

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

**AFFIDAMENTO IN CONCESSIONE, A MEZZO DI FINANZA DI PROGETTO,
DEL SERVIZIO DI GESTIONE DEGLI IMPIANTI DI PUBBLICA ILLUMINAZIONE,
LORO MESSA IN SICUREZZA ELETTRICA E MECCANICA,
EFFICIENTAMENTO CON TOTALE RICONVERSIONE A LED
E ADEGUAMENTO ALLA L. R. 20/2005**



DATA: 10/ 11 / 2019	PROGETTO ESECUTIVO DEI LAVORI ACCESSORI RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA	IL PROGETTISTA:  
--	--	---

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

INDICE

- 1. SINTESI DELLE PIÙ SIGNIFICATIVE CRITICITÀ CHE CON IL PROGETTO SI INTENDE ELIMINARE**
- 2. PRINCIPALI NORME, LEGGI E REGOLAMENTI INERENTI IL PROGETTO**
- 3. ZONIZZAZIONE AI SENSI DELLA L.R. 20/2005**
- 4. CALCOLI DELLE STRUTTURE E DEGLI IMPIANTI**
 - 4.1 DIMENSIONAMENTO DEI BASAMENTI**
 - 4.2 PROGETTAZIONE E SICUREZZA ELETTRICA**
 - 4.2.1 CADUTA DI TENSIONE E MINIMA CORRENTI DI CORTO-CIRCUITO**
 - 4.2.2 PROTEZIONE DAI CONTATTI DIRETTI: IL GRADO IP**
 - 4.2.3 PROTEZIONE MEDIANTE INTERRUZIONE AUTOMATICA DELL'ALIMENTAZIONE**
 - 4.2.4 CLASSE II E IMPIANTI DI TERRA**
 - 4.3 PROGETTAZIONE ILLUMINOTECNICA**
 - 4.3.1 INDIVIDUAZIONE DELLE CATEGORIE ILLUMINOTECNICHE DI PROGETTO DELLE STRADE**
 - 4.3.2 CLASSIFICAZIONE STRADE DI PROGETTO ED ESITO DELLA PROGETTAZIONE**
- 5. LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA ED EFFICIENTAMENTO PREVISTI**
 - 5.1 FERENTILLO**
 - 5.2 MONTELEONE DI SPOLETO**
 - 5.3 SANT'ANATOLIA DI NARCO**
 - 5.4 SCHEGGINO**
- 6. VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE E AZIONI DI MITIGAZIONE**
 - 6.1 EMISSIONI DI INQUINAMENTO O GAS EFFETTO SERRA**
 - 6.2 SICUREZZA FOTOBIOLOGICA (PER L'UOMO) DEGLI APPARECCHI LED DI PROGETTO**
 - 6.3 EFFETTI SULLA FLORA DELLA LUCE DEGLI IMPIANTI PRE E POST-EFFICIENTAMENTO**
 - 6.4 EFFETTI SULL'INQUINAMENTO LUMINOSO VERSO LA VOLTA CELESTE**

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

1. SINTESI DELLE PIÙ SIGNIFICATIVE CRITICITÀ CHE CON IL PROGETTO SI INTENDE ELIMINARE

Oltre all'efficientamento e al miglioramento dell'illuminazione pubblica, il presente progetto dovrà eliminare le seguenti gravi criticità che attualmente caratterizzano gli impianti della Illuminazione Pubblica e che possono essere così riassunte:



Circa 120 pali metallici sono in avanzato stato di ossidazione.



Un buon numero di pali della Illuminazione sono utilizzati anche per sostenere cavi aerei sebbene non siano adeguati a sostenere il "tiro" di dette linee.



Molte forniture di energia elettrica sono allacciate direttamente alla rete BT di Enel Distribuzione, spesso con misura dell'energia "a forfait", senza valide protezioni elettriche, in particