
Temperatura di lavoro			32,4 [°C]
Norma di riferimento			CEI 64-8
Modalità di posa			Montaggio sporgente
			In canali
			Orizzontali
Particolari di posa:			
Numero di passerelle			
Cavi in fascio			
Numero di conduttori adiacenti di altri circuiti			
Conduttori adiacenti di sezione diversa			
Numero di strati			1
Numero di condotti			1
Resistenza termica del terreno			1 [mK/W]
Installazione in locali con pericolo d'incendio			
Coefficiente di correzione utente			1,30
Ik max			5,734 [kA]
Ik min			0,208 [kA]
Protezione			
Protetto dal sovraccarico da:		-QF2	Ok
Protetto dal corto circuito da:		-QF2	Ok
Protetto dai contatti indiretti da:		-QF2	Ok

## Elenco dei cavi

Cavo	-WC4	-	Circuito tipo luce	
Lunghezza				70 [m]
Formazione				2x(1x2.5)+1G2.5
Tipo cavo (Fase e Neutro)				Multipolare
Isolante (Fase e Neutro)				EPR/XLPE
Materiale conduttore (Fase e Neutro)				Cu
Sezione Fase				1 x 2,5 [mm] <sup>2</sup>
Sezione N				1 x 2,5 [mm] <sup>2</sup>
Tipo Cavo (PE)				Anima di cavo multipolare
Isolante (PE)				XLPE/EPR
Materiale conduttore (PE)				Cu
Sezione PE				2,5 [mm] <sup>2</sup>
Corrente di impiego				5,8 [A]
Corrente imposta dall'utente				[A]
Portata				21,0 [A]
Caduta di tensione				2,48 [%]
Temperatura di lavoro				34,5 [°C]
Norma di riferimento				CEI 64-8
Modalità di posa				Montaggio sporgente
				In canali
				Orizzontali
Particolari di posa:				
Numero di passerelle				
Cavi in fascio				
Numero di conduttori adiacenti di altri circuiti				3
Conduttori adiacenti di sezione diversa				
Numero di strati				1
Numero di condotti				1
Resistenza termica del terreno				1 [mK/W]
Installazione in locali con pericolo d'incendio				
Coefficiente di correzione utente				1,30
Ik max				2,148 [kA]
Ik min				0,137 [kA]
Protezione				
Protetto dal sovraccarico da:		-QF6		Ok
Protetto dal corto circuito da:		-QF6		Ok
Protetto dai contatti indiretti da:		-QF6		Ok

Elenco dei cavi

Cavo	-WC5	-	Circuito tipo FM	
Lunghezza				80 [m]
Formazione				2x(1x4)+1G4
Tipo cavo (Fase e Neutro)				Multipolare
Isolante (Fase e Neutro)				EPR/XLPE
Materiale conduttore (Fase e Neutro)				Cu
Sezione Fase		1 x	4,0	[mm] <sup>2</sup>
Sezione N		1 x	4,0	[mm] <sup>2</sup>
Tipo Cavo (PE)				Anima di cavo multipolare
Isolante (PE)				XLPE/EPR
Materiale conduttore (PE)				Cu
Sezione PE			4,0	[mm] <sup>2</sup>
Corrente di impiego			1,9	[A]
Corrente imposta dall'utente				[A]
Portata			28,0	[A]
Caduta di tensione			0,58	[%]
Temperatura di lavoro			30,3	[°C]
Norma di riferimento				CEI 64-8
Modalità di posa				Montaggio sporgente
				In canali
				Orizzontali
Particolari di posa:				
Numero di passerelle				
Cavi in fascio				
Numero di conduttori adiacenti di altri circuiti			3	
Conduttori adiacenti di sezione diversa				
Numero di strati			1	
Numero di condotti			1	
Resistenza termica del terreno			1	[mK/W]
Installazione in locali con pericolo d'incendio				
Coefficiente di correzione utente			1,30	
Ik max			2,148	[kA]
Ik min			0,153	[kA]
Protezione				
Protetto dal sovraccarico da:		-QF7		Ok
Protetto dal corto circuito da:	-QF7			Ok
Protetto dai contatti indiretti da:	-QF7			Ok

## Elenco dei cavi

Cavo	-WC6	-	Alim. gruppo frigo	
Lunghezza				80 [m]
Formazione				4x(1x4)+1G4
Tipo cavo (Fase e Neutro)				Multipolare
Isolante (Fase e Neutro)				EPR/XLPE
Materiale conduttore (Fase e Neutro)				Cu
Sezione Fase		1 x	4,0	[mm] <sup>2</sup>
Sezione N		1 x	4,0	[mm] <sup>2</sup>
Tipo Cavo (PE)				Anima di cavo multipolare
Isolante (PE)				XLPE/EPR
Materiale conduttore (PE)				Cu
Sezione PE				4,0 [mm] <sup>2</sup>
Corrente di impiego				16,0 [A]
Corrente imposta dall'utente				[A]
Portata				24,5 [A]
Caduta di tensione				2,65 [%]
Temperatura di lavoro				55,7 [°C]
Norma di riferimento				CEI 64-8
Modalità di posa				Montaggio sporgente
				In canali
				Orizzontali
Particolari di posa:				
Numero di passerelle				
Cavi in fascio				
Numero di conduttori adiacenti di altri circuiti				3
Conduttori adiacenti di sezione diversa				
Numero di strati				1
Numero di condotti				1
Resistenza termica del terreno				1 [mK/W]
Installazione in locali con pericolo d'incendio				
Coefficiente di correzione utente				1,30
Ik max				5,331 [kA]
Ik min				0,149 [kA]
Protezione				
Protetto dal sovraccarico da:		-QF8		Ok
Protetto dal corto circuito da:	-QF8			Ok
Protetto dai contatti indiretti da:	-QF8			Ok

Elenco dei cavi

Cavo	-WC7	-	Circuito tipo fan-coil	
Lunghezza				80 [m]
Formazione				2x(1x4)+1G4
Tipo cavo (Fase e Neutro)				Multipolare
Isolante (Fase e Neutro)				EPR/XLPE
Materiale conduttore (Fase e Neutro)				Cu
Sezione Fase		1 x	4,0	[mm] <sup>2</sup>
Sezione N		1 x	4,0	[mm] <sup>2</sup>
Tipo Cavo (PE)				Anima di cavo multipolare
Isolante (PE)				XLPE/EPR
Materiale conduttore (PE)				Cu
Sezione PE				4,0 [mm] <sup>2</sup>
Corrente di impiego				4,8 [A]
Corrente imposta dall'utente				[A]
Portata				28,0 [A]
Caduta di tensione				1,46 [%]
Temperatura di lavoro				31,8 [°C]
Norma di riferimento				CEI 64-8
Modalità di posa				Montaggio sporgente
				In canali
				Orizzontali
Particolari di posa:				
Numero di passerelle				
Cavi in fascio				
Numero di conduttori adiacenti di altri circuiti				3
Conduttori adiacenti di sezione diversa				
Numero di strati				1
Numero di condotti				1
Resistenza termica del terreno				1 [mK/W]
Installazione in locali con pericolo d'incendio				
Coefficiente di correzione utente				1,30
Ik max				2,110 [kA]
Ik min				0,152 [kA]
Protezione				
Protetto dal sovraccarico da:		-QF9		Ok
Protetto dal corto circuito da:		-QF9		Ok
Protetto dai contatti indiretti da:		-QF9		Ok

## Elenco dei cavi

Cavo	-WC8	-	Alim HUB TD	
Lunghezza				20 [m]
Formazione				2x(1x4)+1G4
Tipo cavo (Fase e Neutro)				Multipolare
Isolante (Fase e Neutro)				EPR/XLPE
Materiale conduttore (Fase e Neutro)				Cu
Sezione Fase		1 x	4,0	[mm] <sup>2</sup>
Sezione N		1 x	4,0	[mm] <sup>2</sup>
Tipo Cavo (PE)				Anima di cavo multipolare
Isolante (PE)				XLPE/EPR
Materiale conduttore (PE)				Cu
Sezione PE				4,0 [mm] <sup>2</sup>
Corrente di impiego				4,8 [A]
Corrente imposta dall'utente				[A]
Portata				28,0 [A]
Caduta di tensione				0,37 [%]
Temperatura di lavoro				31,8 [°C]
Norma di riferimento				CEI 64-8
Modalità di posa				Montaggio sporgente
				In canali
				Orizzontali
Particolari di posa:				
Numero di passerelle				
Cavi in fascio				
Numero di conduttori adiacenti di altri circuiti				3
Conduttori adiacenti di sezione diversa				
Numero di strati				1
Numero di condotti				1
Resistenza termica del terreno				1 [mK/W]
Installazione in locali con pericolo d'incendio				
Coefficiente di correzione utente				1,30
Ik max				2,110 [kA]
Ik min				0,191 [kA]
Protezione				
Protetto dal sovraccarico da:		-QF10		Ok
Protetto dal corto circuito da:		-QF10		Ok
Protetto dai contatti indiretti da:		-QF10		Ok

Correnti di corto circuito alle sbarre secondo IEC 60909-1

Sbarra	-B1			
I <sup>"k</sup> FFF				5,331 [kA]
I <sub>k</sub> FFF				5,331 [kA]
I <sub>p</sub> FFF				7,866 [kA]
	10 [ms]	20 [ms]	70 [ms]	100 [ms]
I <sub>b</sub> FFF	5,331	5,331	5,331	5,331 [kA]
I <sub>dc</sub> FFF	0,150	0,003		[kA]
I <sub>basym</sub> FFF	5,333	5,331	5,331	5,331 [kA]
I <sup>"k</sup> FF				4,617 [kA]
I <sub>k</sub> FF				4,617 [kA]
I <sub>p</sub> FF				6,812 [kA]
	10 [ms]	20 [ms]	70 [ms]	100 [ms]
I <sub>b</sub> FF	4,617	4,617	4,617	4,617 [kA]
I <sub>dc</sub> FF	0,130	0,003		[kA]
I <sub>basym</sub> FF	4,619	4,617	4,617	4,617 [kA]
I <sup>"k</sup> FG				0,220 [kA]
I <sub>k</sub> FG				0,220 [kA]
I <sub>p</sub> FG				0,324 [kA]
	10 [ms]	20 [ms]	70 [ms]	100 [ms]
I <sub>b</sub> FG	0,220	0,220	0,220	0,220 [kA]
I <sub>dc</sub> FG				[kA]
I <sub>basym</sub> FG	0,220	0,220	0,220	0,220 [kA]
I <sup>"k</sup> FN				2,148 [kA]
I <sub>k</sub> FN				2,148 [kA]
I <sub>p</sub> FN				3,170 [kA]
	10 [ms]	20 [ms]	70 [ms]	100 [ms]
I <sub>b</sub> FN	2,148	2,148	2,148	2,148 [kA]
I <sub>dc</sub> FN	0,002	0,000		[kA]
I <sub>basym</sub> FN	2,148	2,148	2,148	2,148 [kA]

Correnti di corto circuito alle sbarre secondo IEC 60909-1

Sbarra	-B2			
I <sup>"k</sup> FFF				5,133 [kA]
I <sub>k</sub> FFF				5,133 [kA]
I <sub>p</sub> FFF				7,539 [kA]
	10 [ms]	20 [ms]	70 [ms]	100 [ms]
I <sub>b</sub> FFF	5,133	5,133	5,133	5,133 [kA]
I <sub>dc</sub> FFF	0,113	0,002		[kA]
I <sub>basym</sub> FFF	5,134	5,133	5,133	5,133 [kA]
I <sup>"k</sup> FF				4,445 [kA]
I <sub>k</sub> FF				4,445 [kA]
I <sub>p</sub> FF				6,529 [kA]
	10 [ms]	20 [ms]	70 [ms]	100 [ms]
I <sub>b</sub> FF	4,445	4,445	4,445	4,445 [kA]
I <sub>dc</sub> FF	0,098	0,002		[kA]
I <sub>basym</sub> FF	4,446	4,445	4,445	4,445 [kA]
I <sup>"k</sup> FG				0,219 [kA]
I <sub>k</sub> FG				0,219 [kA]
I <sub>p</sub> FG				0,322 [kA]
	10 [ms]	20 [ms]	70 [ms]	100 [ms]
I <sub>b</sub> FG	0,219	0,219	0,219	0,219 [kA]
I <sub>dc</sub> FG				[kA]
I <sub>basym</sub> FG	0,219	0,219	0,219	0,219 [kA]
I <sup>"k</sup> FN				2,110 [kA]
I <sub>k</sub> FN				2,110 [kA]
I <sub>p</sub> FN				3,098 [kA]
	10 [ms]	20 [ms]	70 [ms]	100 [ms]
I <sub>b</sub> FN	2,110	2,110	2,110	2,110 [kA]
I <sub>dc</sub> FN	0,001	0,000		[kA]
I <sub>basym</sub> FN	2,110	2,110	2,110	2,110 [kA]

Correnti di corto circuito alle sbarre secondo IEC 60909-1

Sbarra	-B3			
I"k FFF				5,734 [kA]
Ik FFF				5,734 [kA]
Ip FFF				8,540 [kA]
	10 [ms]	20 [ms]	70 [ms]	100 [ms]
Ib FFF	5,734	5,734	5,734	5,734 [kA]
Idc FFF	0,234	0,007		[kA]
Ibasym FFF	5,738	5,734	5,734	5,734 [kA]
I"k FF				4,965 [kA]
Ik FF				4,965 [kA]
Ip FF				7,396 [kA]
	10 [ms]	20 [ms]	70 [ms]	100 [ms]
Ib FF	4,965	4,965	4,965	4,965 [kA]
Idc FF	0,203	0,006		[kA]
Ibasym FF	4,970	4,965	4,965	4,965 [kA]
I"k FG				0,221 [kA]
Ik FG				0,221 [kA]
Ip FG				0,329 [kA]
	10 [ms]	20 [ms]	70 [ms]	100 [ms]
Ib FG	0,221	0,221	0,221	0,221 [kA]
Idc FG				[kA]
Ibasym FG	0,221	0,221	0,221	0,221 [kA]
I"k FN				2,343 [kA]
Ik FN				2,343 [kA]
Ip FN				3,490 [kA]
	10 [ms]	20 [ms]	70 [ms]	100 [ms]
Ib FN	2,343	2,343	2,343	2,343 [kA]
Idc FN	0,003	0,000		[kA]
Ibasym FN	2,343	2,343	2,343	2,343 [kA]

## Elenco degli interruttori

Interruttore	-QF3		
Codice	S529259		
Descrizione	S204-C40		
Tensione nominale			400 [V]
Temperatura			40 [°C]
Corrente di impiego			34,6 [A]
Icu 60947-2	10,00 [kA] @ 400 [V]	Ics	7,50 [kA] @ 400 [V]
Tipo relè:			TM
Corrente nominale @ 40 [°C]			38 [A]
Corrente magnetica			400 [A]
Impostazioni relè termomagnetico			
Taratura termica			[A]
Corrente prima del guasto			34,6 [A]
Taratura magnetica			[A]
Impostazioni relè elettronico			
Funzione L :	L=	t=	
Funzione S :	S=	t=	Selettività di zona:
Funzione I :	I =		
Funzione G :	G=	t=	Selettività di zona:
Funzione LR :	LR=		
Funzione U :			
Blocco differenziale			
Codice			
Descrizione			
Taratura		Id=	[mA]
		t =	[s]

Interruttore -QF4

Codice S590815

Descrizione S204P-C32

Tensione nominale 400 [V]

Temperatura 40 [°C]

Corrente di impiego 17,6 [A]

Icu 60947-2 15,00 [kA] @ 400 [V] Ics 10,00 [kA] @ 400 [V]

Tipo relè: TM

Corrente nominale @ 40 [°C] 30 [A]

Corrente magnetica 320 [A]

Impostazioni relè termomagnetico

Taratura termica [A]

Corrente prima del guasto 17,6 [A]

Taratura magnetica [A]

Impostazioni relè elettronico

Funzione L : L= t=

Funzione S : S= t=

Funzione I : I =

Funzione G : G= t=

Funzione LR : LR=

Funzione U :

Selettività di zona:

Selettività di zona:

Blocco differenziale

Codice

Descrizione

Taratura Id= [mA]

t = [s]

Interruttore -QF1

Codice 1SDA048992R1

Descrizione S1E 125 R125

Tensione nominale 400 [V]

Temperatura 40 [°C]

Corrente di impiego 77,9 [A]

Icu 60947-2 10,00 [kA] @ 400 [V] Ics 5,00 [kA] @ 400 [V]

Tipo relè: TM

Corrente nominale @ 40 [°C] 125 [A]

Corrente magnetica 1250 [A]

Impostazioni relè termomagnetico

Taratura termica [A]

Corrente prima del guasto 77,9 [A]

Taratura magnetica [A]

Impostazioni relè elettronico

Funzione L : L= t=

Funzione S : S= t=

Funzione I : I=

Funzione G : G= t=

Funzione LR : LR=

Funzione U :

Selettività di zona:

Selettività di zona:

Blocco differenziale

Codice 1SDA037393R1

Descrizione RCQ

Taratura Id= 30 [mA]

t = 0,04 [s]

Interruttore -QF2

Codice 1SDA050889R1

Descrizione T1B 160 TMD100-1000

Tensione nominale 400 [V]

Temperatura 40 [°C]

Corrente di impiego 77,9 [A]

Icu 60947-2 16,00 [kA] @ 400 [V] Ics 0,00 [kA] @ 400 [V]

Tipo relè: TM

Corrente nominale @ 40 [°C] 100 [A]

Corrente magnetica 1000 [A]

Impostazioni relè termomagnetico

Taratura termica 85,0 [A]

Corrente prima del guasto 77,9 [A]

Taratura magnetica [A]

Impostazioni relè elettronico

Funzione L : L= t=

Funzione S : S= t=

Funzione I : I =

Funzione G : G= t=

Funzione LR : LR=

Funzione U :

Selettività di zona:

Selettività di zona:

Blocco differenziale

Codice 1SDA051401R1

Descrizione RC221/1

Taratura Id= 30 [mA]

t = 0,04 [s]

Interruttore -QF5

Codice 1SDA017517R1

Descrizione S4H 250 PR211-LI R250

Tensione nominale 400 [V]

Temperatura 40 [°C]

Corrente di impiego 34,6 [A]

Icu 60947-2 65,00 [kA] @ 400 [V] Ics 65,00 [kA] @ 400 [V]

Tipo relè: ELT

Corrente nominale @ 40 [°C] 250 [A]

Corrente magnetica 3000 [A]

Impostazioni relè termomagnetico

Taratura termica [A]

Corrente prima del guasto [A]

Taratura magnetica [A]

Impostazioni relè elettronico

Funzione L : On L= 0,40 t= C

Funzione S : Off S= t= Selettività di zona:

Funzione I : On I= 2

Funzione G : Off G= t= Selettività di zona:

Funzione LR : Off LR=

Funzione U : Off

Blocco differenziale

Codice 1SDA037393R1

Descrizione RCQ

Taratura Id= 30 [mA]

t = 0,04 [s]

Interruttore -QF6 Circuito tipo luce

Codice S598460

Descrizione S202L-C10

Tensione nominale 231 [V]

Temperatura 40 [°C]

Corrente di impiego 5,8 [A]

Icu 60947-2 10,00 [kA] @ 231 [V] Ics 0,00 [kA] @ 231 [V]

Tipo relè: TM

Corrente nominale @ 40 [°C] 9 [A]

Corrente magnetica 100 [A]

Impostazioni relè termomagnetico

Taratura termica [A]

Corrente prima del guasto 5,8 [A]

Taratura magnetica [A]

Impostazioni relè elettronico

Funzione L : L= t=

Funzione S : S= t=

Selettività di zona:

Funzione I : I =

Funzione G : G= t=

Selettività di zona:

Funzione LR : LR=

Funzione U :

Blocco differenziale

Codice B427911

Descrizione DDA202 AC-25/0,03

Taratura Id= 30 [mA]

t = 0,04 [s]

Interruttore -QF7 Circuito tipo FM

Codice S598484

Descrizione S202L-C16

Tensione nominale 231 [V]

Temperatura 40 [°C]

Corrente di impiego 1,9 [A]

Icu 60947-2 10,00 [kA] @ 231 [V] Ics 7,50 [kA] @ 231 [V]

Tipo relè: TM

Corrente nominale @ 40 [°C] 15 [A]

Corrente magnetica 160 [A]

Impostazioni relè termomagnetico

Taratura termica [A]

Corrente prima del guasto 1,9 [A]

Taratura magnetica [A]

Impostazioni relè elettronico

Funzione L : L= t=

Funzione S : S= t=

Selettività di zona:

Funzione I : I =

Funzione G : G= t=

Selettività di zona:

Funzione LR : LR=

Funzione U :

Blocco differenziale

Codice B427911

Descrizione DDA202 AC-25/0,03

Taratura Id= 30 [mA]

t = 0,04 [s]

Interruttore -QF9 Circuito tipo fan-coil

Codice S598484

Descrizione S202L-C16

Tensione nominale 231 [V]

Temperatura 40 [°C]

Corrente di impiego 4,8 [A]

Icu 60947-2 10,00 [kA] @ 231 [V] Ics 7,50 [kA] @ 231 [V]

Tipo relè: TM

Corrente nominale @ 40 [°C] 15 [A]

Corrente magnetica 160 [A]

Impostazioni relè termomagnetico

Taratura termica [A]

Corrente prima del guasto 4,8 [A]

Taratura magnetica [A]

Impostazioni relè elettronico

Funzione L : L= t=

Funzione S : S= t=

Selettività di zona:

Funzione I : I =

Funzione G : G= t=

Selettività di zona:

Funzione LR : LR=

Funzione U :

Blocco differenziale

Codice B427911

Descrizione DDA202 AC-25/0,03

Taratura Id= 30 [mA]

t = 0,04 [s]

Interruttore -QF10 Alim HUB TD

Codice S598484

Descrizione S202L-C16

Tensione nominale 231 [V]

Temperatura 40 [°C]

Corrente di impiego 4,8 [A]

Icu 60947-2 10,00 [kA] @ 231 [V] Ics 7,50 [kA] @ 231 [V]

Tipo relè: TM

Corrente nominale @ 40 [°C] 15 [A]

Corrente magnetica 160 [A]

#### Impostazioni relè termomagnetico

Taratura termica [A]

Corrente prima del guasto 4,8 [A]

Taratura magnetica [A]

#### Impostazioni relè elettronico

Funzione L : L= t=

Funzione S : S= t=

Funzione I : I =

Funzione G : G= t=

Funzione LR : LR=

Funzione U :

Selettività di zona:

Selettività di zona:

#### Blocco differenziale

Codice B427911

Descrizione DDA202 AC-25/0,03

Taratura Id= 30 [mA]

t = 0,04 [s]

Interruttore -QF8 Alim. gruppo frigo

Codice S601818

Descrizione S204P-D25

Tensione nominale 400 [V]

Temperatura 40 [°C]

Corrente di impiego 16,0 [A]

Icu 60947-2 25,00 [kA] @ 400 [V] Ics 12,50 [kA] @ 400 [V]

Tipo relè: TM

Corrente nominale @ 40 [°C] 24 [A]

Corrente magnetica 500 [A]

#### Impostazioni relè termomagnetico

Taratura termica [A]

Corrente prima del guasto 16,0 [A]

Taratura magnetica [A]

#### Impostazioni relè elettronico

Funzione L : L= t=

Funzione S : S= t=

Funzione I : I =

Funzione G : G= t=

Funzione LR : LR=

Funzione U :

Selettività di zona:

Selettività di zona:

#### Blocco differenziale

Codice B427948

Descrizione DDA204 AC-25/0,5

Taratura Id= 500 [mA]

t = 0,04 [s]

## **CALCOLI ILLUMINOTECNICI**

Progetto : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
Data : 15/11/2005  
Nome Cliente : Provincia di Pistoia  
Ambiente : Aula tipo 1  
Area di calcolo : Aula totale

Parametri di progetto

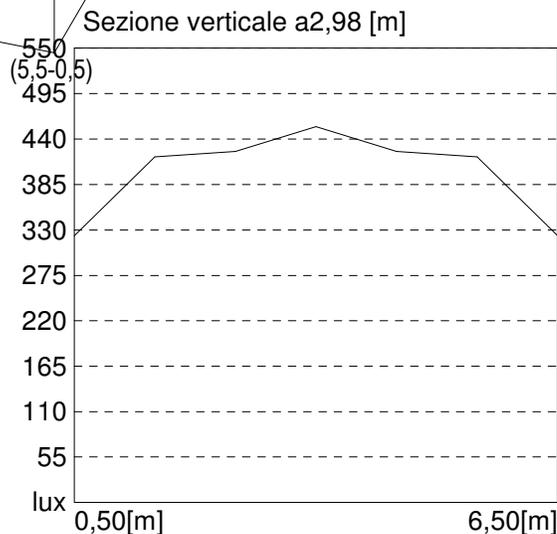
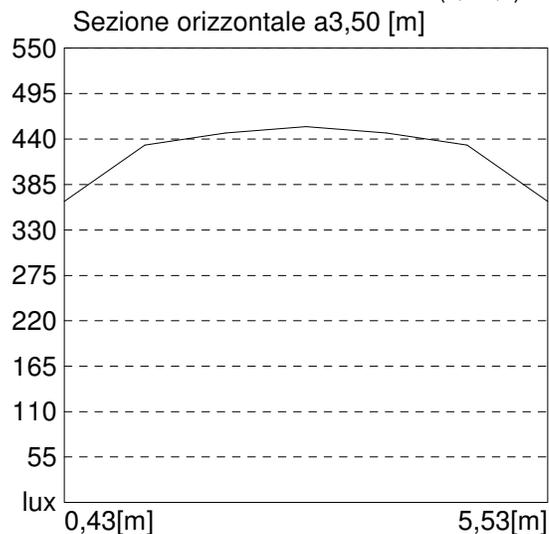
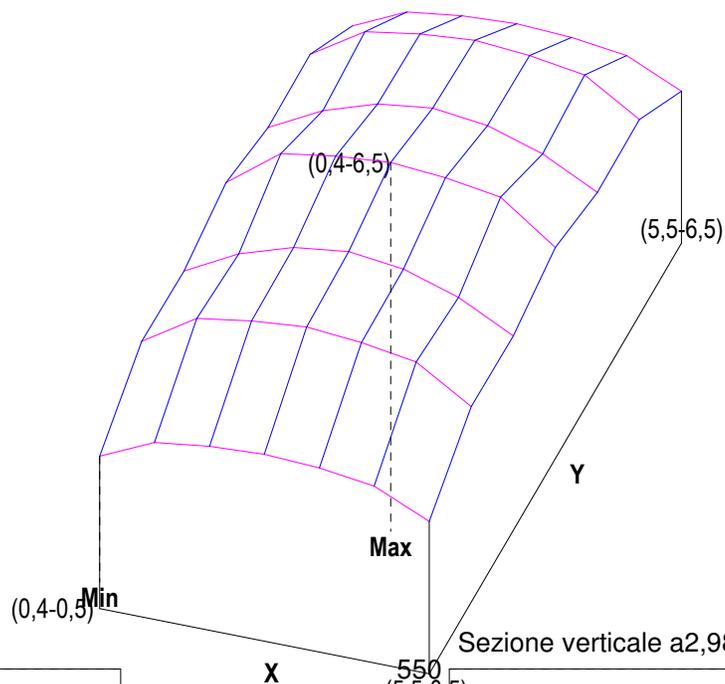
Dimensioni dell' ambiente	Parametri di calcolo	Reticolo di calcolo
X [m] : 5,95 Y [m] : 7,00 Z [m] : 3,15	H piano lavoro [m] : 0,85 Larghezza fascia [m] : 0,00 C. manutenzione : 0,80	X : 7 Y : 7 Z : 3
Coeff. Riflessione (%)	Illuminamenti medi [lux]	Valori sul piano di lavoro
Piano di lavoro : 30 Soffitto : 70 Parete Est : 50 Parete Nord : 50 Parete Ovest : 50 Parete Sud : 50	Piano di lavoro : 366 Soffitto : 103 Parete Est : 124 Parete Nord : 114 Parete Ovest : 124 Parete Sud : 114	Lumen per m <sup>2</sup> : 777,91 Watt per m <sup>2</sup> : 10,37
		UGR Longitud. : 17,16 UGR Trasvers. : 16,33

Totale apparecchi installati 6 con 24 lampade ( Flusso totale [Klm] 32,40 [klm] )							
N°	Apparecchio	N°	Lampada	Flusso	N°	Lampada	Flusso
6	873 FL 4X18	24	FL18/4/3B	32,40	0		0,00

**Progetto** : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
**Data** : 15/11/2005  
**Nome Cliente** : Provincia di Pistoia  
**Ambiente** : Aula tipo 1  
**Area di calcolo** : Aula totale

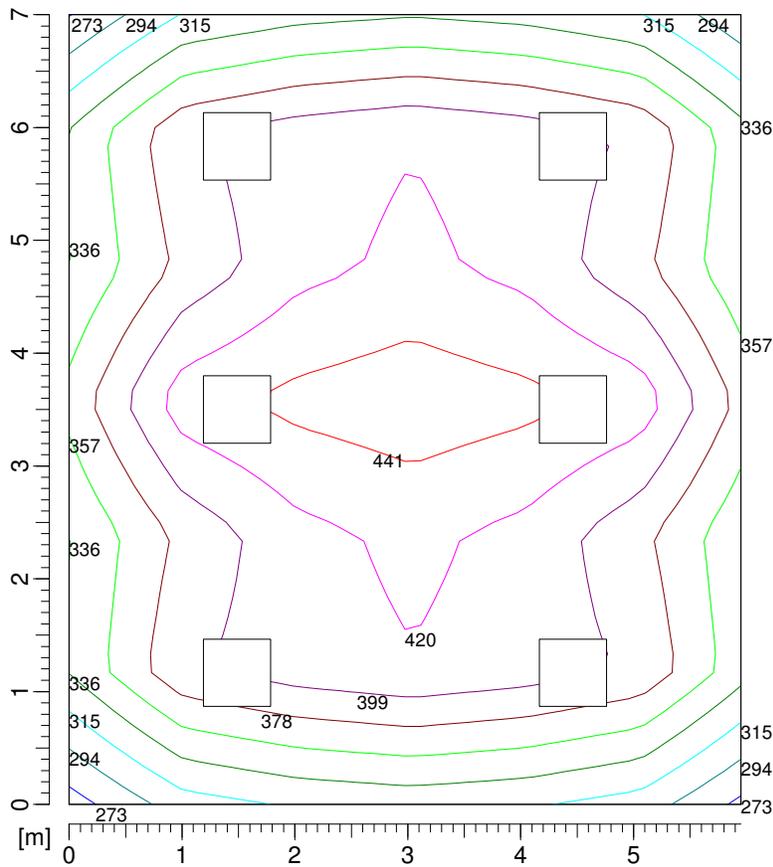
Isolux 3D sul piano di lavoro

Illuminamento	X [m]	Y [m]	E [lux]
Minimo	0,43	0,50	263,04
Massimo	2,98	3,50	454,83



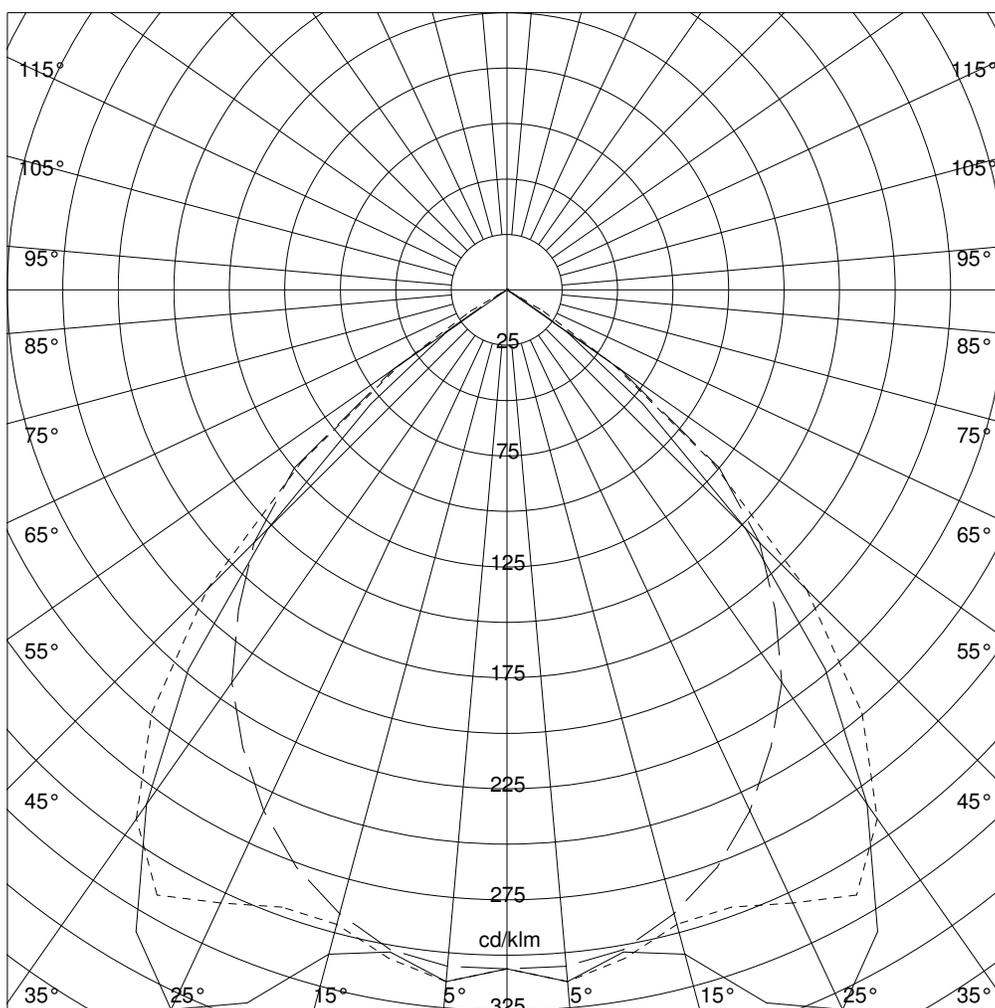
Progetto : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
Data : 15/11/2005  
Nome Cliente : Provincia di Pistoia  
Ambiente : Aula tipo 1  
Area di calcolo : Aula totale

Isolux Piano di lavoro



Valori delle sezioni [lux]					
	273,0		336,0		399,0
	294,0		357,0		420,0
	315,0		378,0		441,0

## Diagramma polare 873 FL 4X18



$\eta_i=60.9\%$     $\eta_s=0.0\%$     $\eta_{tot}=60.9\%$

BZ=2/4.0-2

UTE=0.61B

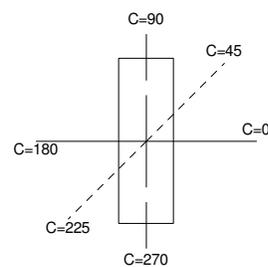
CIE Flux Code [N1...N5]      72   100   100   100   61

CIBSE LG3 CAT2

K      0.6   0.8   1.0   1.3   1.5   2.0   2.5   3.0   4.0   5.0   10.   20.

DDR   .48   .58   .65   .72   .77   .84   .87   .90   .92   .94   .96   .97

RSC   2   2   2   2   2   1   1   1   1   2   2   3



**Progetto** : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
**Data** : 15/11/2005  
**Nome Cliente** : Provincia di Pistoia  
**Ambiente** : Aula tipo 2  
**Area di calcolo** : Aula totale

Parametri di progetto

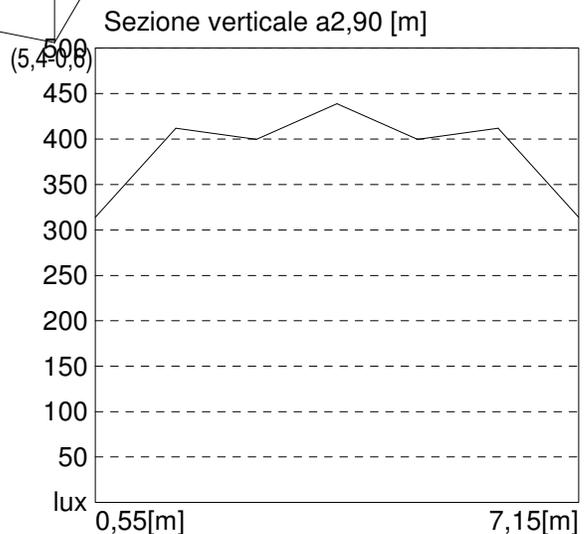
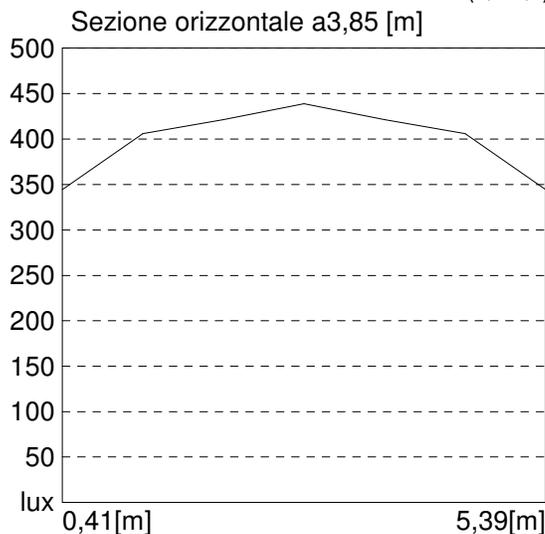
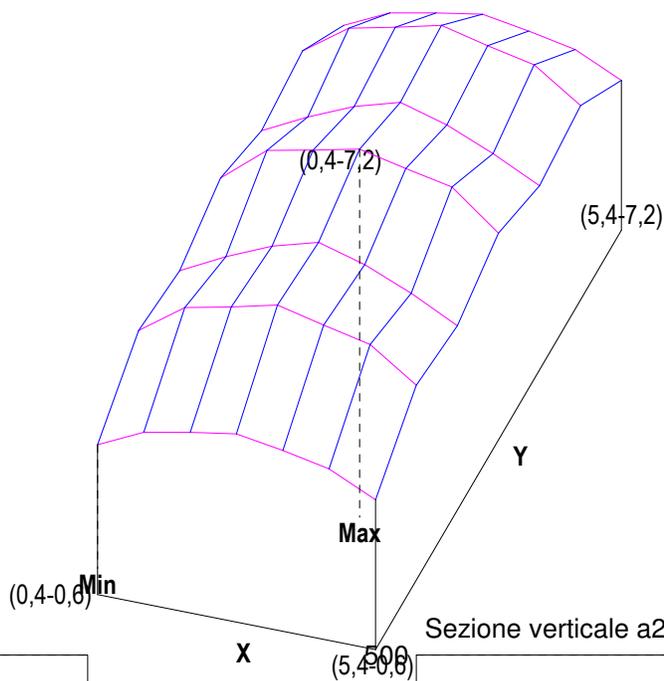
<b>Dimensioni dell' ambiente</b> X [m] : 5,80 Y [m] : 7,70 Z [m] : 3,15	<b>Parametri di calcolo</b> H piano lavoro [m] : 0,85 Larghezza fascia [m] : 0,00 C. manutenzione : 0,80	<b>Reticolo di calcolo</b> X : 7 Y : 7 Z : 3
<b>Coeff. Riflessione (%)</b> Piano di lavoro : 30 Soffitto : 70 Parete Est : 50 Parete Nord : 50 Parete Ovest : 50 Parete Sud : 50	<b>Illuminamenti medi [lux]</b> Piano di lavoro : 344 Soffitto : 98 Parete Est : 122 Parete Nord : 103 Parete Ovest : 122 Parete Sud : 103	<b>Valori sul piano di lavoro</b> Lumen per m <sup>2</sup> : 725,48 Watt per m <sup>2</sup> : 9,67 UGR Longitud. : 17,00 UGR Trasvers. : 16,62

Totale apparecchi installati 6 con 24 lampade ( Flusso totale [Klm] 32,40 [klm] )							
N°	Apparecchio	N°	Lampada	Flusso	N°	Lampada	Flusso
6	873 FL 4X18	24	FL18/4/3B	32,40	0		0,00

**Progetto** : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
**Data** : 15/11/2005  
**Nome Cliente** : Provincia di Pistoia  
**Ambiente** : Aula tipo 2  
**Area di calcolo** : Aula totale

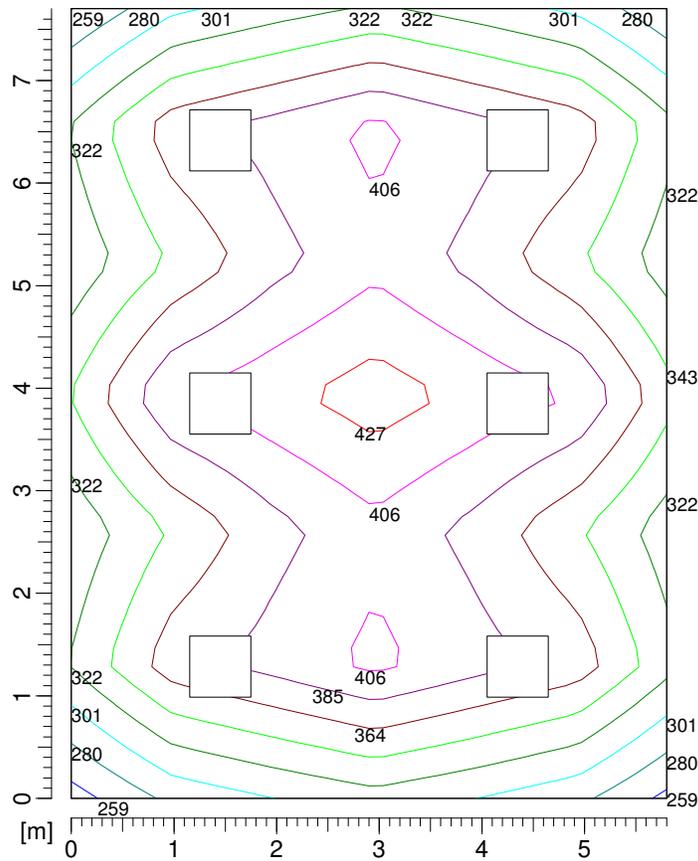
Isolux 3D sul piano di lavoro

Illuminamento	X [m]	Y [m]	E [lux]
Minimo	0,41	0,55	249,62
Massimo	2,90	3,85	438,65



Progetto : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
Data : 15/11/2005  
Nome Cliente : Provincia di Pistoia  
Ambiente : Aula tipo 2  
Area di calcolo : Aula totale

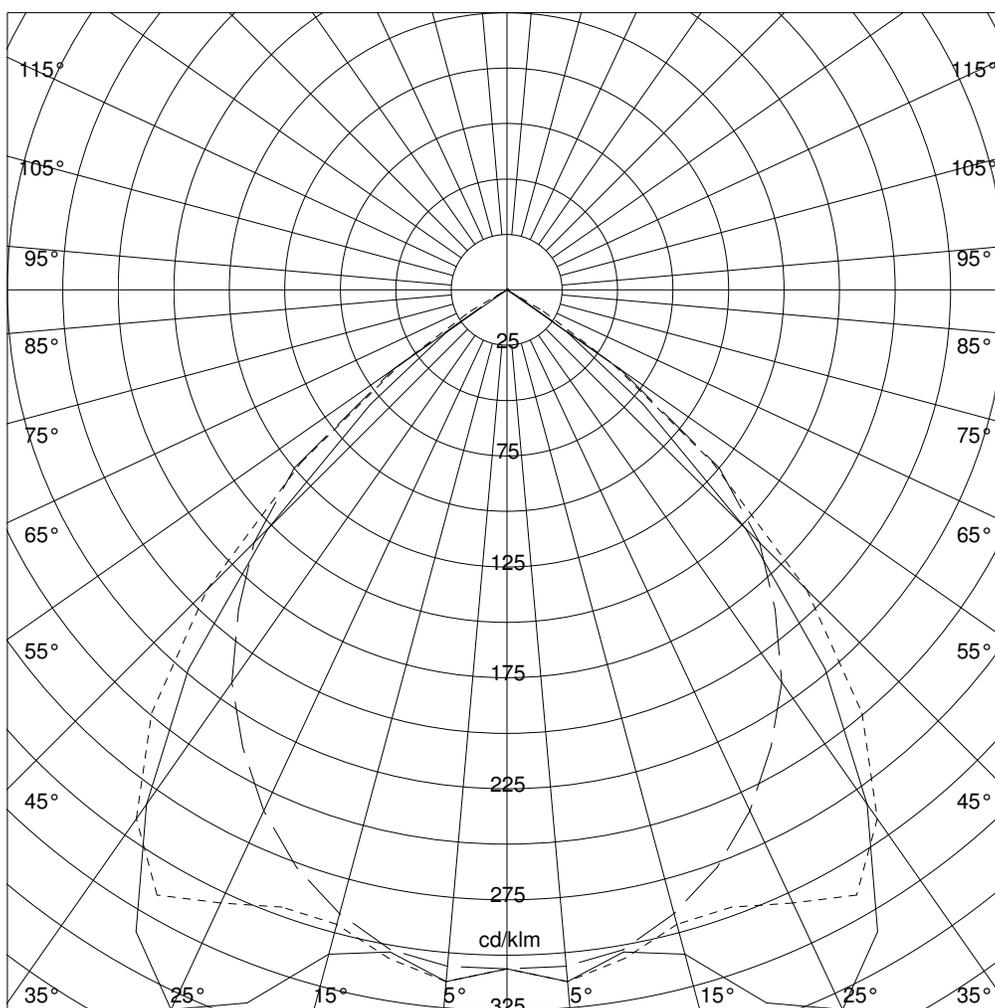
Isolux Piano di lavoro



Valori delle sezioni [lux]

	259,0		322,0		385,0
	280,0		343,0		406,0
	301,0		364,0		427,0

## Diagramma polare 873 FL 4X18



$\eta_i=60.9\%$     $\eta_s=0.0\%$     $\eta_{tot}=60.9\%$

BZ=2/4.0-2

UTE=0.61B

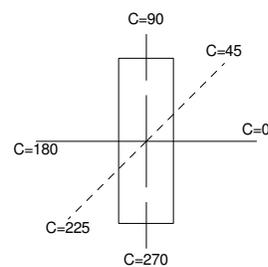
CIE Flux Code [N1...N5]      72   100   100   100   61

CIBSE LG3 CAT2

K      0.6   0.8   1.0   1.3   1.5   2.0   2.5   3.0   4.0   5.0   10.   20.

DDR   .48   .58   .65   .72   .77   .84   .87   .90   .92   .94   .96   .97

RSC   2   2   2   2   2   1   1   1   1   2   2   3



**Progetto** : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
**Data** : 15/11/2005  
**Nome Cliente** : Provincia di Pistoia  
**Ambiente** : Sala insegnanti  
**Area di calcolo** : Aula totale

**Parametri di progetto**

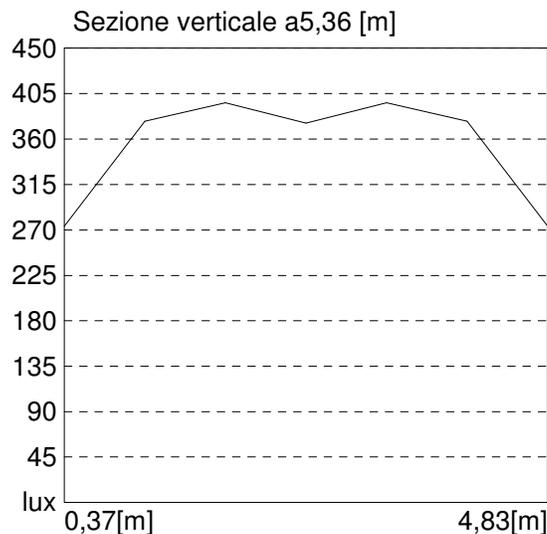
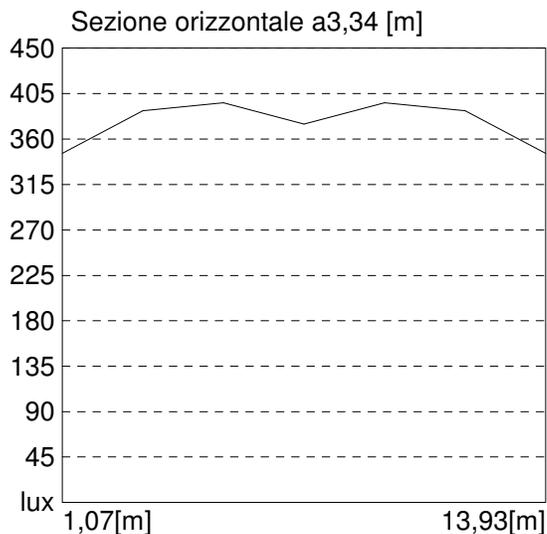
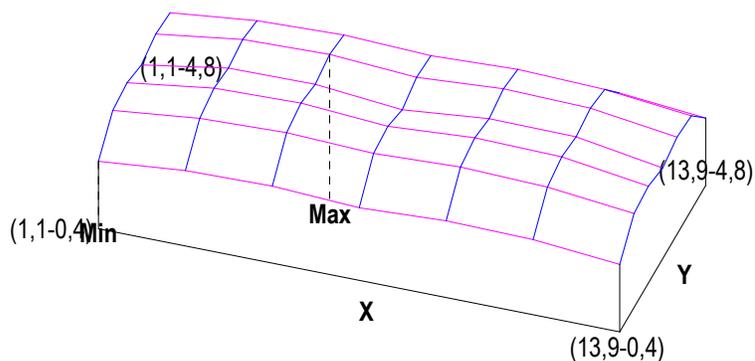
Dimensioni dell' ambiente	Parametri di calcolo	Reticolo di calcolo
X [m] : 15,00 Y [m] : 5,20 Z [m] : 3,15	H piano lavoro [m] : 0,85 Larghezza fascia [m] : 0,00 C. manutenzione : 0,80	X : 7 Y : 7 Z : 3
Coeff. Riflessione (%)	Illuminamenti medi [lux]	Valori sul piano di lavoro
Piano di lavoro : 30 Soffitto : 70 Parete Est : 50 Parete Nord : 50 Parete Ovest : 50 Parete Sud : 50	Piano di lavoro : 336 Soffitto : 97 Parete Est : 70 Parete Nord : 134 Parete Ovest : 70 Parete Sud : 134	Lumen per m <sup>2</sup> : 692,31 Watt per m <sup>2</sup> : 9,23
		UGR Longitud. : 17,04 UGR Trasvers. : 16,48

Totale apparecchi installati 10 con 40 lampade ( Flusso totale [Klm] 54,00 [klm] )							
N°	Apparecchio	N°	Lampada	Flusso	N°	Lampada	Flusso
10	873 FL 4X18	40	FL18/4/3B	54,00	0		0,00

Progetto : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
Data : 15/11/2005  
Nome Cliente : Provincia di Pistoia  
Ambiente : Sala insegnanti  
Area di calcolo : Aula totale

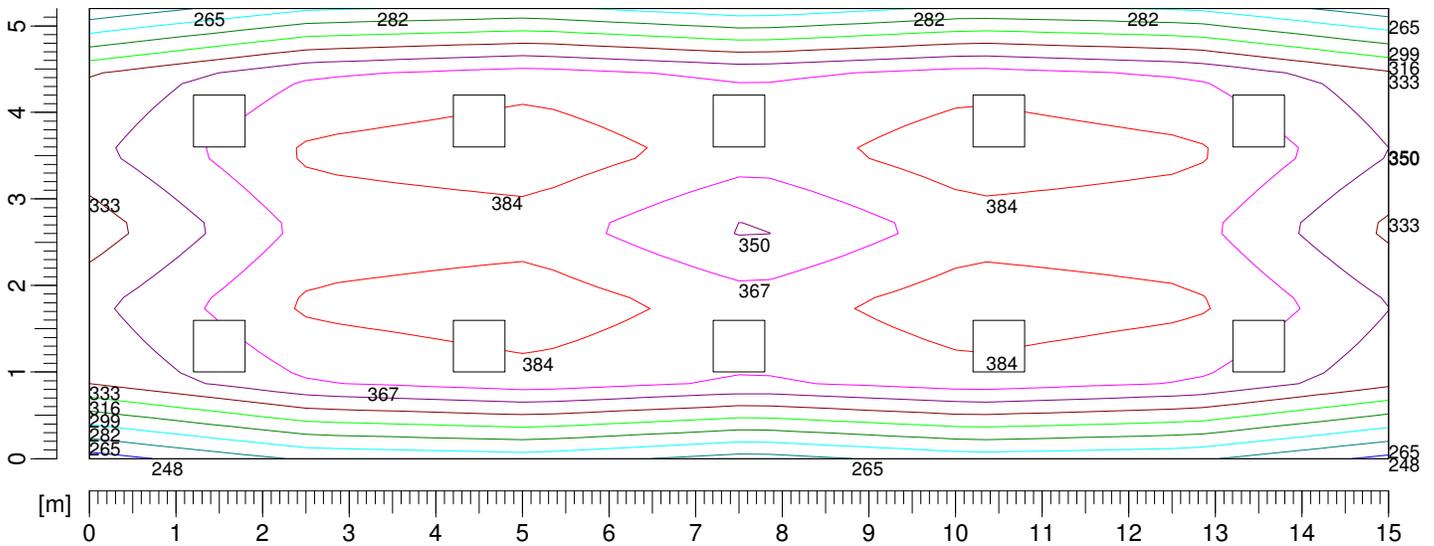
Isolux 3D sul piano di lavoro

Illuminamento	X [m]	Y [m]	E [lux]
Minimo	1,07	0,37	240,03
Massimo	5,36	3,34	395,72



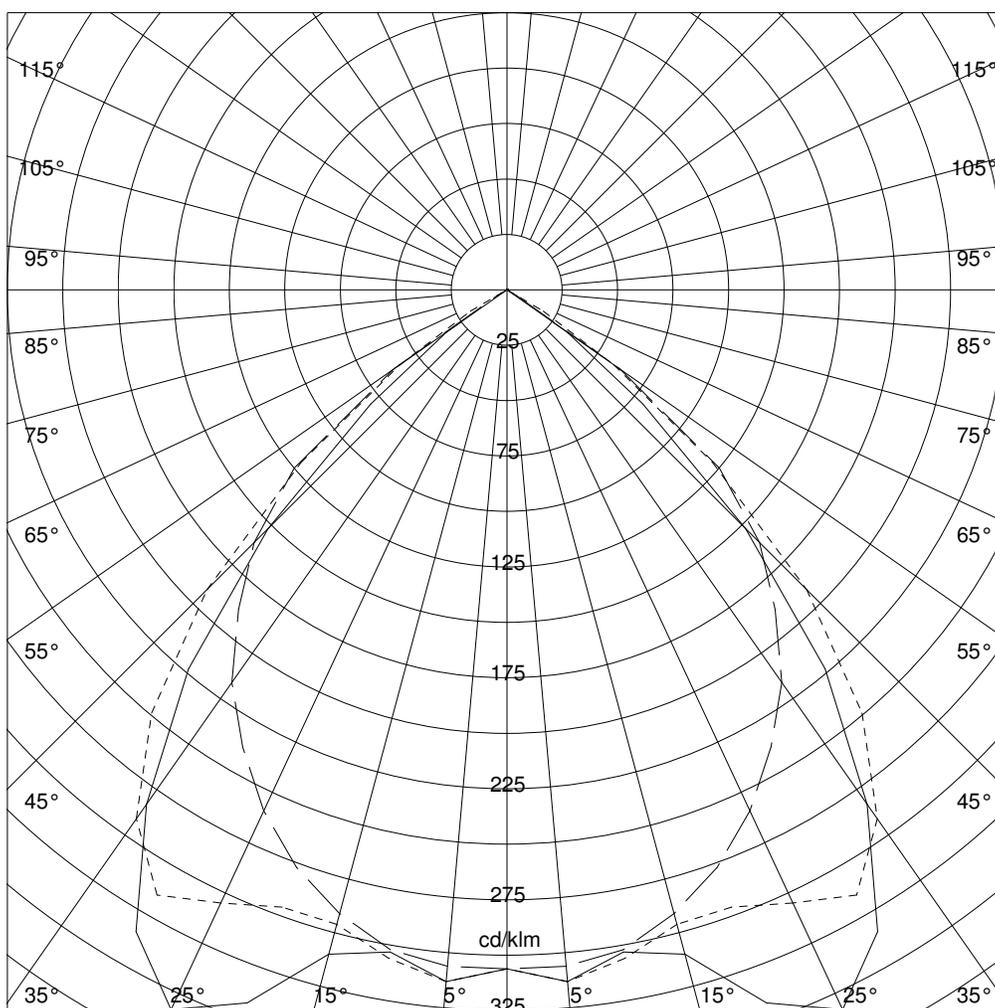
Progetto : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
Data : 15/11/2005  
Nome Cliente : Provincia di Pistoia  
Ambiente : Sala insegnanti  
Area di calcolo : Aula totale

Isolux Piano di lavoro



Valori delle sezioni [lux]					
	248,0		299,0		350,0
	265,0		316,0		367,0
	282,0		333,0		384,0

## Diagramma polare 873 FL 4X18



$\eta_i=60.9\%$     $\eta_s=0.0\%$     $\eta_{tot}=60.9\%$

BZ=2/4.0-2

UTE=0.61B

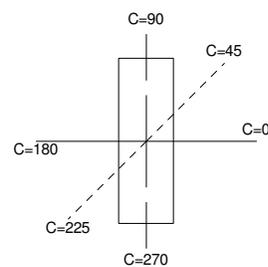
CIE Flux Code [N1...N5]      72   100   100   100   61

CIBSE LG3 CAT2

K      0.6   0.8   1.0   1.3   1.5   2.0   2.5   3.0   4.0   5.0   10.   20.

DDR   .48   .58   .65   .72   .77   .84   .87   .90   .92   .94   .96   .97

RSC   2   2   2   2   2   1   1   1   1   2   2   3



**Progetto** : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
**Data** : 15/11/2005  
**Nome Cliente** : Provincia di Pistoia  
**Ambiente** : Segreteria 1  
**Area di calcolo** : Aula totale

Parametri di progetto

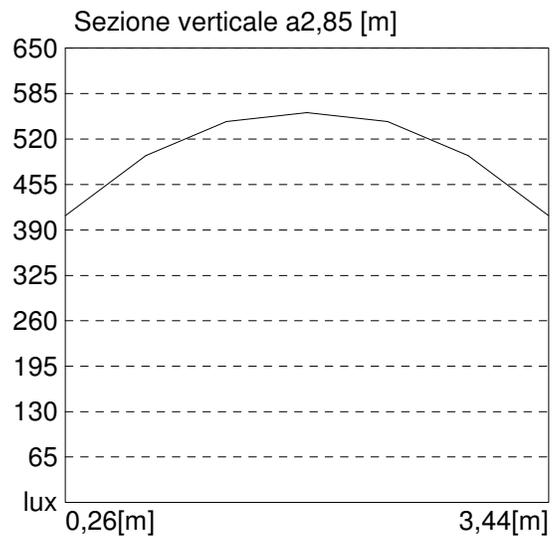
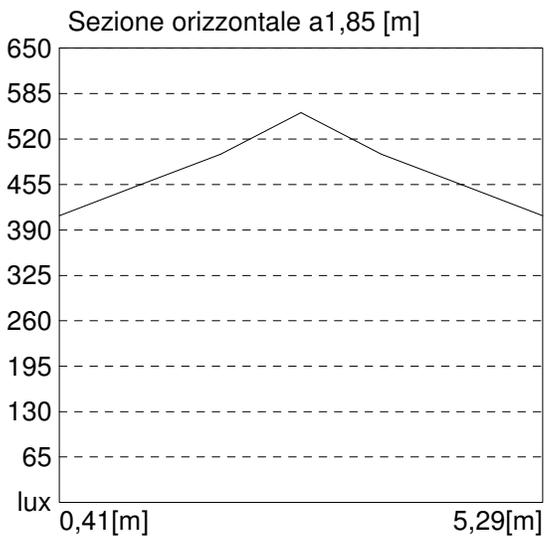
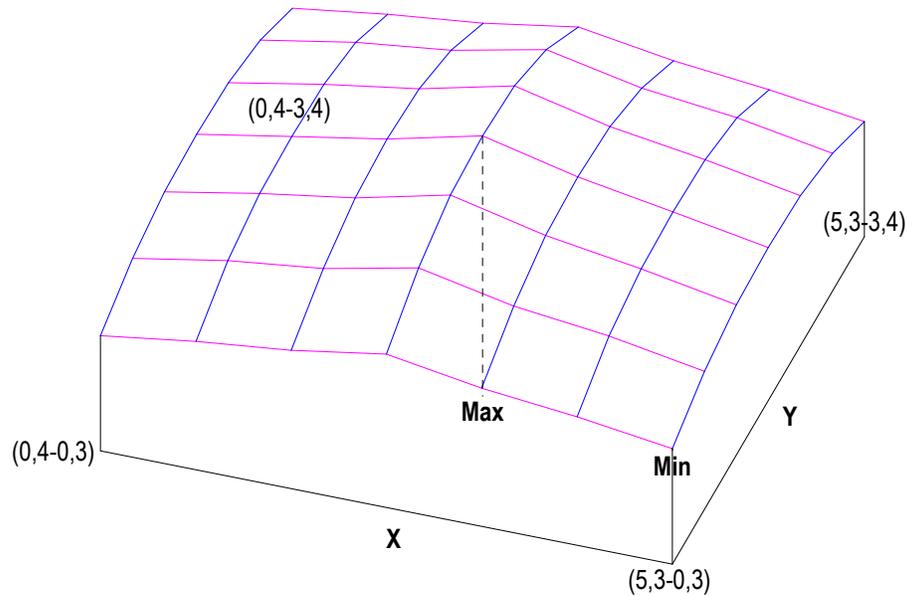
<b>Dimensioni dell' ambiente</b>  X [m] : 5,70 Y [m] : 3,70 Z [m] : 3,15	<b>Parametri di calcolo</b>  H piano lavoro [m] : 0,85 Larghezza fascia [m] : 0,00 C. manutenzione : 0,80	<b>Reticolo di calcolo</b>  X : 7 Y : 7 Z : 3
<b>Coeff. Riflessione (%)</b>  Piano di lavoro : 30 Soffitto : 70 Parete Est : 50 Parete Nord : 50 Parete Ovest : 50 Parete Sud : 50	<b>Illuminamenti medi [lux]</b>  Piano di lavoro : 419 Soffitto : 109 Parete Est : 132 Parete Nord : 174 Parete Ovest : 132 Parete Sud : 174	<b>Valori sul piano di lavoro</b>  Lumen per m <sup>2</sup> : 1024,18 Watt per m <sup>2</sup> : 13,66  UGR Longitud. : N.C. UGR Trasvers. : N.C.

Totale apparecchi installati 4 con 16 lampade ( Flusso totale [Klm] 21,60 [klm] )							
N°	Apparecchio	N°	Lampada	Flusso	N°	Lampada	Flusso
4	873 FL 4X18	16	FL18/4/3B	21,60	0		0,00

**Progetto** : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
**Data** : 15/11/2005  
**Nome Cliente** : Provincia di Pistoia  
**Ambiente** : Segreteria 1  
**Area di calcolo** : Aula totale

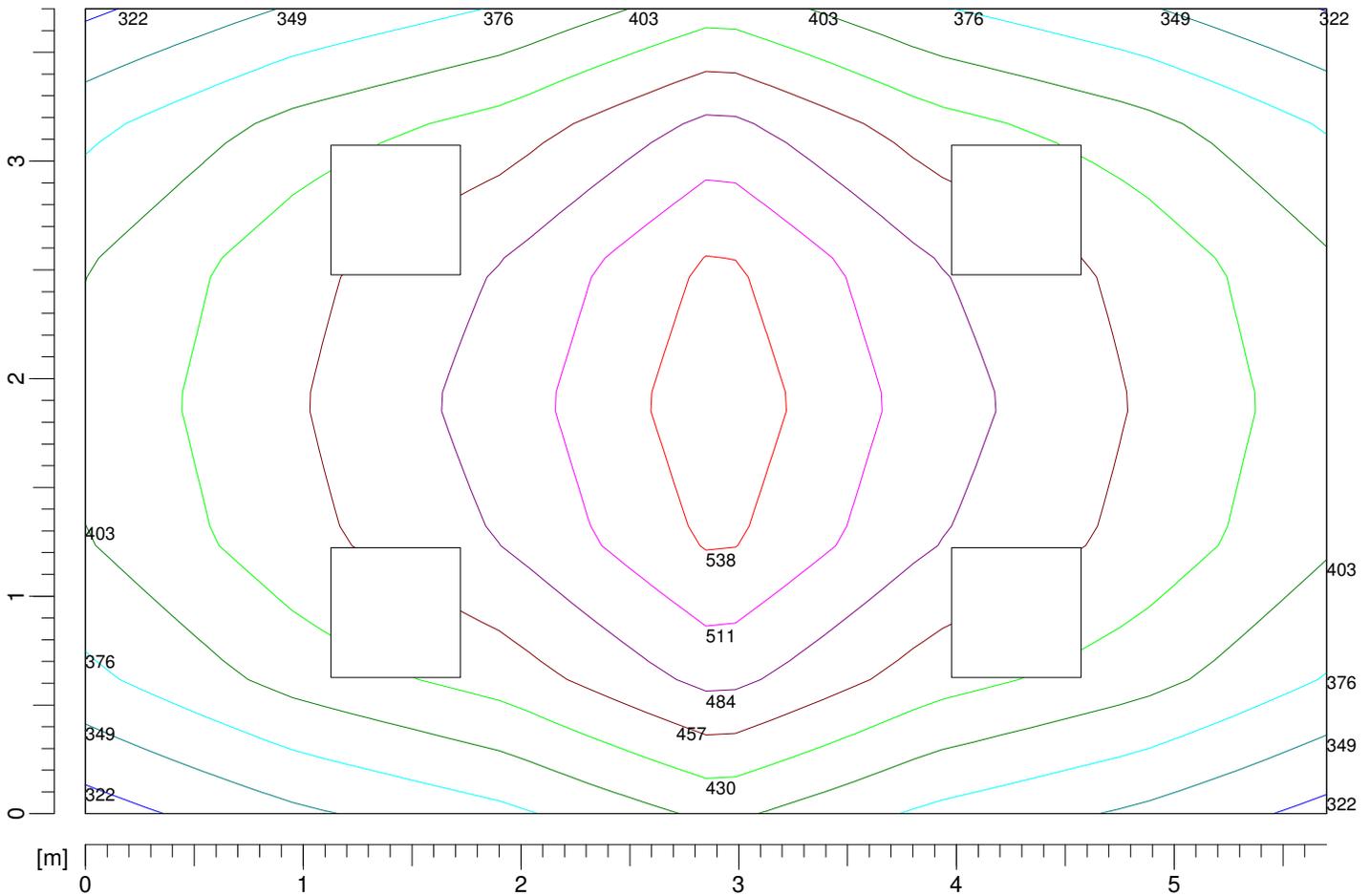
Isolux 3D sul piano di lavoro

Illuminamento	X [m]	Y [m]	E [lux]
Minimo	5,29	0,26	309,14
Massimo	2,85	1,85	557,85



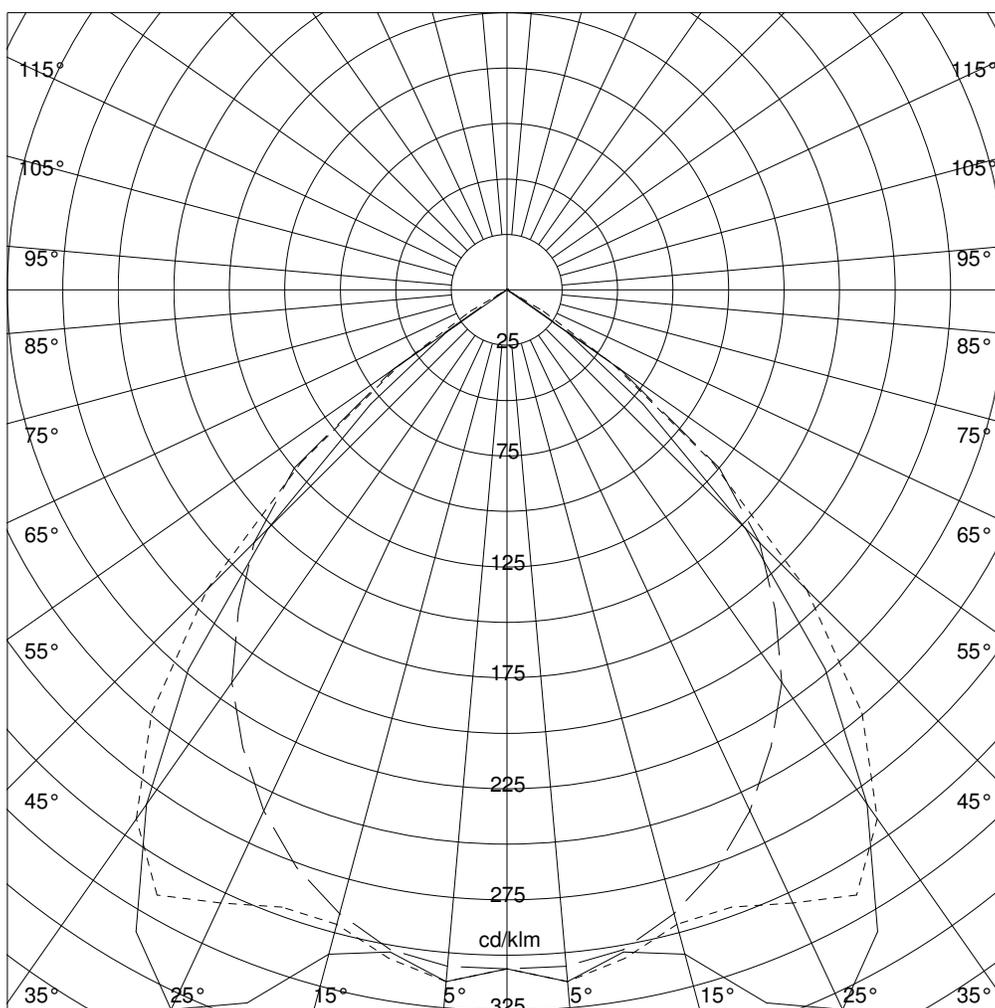
Progetto : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
Data : 15/11/2005  
Nome Cliente : Provincia di Pistoia  
Ambiente : Segreteria 1  
Area di calcolo : Aula totale

Isolux Piano di lavoro

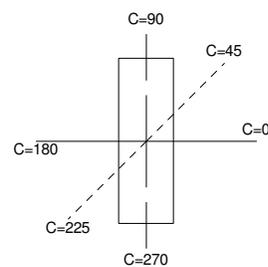


Valori delle sezioni [lux]					
	322,0		403,0		484,0
	349,0		430,0		511,0
	376,0		457,0		538,0

## Diagramma polare 873 FL 4X18



$\eta_i$	=60.9%	$\eta_s$	=0.0%	$\eta_{tot}$	=60.9%							
BZ	=2/4.0-2											
UTE	=0.61B											
CIE Flux Code [N1...N5]	72	100	100	100	61							
CIBSE LG3 CAT2												
K	0.6	0.8	1.0	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	10.	20.
DDR	.48	.58	.65	.72	.77	.84	.87	.90	.92	.94	.96	.97
RSC	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	3



**Progetto** : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
**Data** : 15/11/2005  
**Nome Cliente** : Provincia di Pistoia  
**Ambiente** : Ufficio Segretario  
**Area di calcolo** : Aula totale

Parametri di progetto

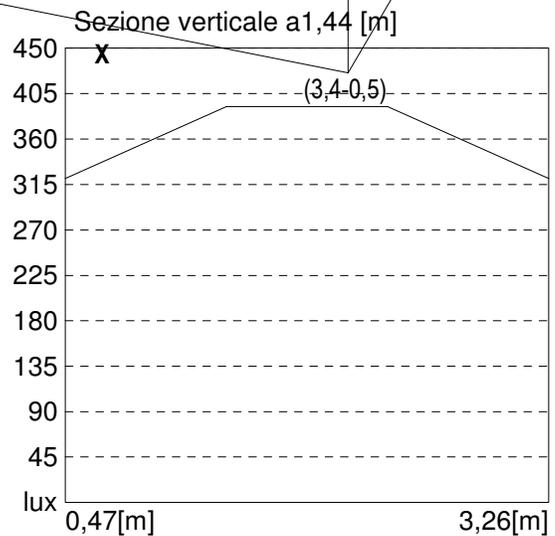
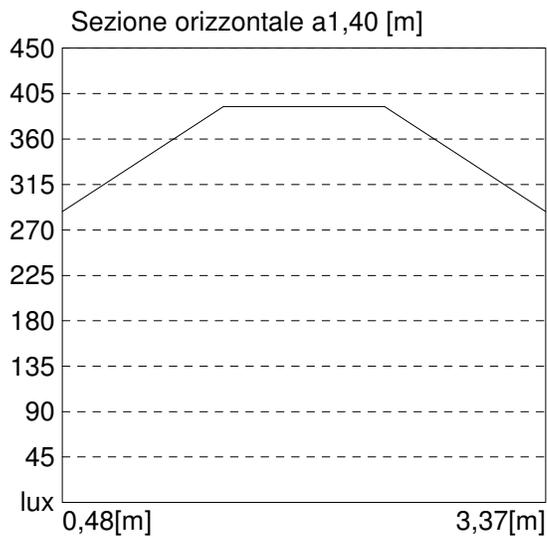
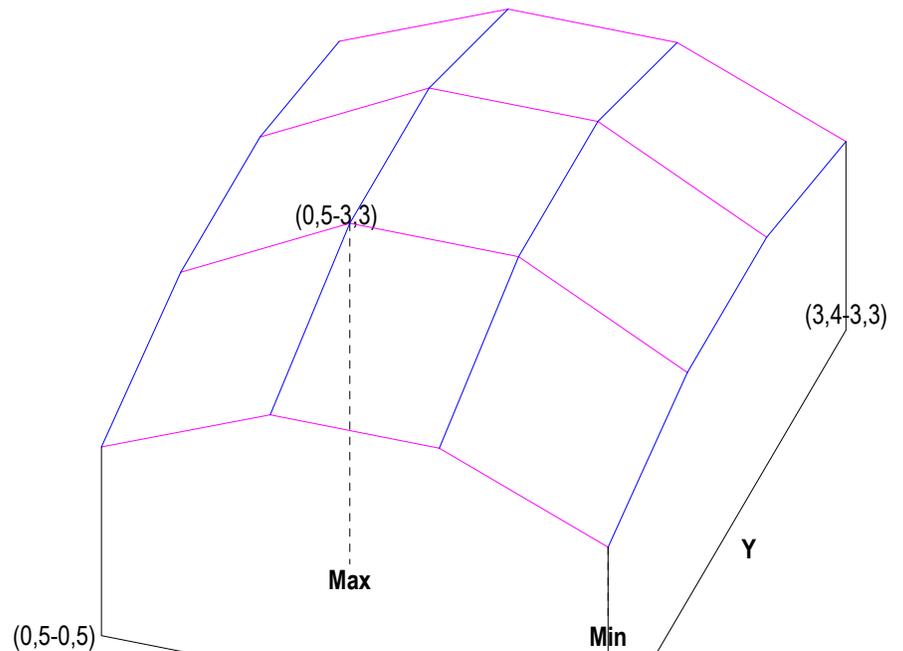
<b>Dimensioni dell' ambiente</b> X [m] : 3,85 Y [m] : 3,73 Z [m] : 3,15	<b>Parametri di calcolo</b> H piano lavoro [m] : 0,85 Larghezza fascia [m] : 0,00 C. manutenzione : 0,80	<b>Reticolo di calcolo</b> X : 4 Y : 4 Z : 3
<b>Coeff. Riflessione (%)</b> Piano di lavoro : 30 Soffitto : 70 Parete Est : 50 Parete Nord : 50 Parete Ovest : 50 Parete Sud : 50	<b>Illuminamenti medi [lux]</b> Piano di lavoro : 310 Soffitto : 70 Parete Est : 96 Parete Nord : 114 Parete Ovest : 96 Parete Sud : 114	<b>Valori sul piano di lavoro</b> Lumen per m <sup>2</sup> : 752,06 Watt per m <sup>2</sup> : 10,03 UGR Longitud. : N.C. UGR Trasvers. : N.C.

Totale apparecchi installati 2 con 8 lampade ( Flusso totale [Klm] 10,80 [klm] )							
N°	Apparecchio	N°	Lampada	Flusso	N°	Lampada	Flusso
2	873 FL 4X18	8	FL18/4/3B	10,80	0		0,00

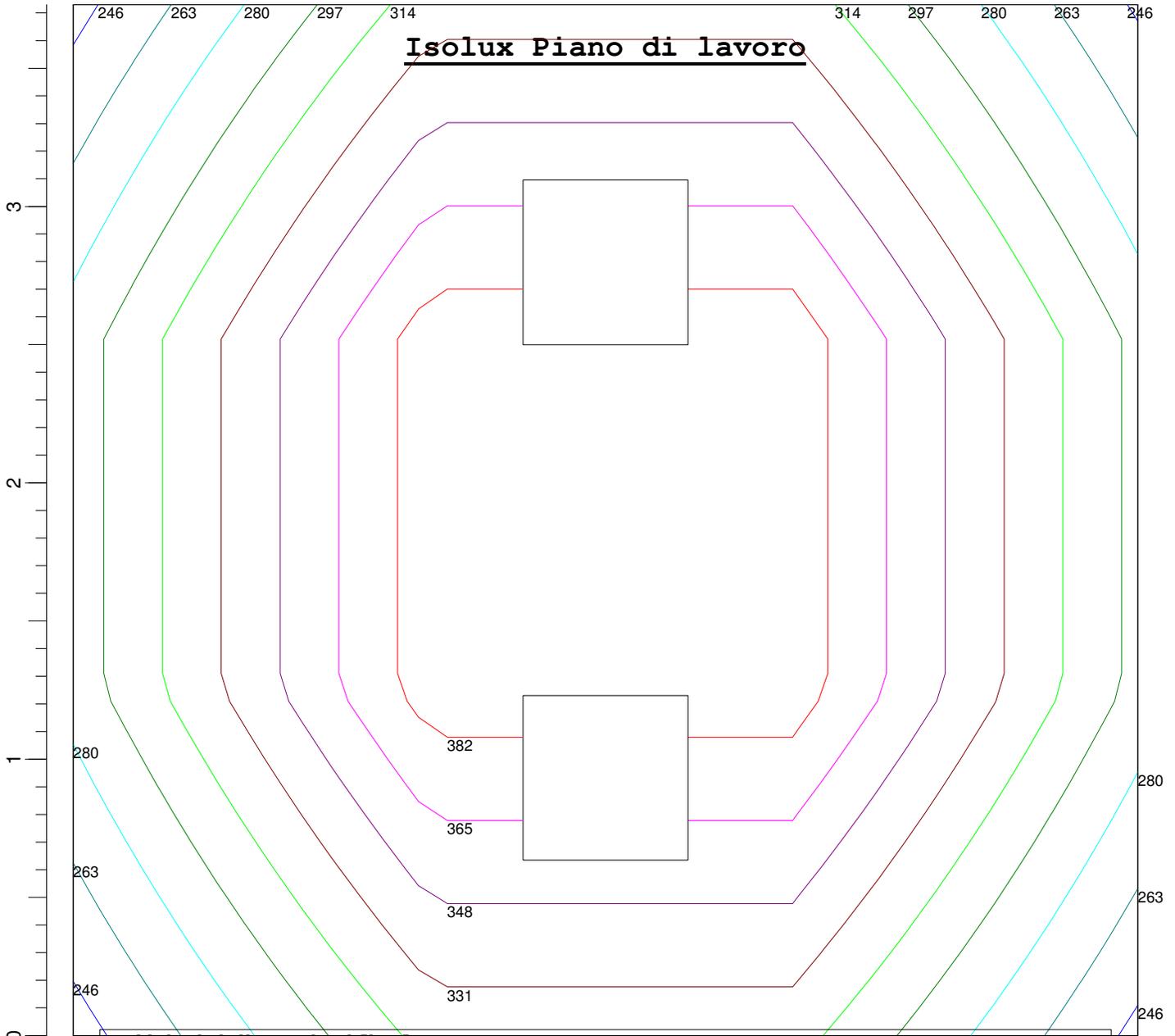
**Progetto** : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
**Data** : 15/11/2005  
**Nome Cliente** : Provincia di Pistoia  
**Ambiente** : Ufficio Segretario  
**Area di calcolo** : Aula totale

Isolux 3D sul piano di lavoro

Illuminamento	X [m]	Y [m]	E [lux]
Minimo	3,37	0,47	238,24
Massimo	1,44	1,40	392,20



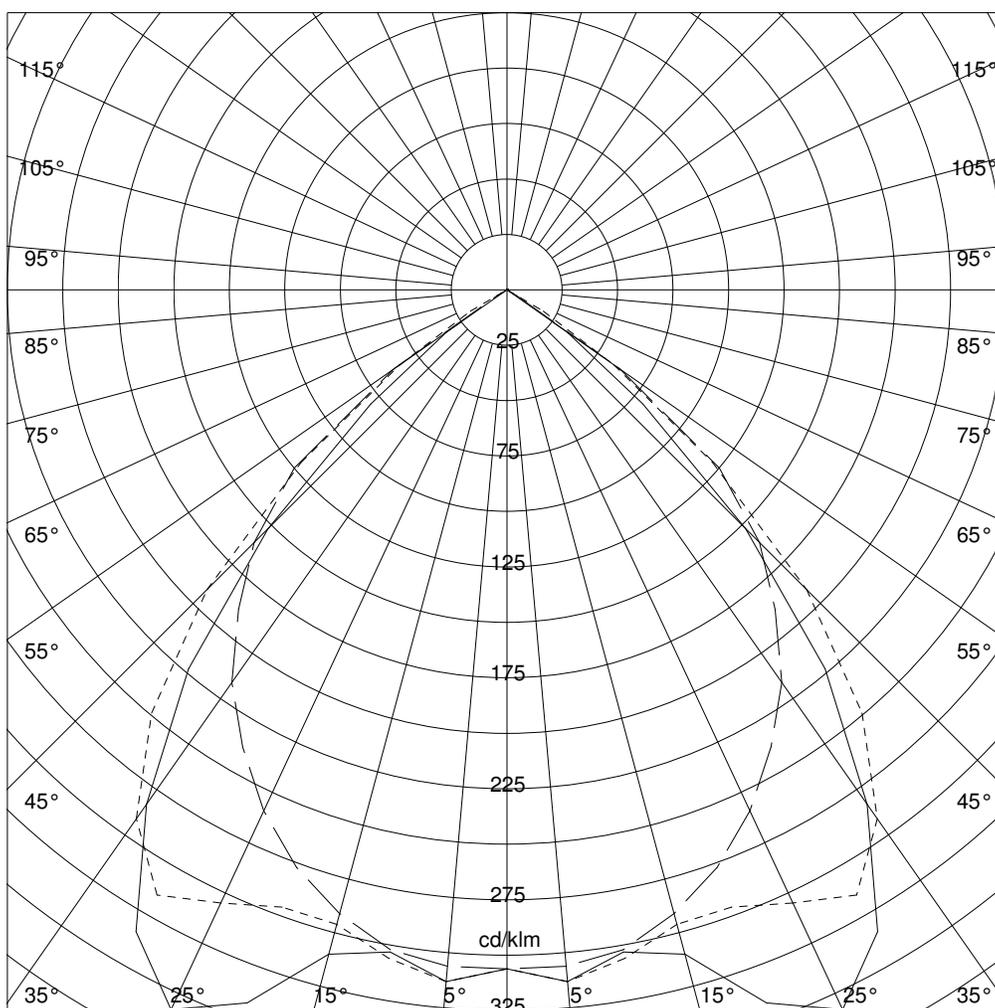
**Progetto** : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
**Data** : 15/11/2005  
**Nome Cliente** : Provincia di Pistoia  
**Ambiente** : Ufficio Segretario  
**Area di calcolo** : Aula totale



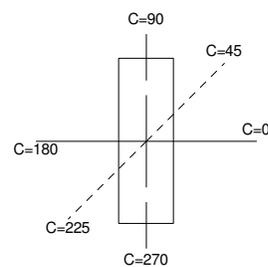
Valori delle sezioni [lux]

[m]	0	1	2	3
—	246,0	297,0	348,0	
—	263,0	314,0	365,0	
—	280,0	331,0	382,0	

## Diagramma polare 873 FL 4X18



$\eta_i$	=60.9%	$\eta_s$	=0.0%	$\eta_{tot}$	=60.9%							
BZ	=2/4.0-2											
UTE	=0.61B											
CIE Flux Code [N1...N5]	72	100	100	100	61							
CIBSE LG3 CAT2												
K	0.6	0.8	1.0	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	10.	20.
DDR	.48	.58	.65	.72	.77	.84	.87	.90	.92	.94	.96	.97
RSC	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	3



**Progetto** : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
**Data** : 15/11/2005  
**Nome Cliente** : Provincia di Pistoia  
**Ambiente** : Locale fotocopie  
**Area di calcolo** : Aula totale

Parametri di progetto

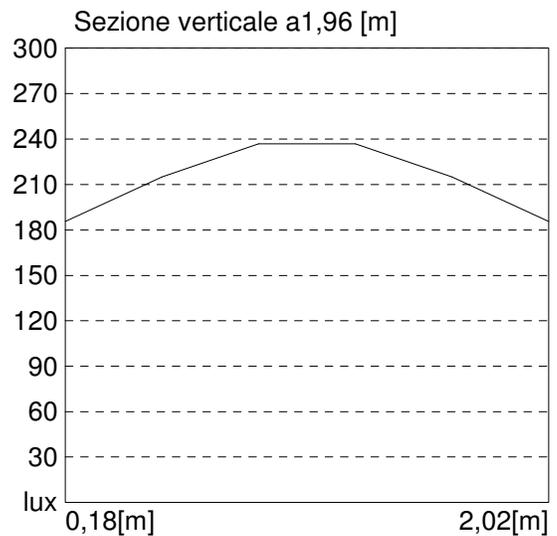
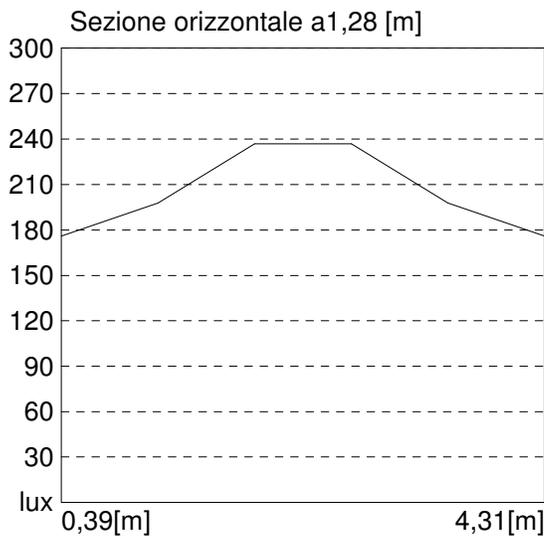
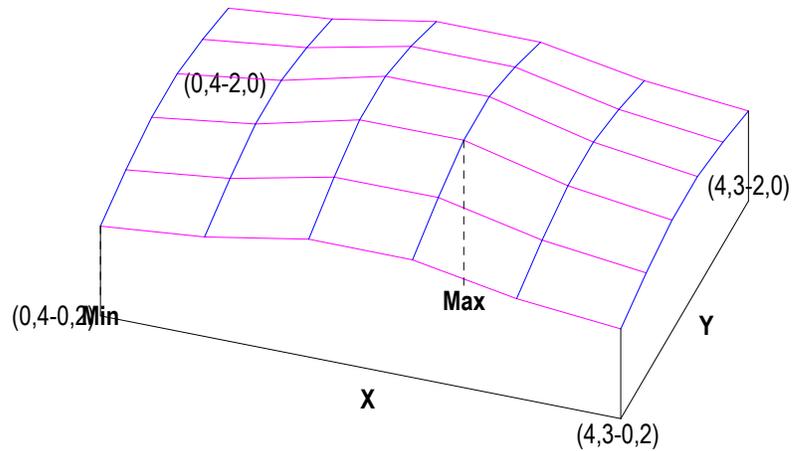
Dimensioni dell' ambiente	Parametri di calcolo	Reticolo di calcolo
X [m] : 4,70 Y [m] : 2,20 Z [m] : 3,15	H piano lavoro [m] : 0,85 Larghezza fascia [m] : 0,00 C. manutenzione : 0,80	X : 6 Y : 6 Z : 3
Coeff. Riflessione (%)	Illuminamenti medi [lux]	Valori sul piano di lavoro
Piano di lavoro : 30 Soffitto : 70 Parete Est : 50 Parete Nord : 50 Parete Ovest : 50 Parete Sud : 50	Piano di lavoro : 184 Soffitto : 45 Parete Est : 62 Parete Nord : 95 Parete Ovest : 62 Parete Sud : 95	Lumen per m <sup>2</sup> : 522,24 Watt per m <sup>2</sup> : 6,96  UGR Longitud. : N.C. UGR Trasvers. : N.C.

Totale apparecchi installati 2 con 4 lampade ( Flusso totale [Klm] 5,40 [klm] )							
N°	Apparecchio	N°	Lampada	Flusso	N°	Lampada	Flusso
2	877 FL 2X18	4	FL18/4/3B	5,40	0		0,00

**Progetto** : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
**Data** : 15/11/2005  
**Nome Cliente** : Provincia di Pistoia  
**Ambiente** : Locale fotocopie  
**Area di calcolo** : Aula totale

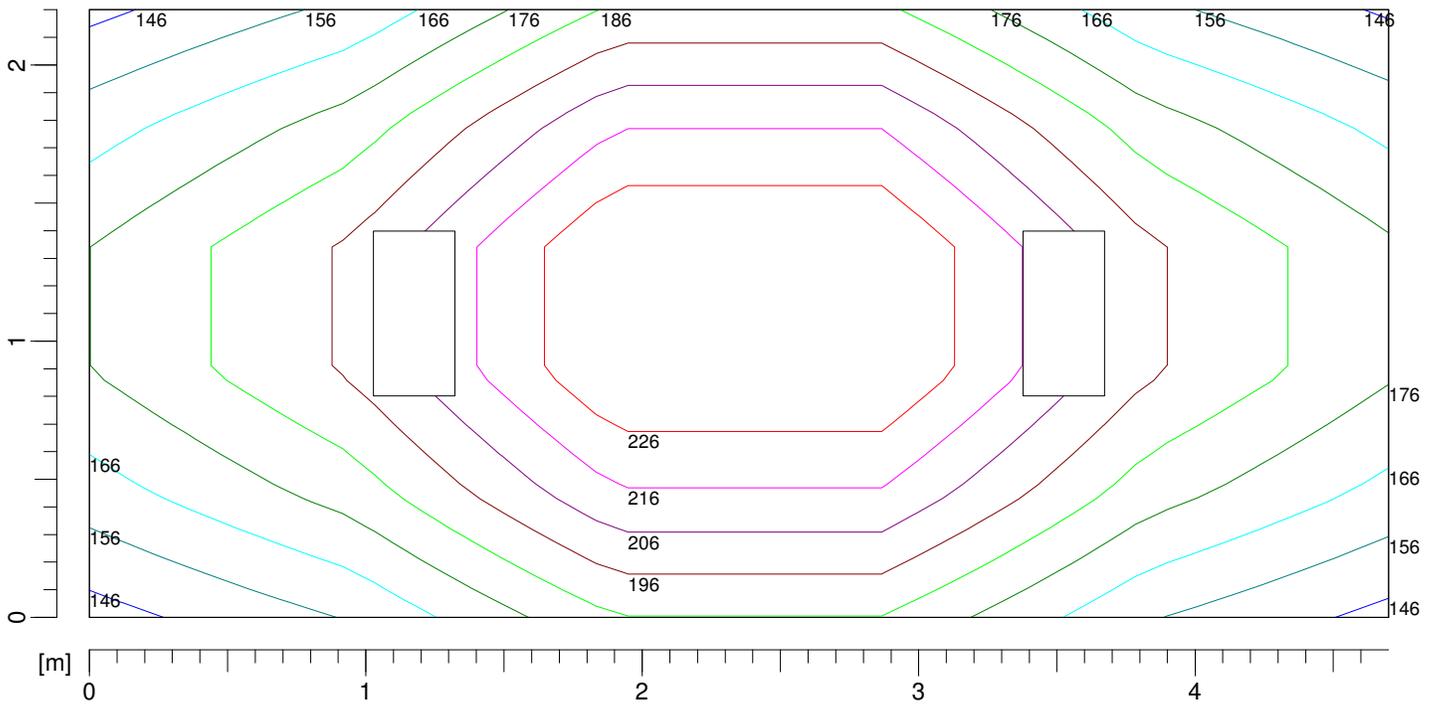
Isolux 3D sul piano di lavoro

Illuminamento	X [m]	Y [m]	E [lux]
Minimo	0,39	0,18	141,70
Massimo	2,74	0,92	236,78



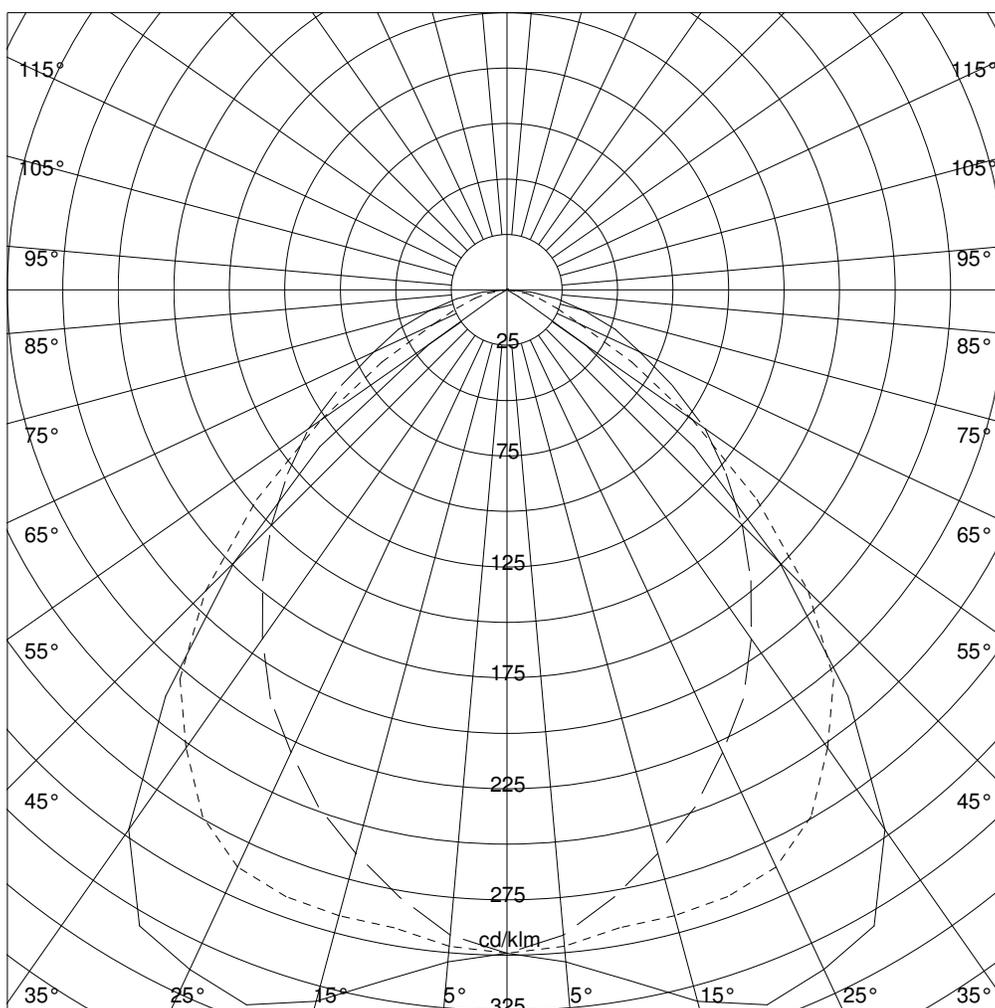
Progetto : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
Data : 15/11/2005  
Nome Cliente : Provincia di Pistoia  
Ambiente : Locale fotocopie  
Area di calcolo : Aula totale

Isolux Piano di lavoro

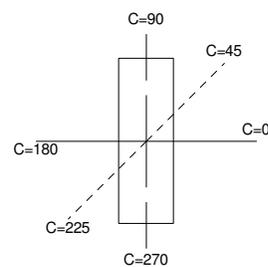


Valori delle sezioni [lux]					
	146,0		176,0		206,0
	156,0		186,0		216,0
	166,0		196,0		226,0

## Diagramma polare 877 FL 2X18



$\eta_i$	67.4%										$\eta_s$	0.0%										$\eta_{tot}$	67.4%									
BZ	4/2.0-3										UTE	0.67C																				
CIE Flux Code [N1...N5]	62	99	98	100	67																											
K	0.6	0.8	1.0	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	10.	20.																				
DDR	.38	.49	.58	.66	.72	.79	.83	.86	.88	.90	.92	.94																				
RSC	4	4	3	3	3	2	3	3	3	3	5	7																				



Progetto : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
Data : 15/11/2005  
Nome Cliente : Provincia di Pistoia  
Ambiente : Presidenza  
Area di calcolo : Aula totale

Parametri di progetto

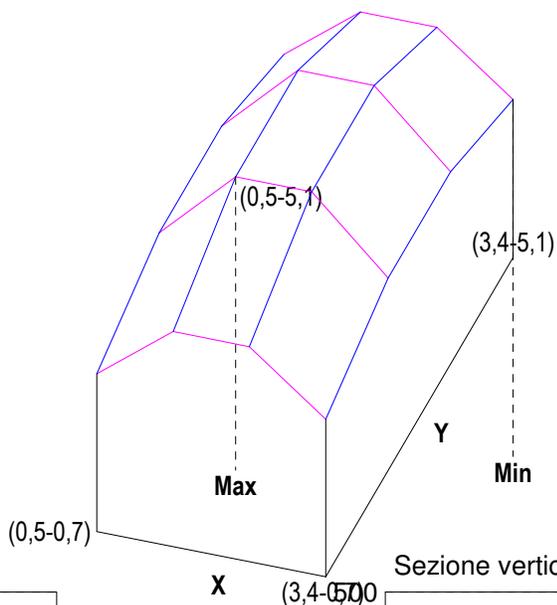
Dimensioni dell' ambiente	Parametri di calcolo	Reticolo di calcolo
X [m] : 3,85 Y [m] : 5,85 Z [m] : 3,00	H piano lavoro [m] : 0,85 Larghezza fascia [m] : 0,00 C. manutenzione : 0,80	X : 4 Y : 4 Z : 3
Coeff. Riflessione (%)	Illuminamenti medi [lux]	Valori sul piano di lavoro
Piano di lavoro : 30 Soffitto : 70 Parete Est : 50 Parete Nord : 50 Parete Ovest : 50 Parete Sud : 50	Piano di lavoro : 325 Soffitto : 86 Parete Est : 115 Parete Nord : 108 Parete Ovest : 115 Parete Sud : 108	Lumen per m <sup>2</sup> : 719,28 Watt per m <sup>2</sup> : 9,59  UGR Longitud. : N.C. UGR Trasvers. : N.C.

Totale apparecchi installati 3 con 12 lampade ( Flusso totale [Klm] 16,20 [klm] )							
N°	Apparecchio	N°	Lampada	Flusso	N°	Lampada	Flusso
3	873 FL 4X18	12	FL18/4/3B	16,20	0		0,00

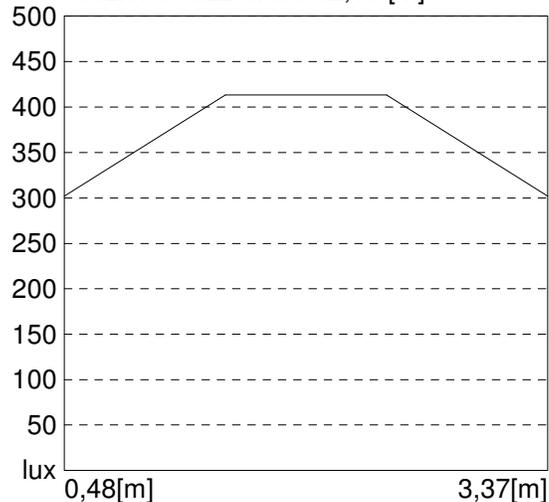
**Progetto** : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
**Data** : 15/11/2005  
**Nome Cliente** : Provincia di Pistoia  
**Ambiente** : Presidenza  
**Area di calcolo** : Aula totale

Isolux 3D sul piano di lavoro

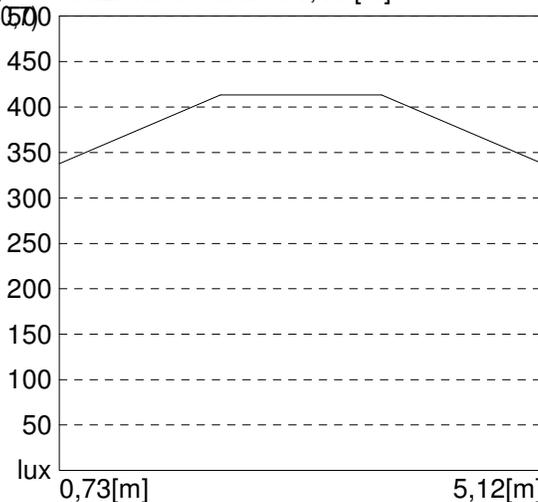
Illuminamento	X [m]	Y [m]	E [lux]
Minimo	3,37	5,12	247,67
Massimo	1,44	2,19	413,38



Sezione orizzontale a 2,19 [m]

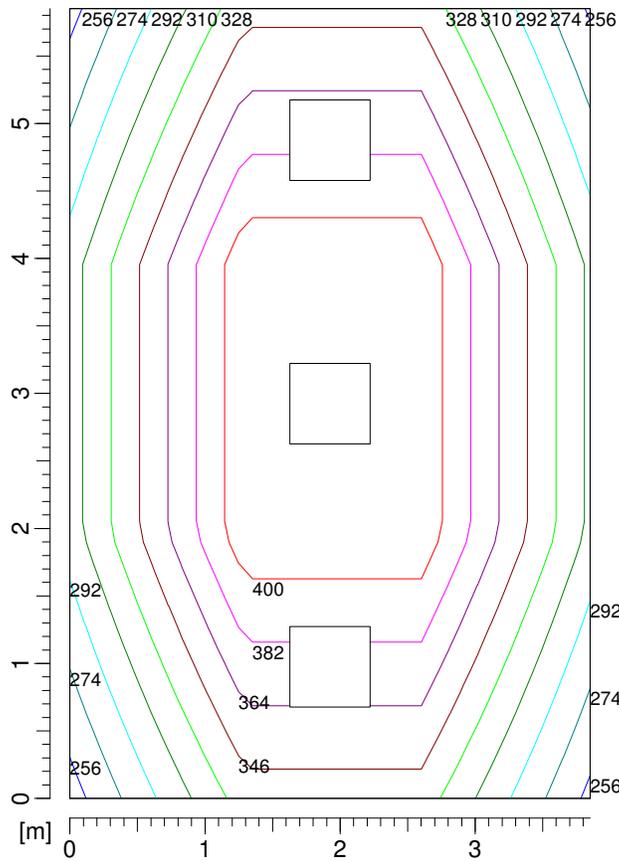


Sezione verticale a 1,44 [m]



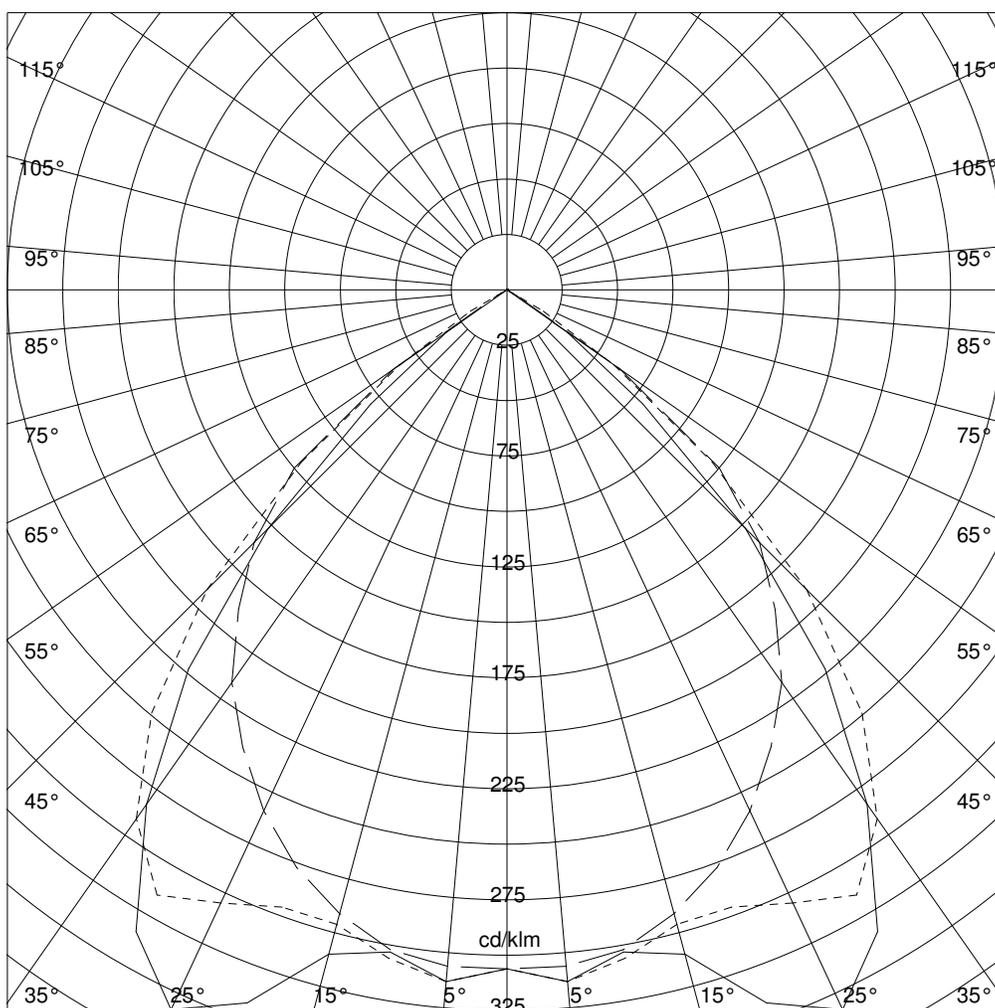
Progetto : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
Data : 15/11/2005  
Nome Cliente : Provincia di Pistoia  
Ambiente : Presidenza  
Area di calcolo : Aula totale

Isolux Piano di lavoro



Valori delle sezioni [lux]					
	256,0		310,0		364,0
	274,0		328,0		382,0
	292,0		346,0		400,0

## Diagramma polare 873 FL 4X18



$\eta_i=60.9\%$     $\eta_s=0.0\%$     $\eta_{tot}=60.9\%$

BZ=2/4.0-2

UTE=0.61B

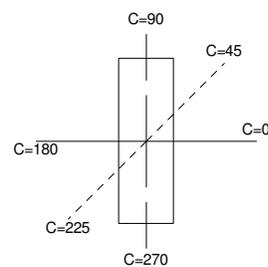
CIE Flux Code [N1...N5]      72   100   100   100   61

CIBSE LG3 CAT2

K      0.6   0.8   1.0   1.3   1.5   2.0   2.5   3.0   4.0   5.0   10.   20.

DDR   .48   .58   .65   .72   .77   .84   .87   .90   .92   .94   .96   .97

RSC   2   2   2   2   2   1   1   1   1   2   2   3



Progetto : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
Data : 15/11/2005  
Nome Cliente : Provincia di Pistoia  
Ambiente : Corridoio  
Area di calcolo : Aula totale

Parametri di progetto

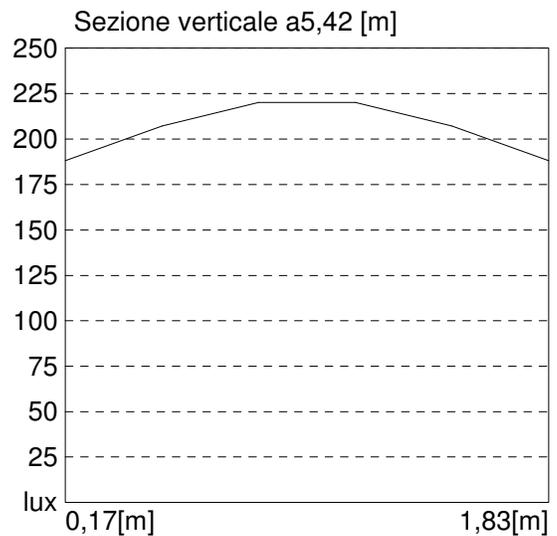
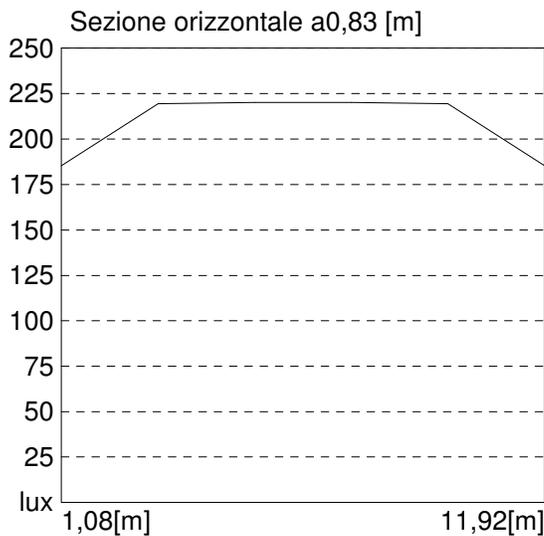
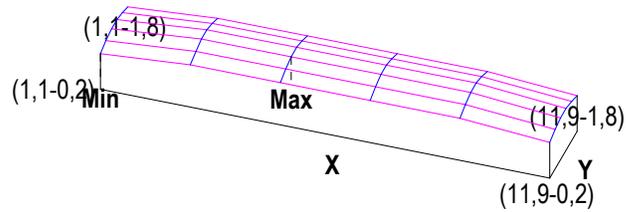
Dimensioni dell' ambiente	Parametri di calcolo	Reticolo di calcolo
X [m] : 13,00 Y [m] : 2,00 Z [m] : 2,65	H piano lavoro [m] : 0,00 Larghezza fascia [m] : 0,00 C. manutenzione : 0,80	X : 6 Y : 6 Z : 3
Coeff. Riflessione (%)	Illuminamenti medi [lux]	Valori sul piano di lavoro
Piano di lavoro : 30 Soffitto : 70 Parete Est : 50 Parete Nord : 50 Parete Ovest : 50 Parete Sud : 50	Piano di lavoro : 194 Soffitto : 74 Parete Est : 54 Parete Nord : 140 Parete Ovest : 54 Parete Sud : 140	Lumen per m <sup>2</sup> : 623,08 Watt per m <sup>2</sup> : 8,31  UGR Longitud. : N.C. UGR Trasvers. : N.C.

Totale apparecchi installati 6 con 12 lampade ( Flusso totale [Klm] 16,20 [klm] )							
N°	Apparecchio	N°	Lampada	Flusso	N°	Lampada	Flusso
6	877 FL 2X18	12	FL18/4/3B	16,20	0		0,00

Progetto : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
Data : 15/11/2005  
Nome Cliente : Provincia di Pistoia  
Ambiente : Corridoio  
Area di calcolo : Aula totale

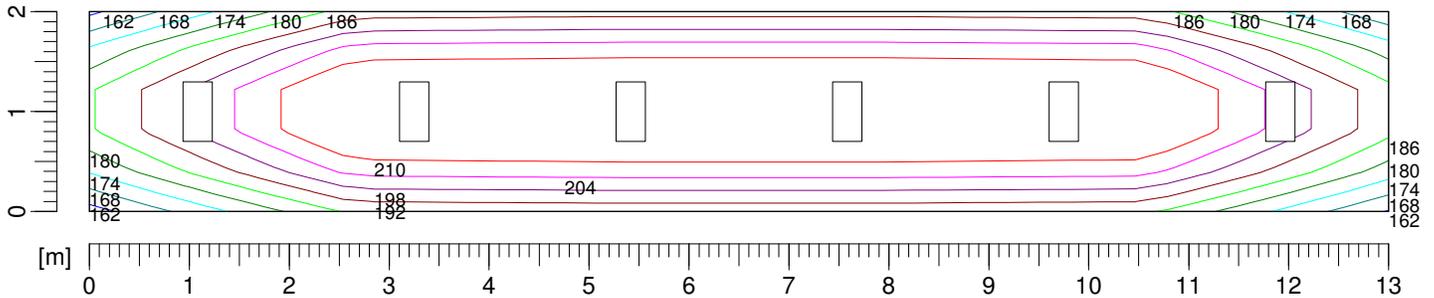
Isolux 3D sul piano di lavoro

Illuminamento	X [m]	Y [m]	E [lux]
Minimo	1,08	0,17	159,32
Massimo	5,42	0,83	220,11



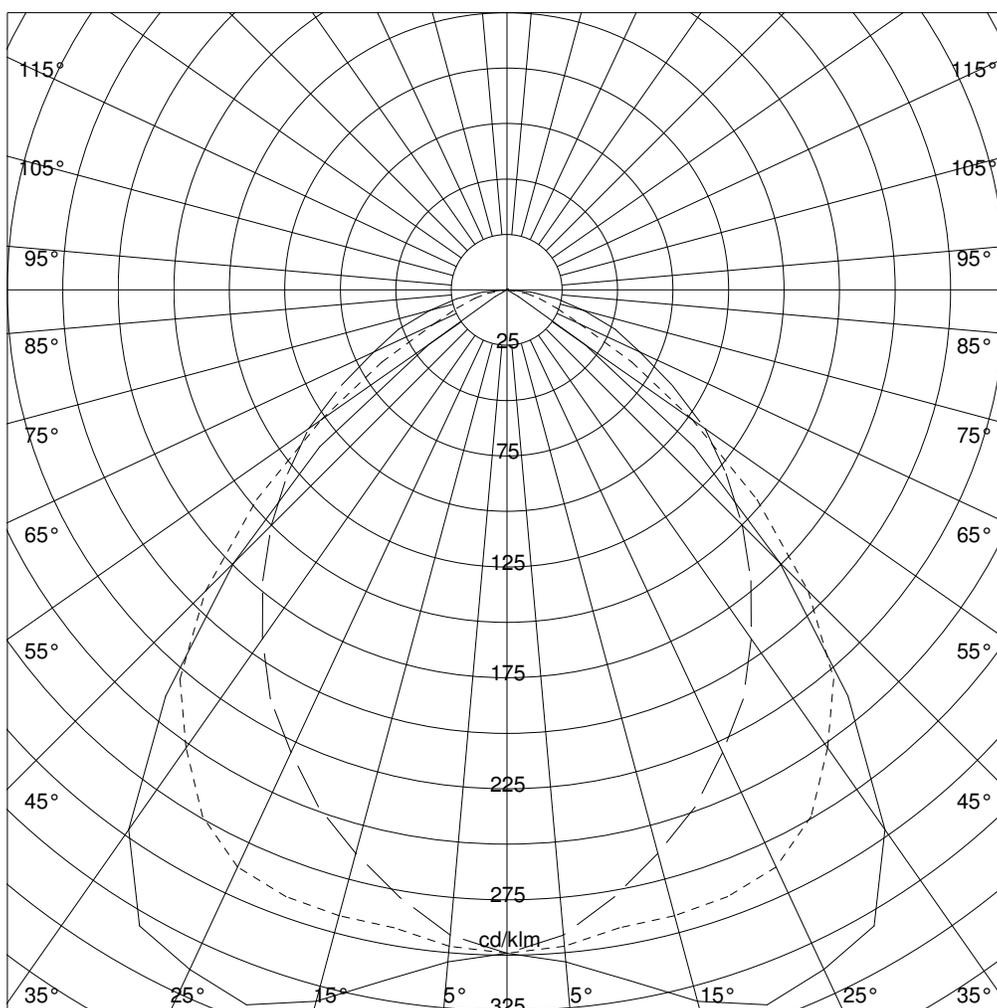
Progetto : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
Data : 15/11/2005  
Nome Cliente : Provincia di Pistoia  
Ambiente : Corridoio  
Area di calcolo : Aula totale

Isolux Piano di lavoro



Valori delle sezioni [lux]					
	162,0		180,0		198,0
	168,0		186,0		204,0
	174,0		192,0		210,0

## Diagramma polare 877 FL 2X18



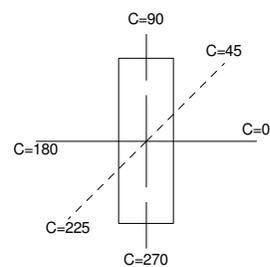
$\eta_i=67.4\%$     $\eta_s=0.0\%$     $\eta_{tot}=67.4\%$

BZ=4/2.0-3

UTE=0.67C

CIE Flux Code [N1...N5]      62   99   98   100   67

K	0.6	0.8	1.0	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	10.	20.
DDR	.38	.49	.58	.66	.72	.79	.83	.86	.88	.90	.92	.94
RSC	4	4	3	3	3	2	3	3	3	3	5	7



**Progetto** : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
**Data** : 15/11/2005  
**Nome Cliente** : Provincia di Pistoia  
**Ambiente** : Corridoio 2  
**Area di calcolo** : Aula totale

Parametri di progetto

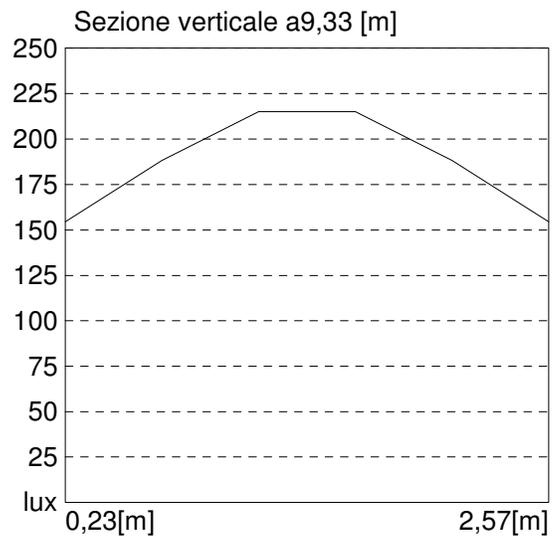
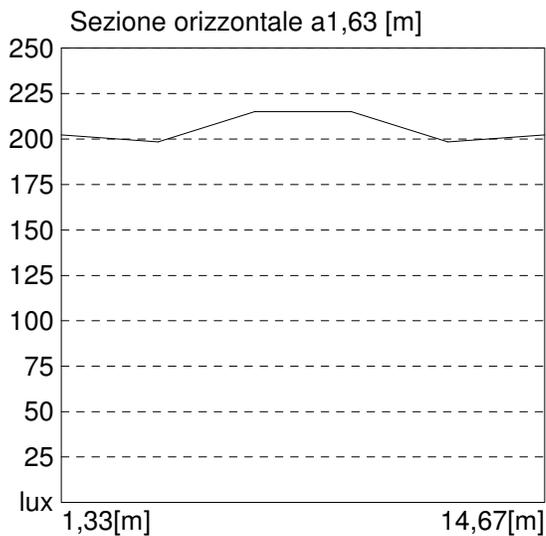
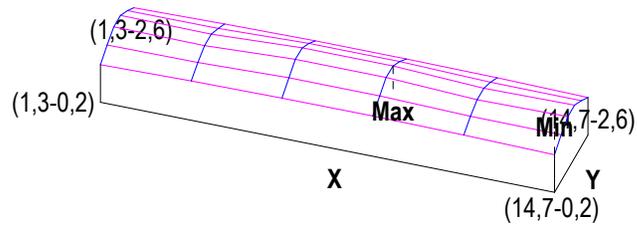
<b>Dimensioni dell' ambiente</b> X [m] : 16,00 Y [m] : 2,80 Z [m] : 2,65	<b>Parametri di calcolo</b> H piano lavoro [m] : 0,00 Larghezza fascia [m] : 0,00 C. manutenzione : 0,80	<b>Reticolo di calcolo</b> X : 6 Y : 6 Z : 3
<b>Coeff. Riflessione (%)</b> Piano di lavoro : 30 Soffitto : 70 Parete Est : 50 Parete Nord : 50 Parete Ovest : 50 Parete Sud : 50	<b>Illuminamenti medi [lux]</b> Piano di lavoro : 179 Soffitto : 53 Parete Est : 30 Parete Nord : 99 Parete Ovest : 30 Parete Sud : 99	<b>Valori sul piano di lavoro</b> Lumen per m <sup>2</sup> : 482,14 Watt per m <sup>2</sup> : 6,43 UGR Longitud. : N.C. UGR Trasvers. : N.C.

Totale apparecchi installati 4 con 16 lampade ( Flusso totale [Klm] 21,60 [klm] )							
N°	Apparecchio	N°	Lampada	Flusso	N°	Lampada	Flusso
4	877 FL 4X18	16	FL18/4/3B	21,60	0		0,00

**Progetto** : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
**Data** : 15/11/2005  
**Nome Cliente** : Provincia di Pistoia  
**Ambiente** : Corridoio 2  
**Area di calcolo** : Aula totale

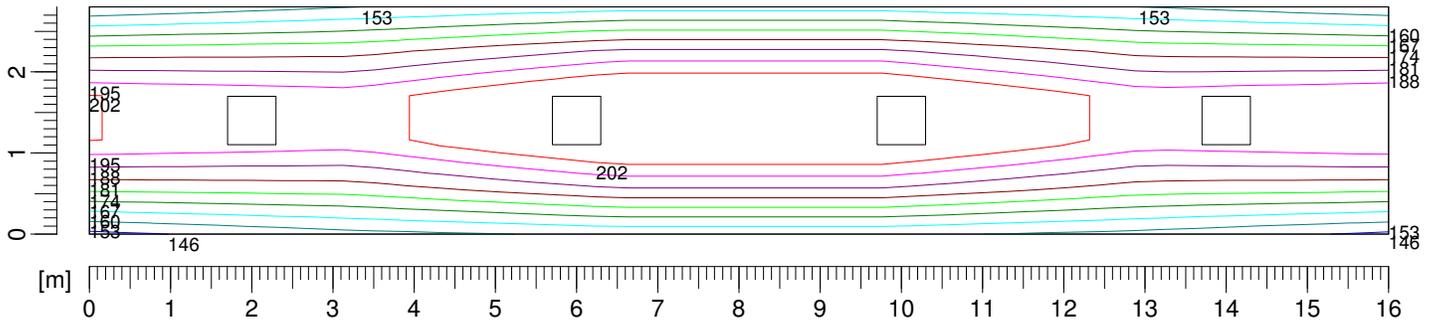
Isolux 3D sul piano di lavoro

Illuminamento	X [m]	Y [m]	E [lux]
Minimo	14,67	0,23	143,99
Massimo	9,33	1,63	215,13



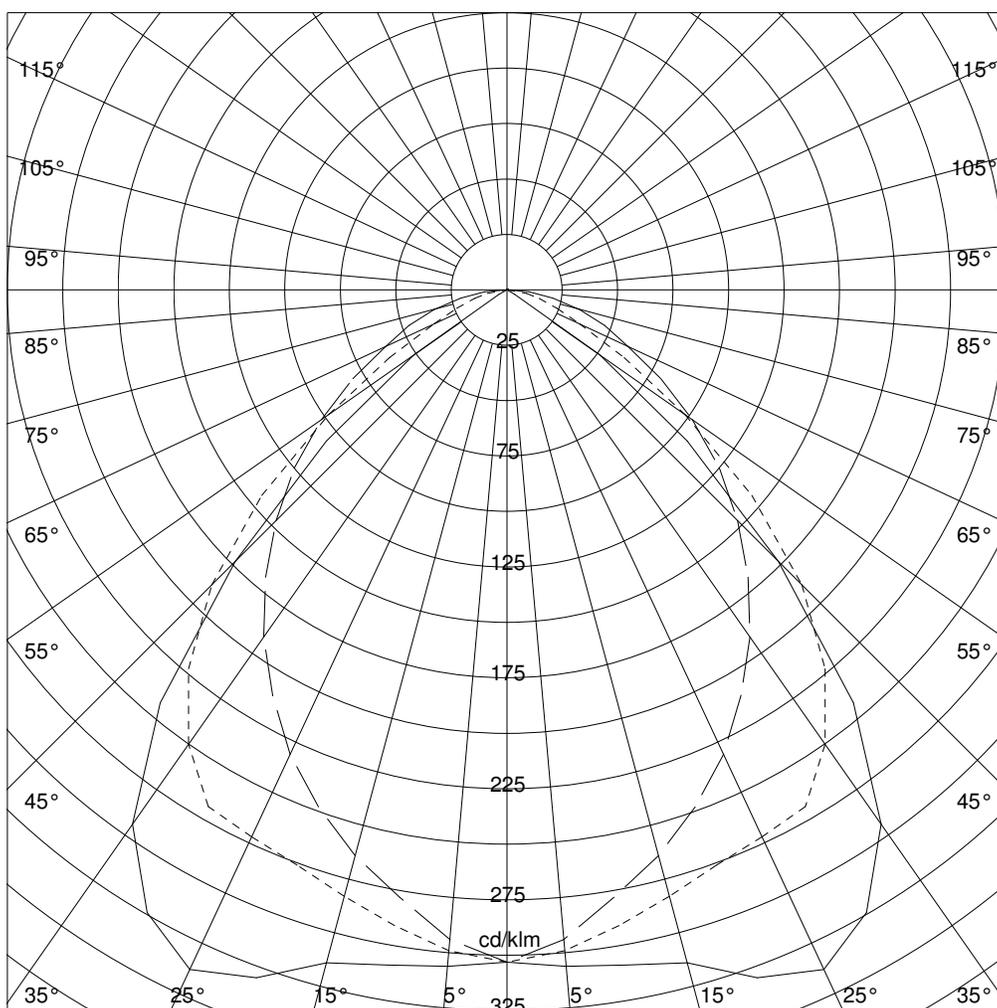
Progetto : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
Data : 15/11/2005  
Nome Cliente : Provincia di Pistoia  
Ambiente : Corridoio 2  
Area di calcolo : Aula totale

Isolux Piano di lavoro



Valori delle sezioni [lux]		
146,0	167,0	188,0
153,0	174,0	195,0
160,0	181,0	202,0

## Diagramma polare 877 FL 4X18



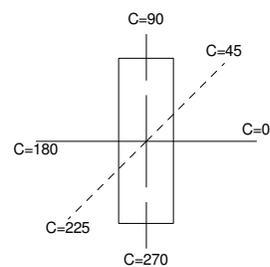
$\eta_i=65.8\%$     $\eta_s=0.0\%$     $\eta_{tot}=65.8\%$

BZ=4/2.5-3

UTE=0.66C

CIE Flux Code [N1...N5]      62   99   98   100   66

K	0.6	0.8	1.0	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	10.	20.
DDR	.38	.50	.59	.66	.72	.79	.83	.86	.88	.90	.92	.95
RSC	4	4	3	3	3	2	2	3	3	3	5	7



**Progetto** : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
**Data** : 15/11/2005  
**Nome Cliente** : Provincia di Pistoia  
**Ambiente** : Corridoio 3  
**Area di calcolo** : Aula totale

Parametri di progetto

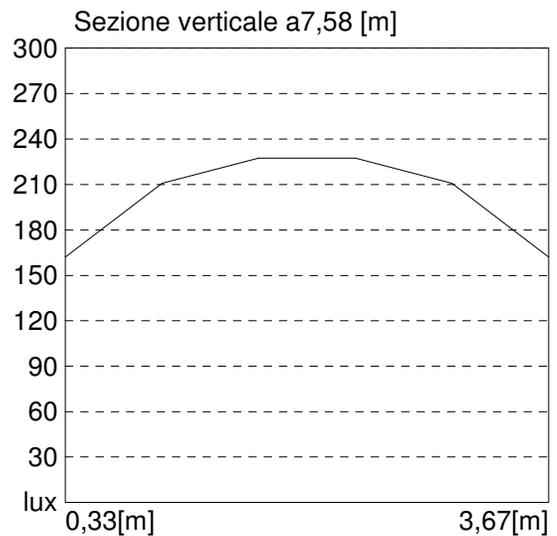
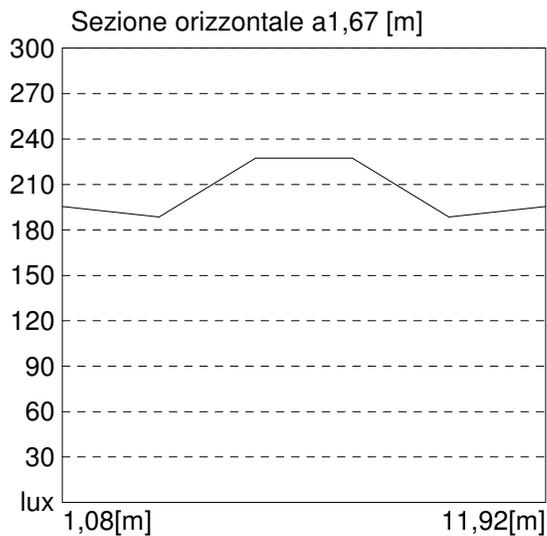
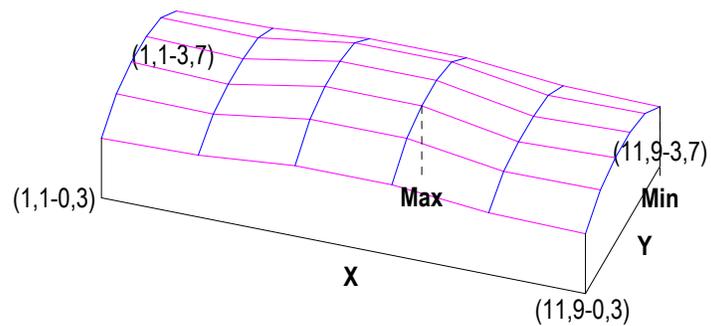
<b>Dimensioni dell' ambiente</b> X [m] : 13,00 Y [m] : 4,00 Z [m] : 2,65	<b>Parametri di calcolo</b> H piano lavoro [m] : 0,00 Larghezza fascia [m] : 0,00 C. manutenzione : 0,80	<b>Reticolo di calcolo</b> X : 6 Y : 6 Z : 3
<b>Coeff. Riflessione (%)</b> Piano di lavoro : 30 Soffitto : 70 Parete Est : 50 Parete Nord : 50 Parete Ovest : 50 Parete Sud : 50	<b>Illuminamenti medi [lux]</b> Piano di lavoro : 180 Soffitto : 49 Parete Est : 60 Parete Nord : 75 Parete Ovest : 60 Parete Sud : 75	<b>Valori sul piano di lavoro</b> Lumen per m <sup>2</sup> : 415,38 Watt per m <sup>2</sup> : 5,54 UGR Longitud. : N.C. UGR Trasvers. : N.C.

Totale apparecchi installati 4 con 16 lampade ( Flusso totale [Klm] 21,60 [klm] )							
N°	Apparecchio	N°	Lampada	Flusso	N°	Lampada	Flusso
4	877 FL 4X18	16	FL18/4/3B	21,60	0		0,00

**Progetto** : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
**Data** : 15/11/2005  
**Nome Cliente** : Provincia di Pistoia  
**Ambiente** : Corridoio 3  
**Area di calcolo** : Aula totale

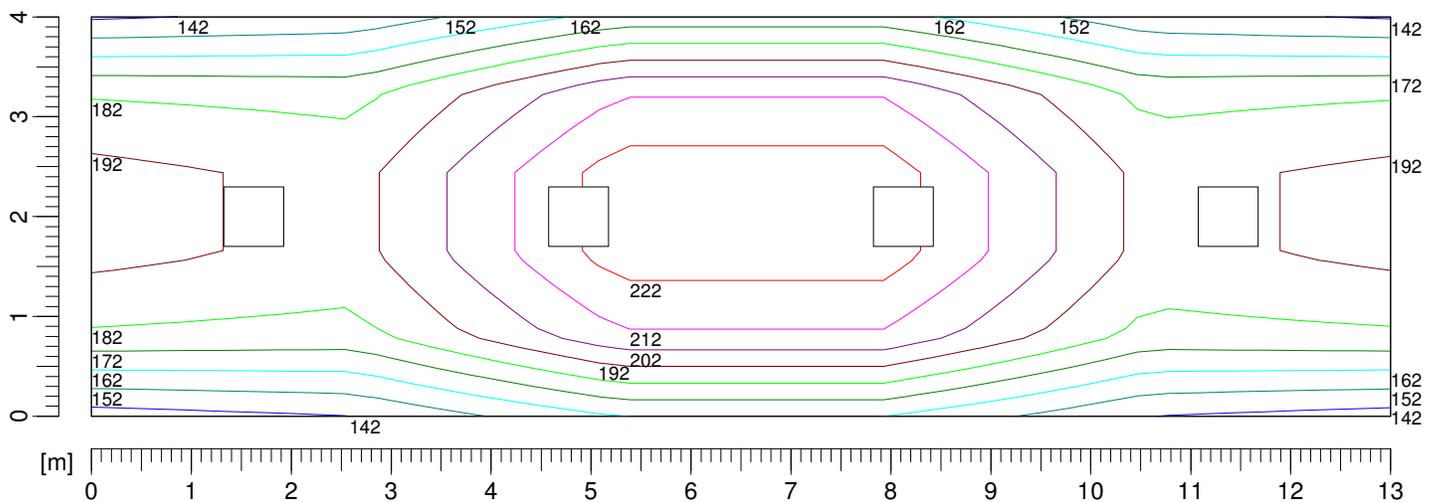
Isolux 3D sul piano di lavoro

Illuminamento	X [m]	Y [m]	E [lux]
Minimo	11,92	3,67	137,14
Massimo	7,58	1,67	227,46



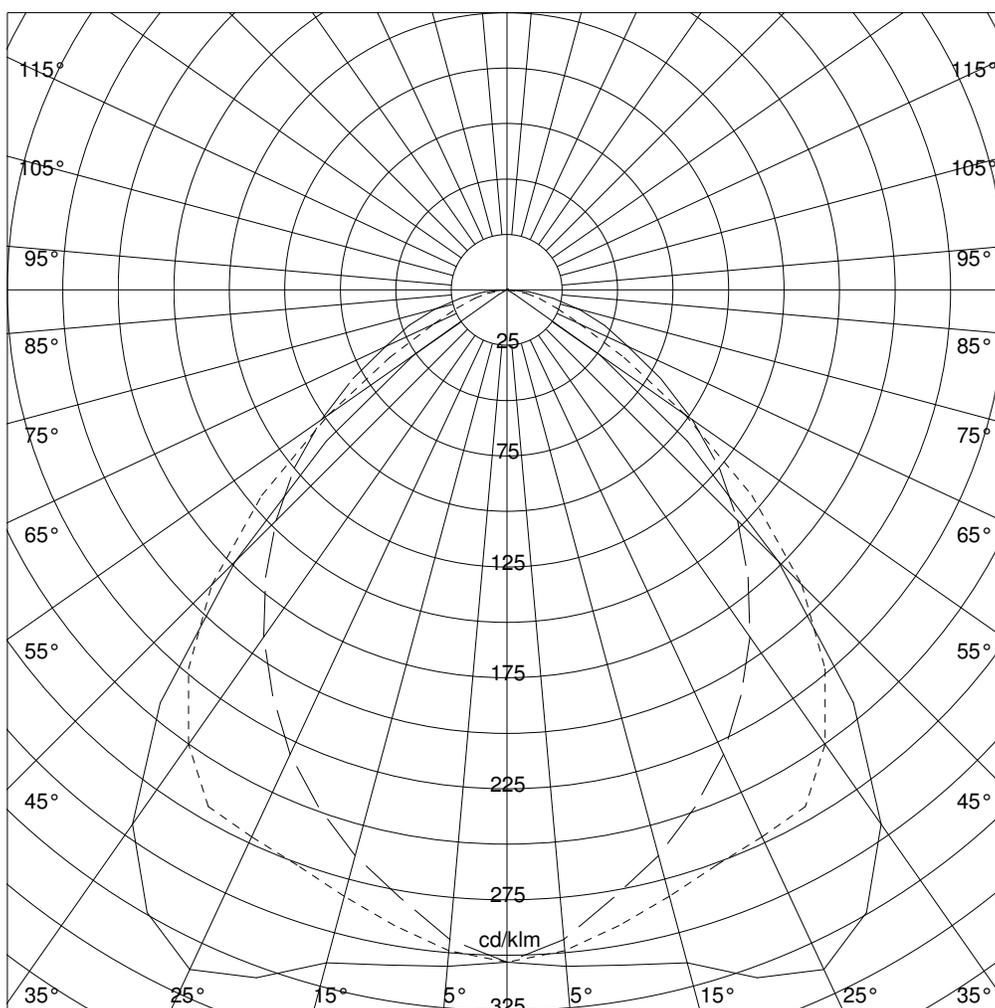
Progetto : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
Data : 15/11/2005  
Nome Cliente : Provincia di Pistoia  
Ambiente : Corridoio 3  
Area di calcolo : Aula totale

Isolux Piano di lavoro



Valori delle sezioni [lux]					
	142,0		172,0		202,0
	152,0		182,0		212,0
	162,0		192,0		222,0

## Diagramma polare 877 FL 4X18



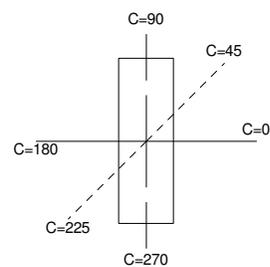
$\eta_i=65.8\%$     $\eta_s=0.0\%$     $\eta_{tot}=65.8\%$

BZ=4/2.5-3

UTE=0.66C

CIE Flux Code [N1...N5]      62   99   98   100   66

K	0.6	0.8	1.0	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	10.	20.
DDR	.38	.50	.59	.66	.72	.79	.83	.86	.88	.90	.92	.95
RSC	4	4	3	3	3	2	2	3	3	3	5	7



Progetto : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
Data : 15/11/2005  
Nome Cliente : Provincia di Pistoia  
Ambiente : Ingresso  
Area di calcolo : Aula totale

Parametri di progetto

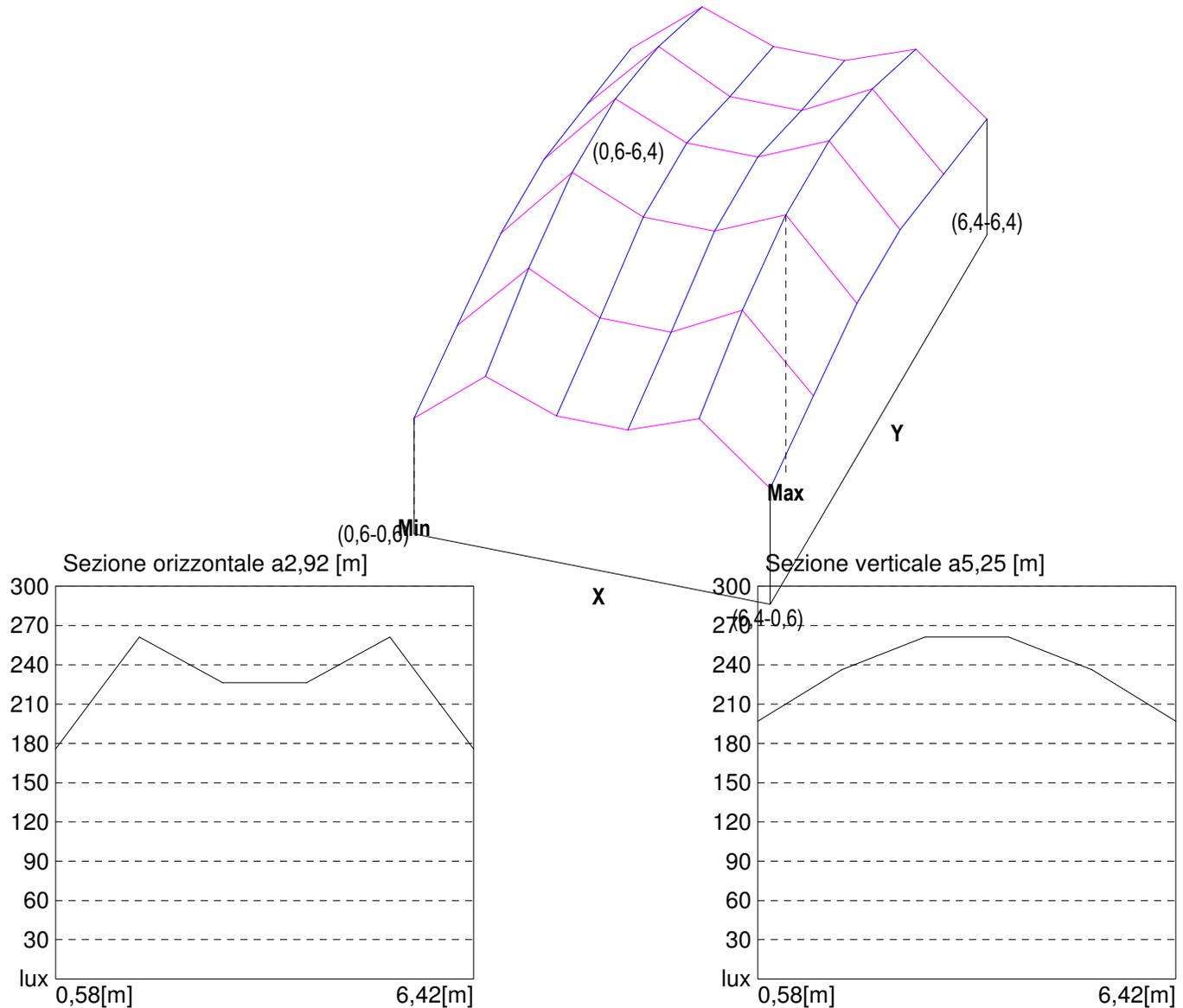
Dimensioni dell' ambiente	Parametri di calcolo	Reticolo di calcolo
X [m] : 7,00 Y [m] : 7,00 Z [m] : 2,65	H piano lavoro [m] : 0,00 Larghezza fascia [m] : 0,00 C. manutenzione : 0,80	X : 6 Y : 6 Z : 3
Coeff. Riflessione (%)	Illuminamenti medi [lux]	Valori sul piano di lavoro
Piano di lavoro : 30 Soffitto : 70 Parete Est : 50 Parete Nord : 50 Parete Ovest : 50 Parete Sud : 50	Piano di lavoro : 194 Soffitto : 57 Parete Est : 83 Parete Nord : 71 Parete Ovest : 83 Parete Sud : 71	Lumen per m <sup>2</sup> : 440,82 Watt per m <sup>2</sup> : 5,88  UGR Longitud. : N.C. UGR Trasvers. : N.C.

Totale apparecchi installati 4 con 16 lampade ( Flusso totale [Klm] 21,60 [klm] )							
N°	Apparecchio	N°	Lampada	Flusso	N°	Lampada	Flusso
4	877 FL 4X18	16	FL18/4/3B	21,60	0		0,00

**Progetto** : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
**Data** : 15/11/2005  
**Nome Cliente** : Provincia di Pistoia  
**Ambiente** : Ingresso  
**Area di calcolo** : Aula totale

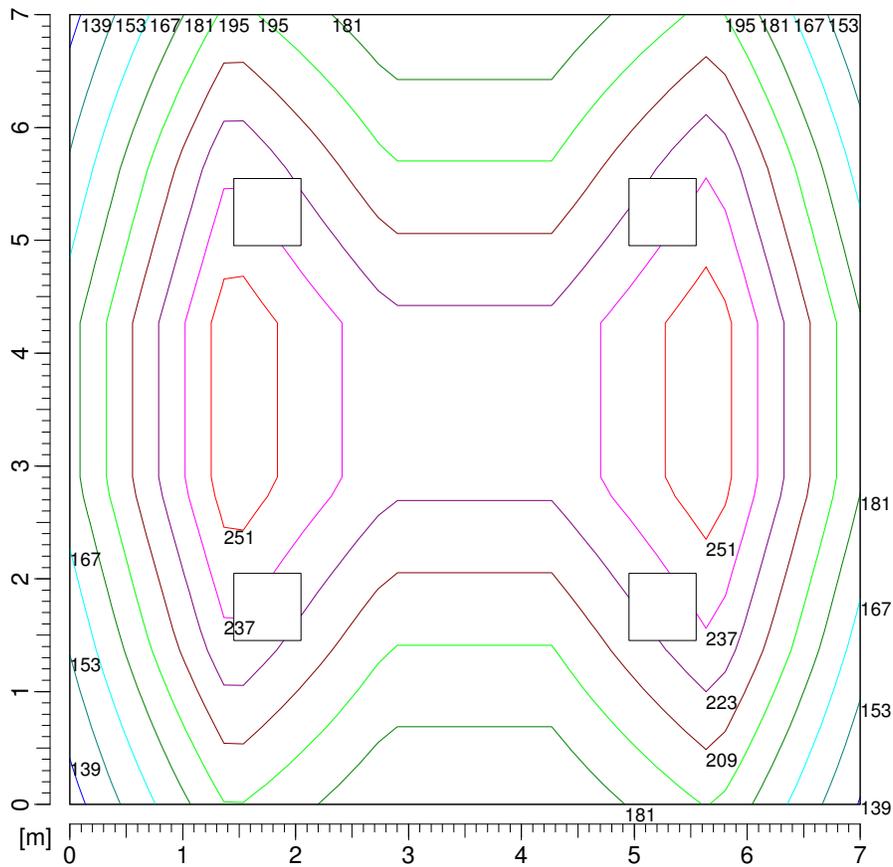
Isolux 3D sul piano di lavoro

Illuminamento	X [m]	Y [m]	E [lux]
Minimo	0,58	0,58	132,82
Massimo	5,25	2,92	261,20



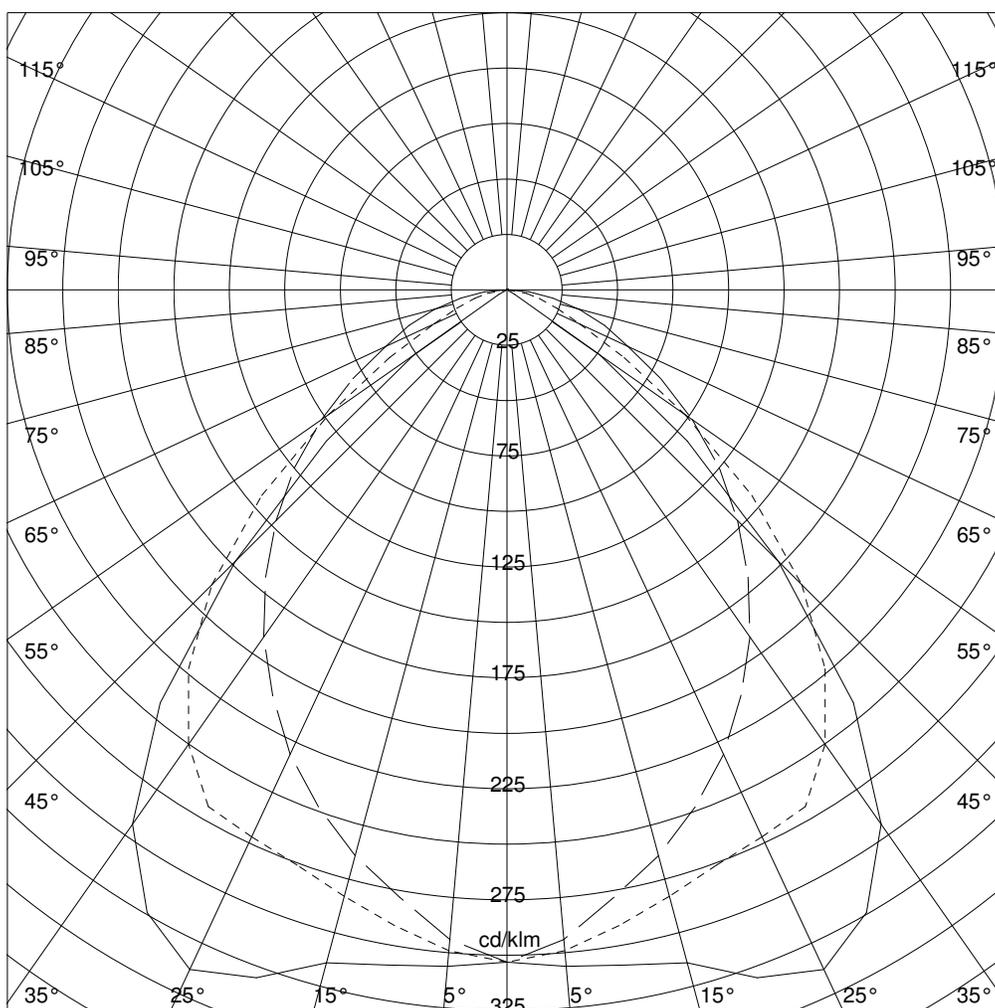
Progetto : Liceo Scientifico "Duca d'Aosta" - Pistoia (2473-1A0)  
Data : 15/11/2005  
Nome Cliente : Provincia di Pistoia  
Ambiente : Ingresso  
Area di calcolo : Aula totale

Isolux Piano di lavoro



Valori delle sezioni [lux]					
	139,0		181,0		223,0
	153,0		195,0		237,0
	167,0		209,0		251,0

## Diagramma polare 877 FL 4X18



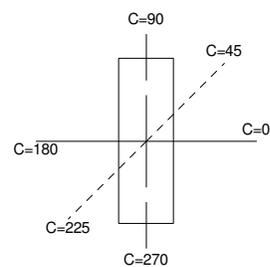
$\eta_i=65.8\%$     $\eta_s=0.0\%$     $\eta_{tot}=65.8\%$

BZ=4/2.5-3

UTE=0.66C

CIE Flux Code [N1...N5]      62   99   98   100   66

K	0.6	0.8	1.0	1.3	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	10.	20.
DDR	.38	.50	.59	.66	.72	.79	.83	.86	.88	.90	.92	.95
RSC	4	4	3	3	3	2	2	3	3	3	5	7



## **VALUTAZIONE DEL RISCHIO DOVUTO A FULMINAZIONE**

# ***Valutazione della struttura contro i fulmini***

**Calcolo probabilistico ai fini delle misure di protezione (LPS - SPD)**

*Procedura di calcolo semplificato secondo l'appendice G della norma CEI 81-1*

**Progetto**

2473-ESE-1A0

---

---

**Progettista**

*Ing. A. BORTOLAZZI C. s.r.l.*

*Società di ingegneria*

*Via Maestri del Lavoro, 5*

*44100 - Ferrara*

*Tel.*

*Fax*

**Cliente**

*PROVINCIA DI PISTOIA*

*-*

*Tel.*

*Fax*

**Progettista**

.....

# **INDICE**

- 1. Caratteristiche del progetto**
  - 1.1           Dati generali**
  - 1.2           Dati relativi alle strutture parziali**
  
- 2.   Calcolo**
  
- 3.   Scelta delle misure di protezione**
  
- 4.   Allegato: Area di raccolta**

# 1. Caratteristiche del progetto

## 1.1 Dati generali

### **Località**

PISTOIA - PT

### **Densità di fulmini a terra**

$N_t = 2.5$  fulmini/anno  $km^2$

### **Ubicazione**

Terreno pianeggiante

### **Dimensioni**

60.0 m x 85.0 m con una altezza di 14.0 m

### **Ambiente**

Situata in un' area con presenza prevalente di strutture di altezza uguale o maggiore ( $C = 0,25$ )

### **Costruzione**

Pilastri in cemento armato di  $10 > d \geq 6$  m ( $P_s = 0,08$ )

### **Rivestimento superficiale**

asfalto, ecc. ... [ Resistività superficiale  $> 50k\Omega mm$ ] ( $P_t = 0,00001$ )

## 1.2 Dati relativi alle strutture parziali

### Struttura 1

Liceo Scientifico Duca D'Aosta (Pistoia)

### **Destinazione della struttura**

Scuola con un' area calpestabile di 5100.0  $m^2$

### **Tipo di rischio**

Perdita di vite umane ( Rischio 1 )

Perdita economiche ( Rischio 4 )

### **Incendio**

#### **Carico d'incendio**

15.0  $kg/m^2$  (media pesata per metro quadrato)

#### **Rischio d'incendio**

Rischio d'incendio ridotto

#### **Caratteristiche particolari**

Pericolo di panico ridotto (Fattore di incremento  $r = 2.00$ )

#### **Misure di protezione contro l'incendio**

Estintori ( $K_f = 0,9$ )

Idranti ( $K_f = 0,8$ )

Vie di fuga ( $K_f = 0,7$ )

Impianto di segnalazione manuale ( $K_f = 0,7$ )

Compartimento antincendio  $500 < S \leq 2000$   $m^2$  ( $K_f = 0,7$ )

### **Impianti esterni**

#### **Linea 1**

Arrivo linea

linea di energia

cavo interrato in Terreno (  $500 \Omega \cdot m$  ) con una lunghezza di 200.0 m

linea attraverso area urbana

Cavo non schermato ( $P_e = 0,8$ )

### **Impianti interni**

#### **Note**

Non esistono impianti interni sensibili

#### **Linea 1**

Linee interne

Cavo non schermato ( $P_i = 1$ )

### **Danno medio**

Per i valori dei danni medi della struttura vengono usati i valori riportati nelle tabelle 10,14,15,16 della norma CEI 81-4

-  
-  
-  
-  
-

## 2. Calcolo

### Scelta del livello di protezione dell'LPS

#### **Densità annuale di fulmini**

$$N_t = 2.5 \text{ fulmini/anno km}^2$$

#### **Area di raccolta**

$$A_d = C \times A = 0.005758 \text{ km}^2$$

#### **Coefficiente ambientale**

$C = 0.25$  (Situata in un' area con presenza prevalente di strutture di altezza uguale o maggiore )

#### **Frequenza media di fulminazione diretta**

$$N_d = N_t \times A_d = 0.014396 \text{ fulmini/anno}$$

#### **Frequenza tollerabile di fulminazione**

$$N_a = 1.000000 \text{ fulmini/anno}$$

#### **Frequenza media di sovratensioni della linea Arrivo linea**

$$N_t \times L = 2.5 \times 0.2 = 0.50 \text{ fulmini/km anno}$$

#### **Valore limite di sovratensioni della linea Arrivo linea**

$N_i =$  La protezione non è mai richiesta (Tabella G.4)

## 3. Scelta delle misure di protezione

### **Costruzione autoprotetta**

La costruzione non ha l'obbligo dell'impianto LPS secondo norma CEI 81-1.

Nella "Introduzione" di essa viene però precisato che la sua applicazione riduce il rischio di danno provocato dal fulmine alla costruzione, ma non può evitare il verificarsi di danni a persone e/o cose.

Pertanto è da effettuare una valutazione tecnico/ economica per:

- limitare la propagazione dell'incendio e contenerne gli effetti:
- limitare le sovratensioni sui circuiti interni alla struttura.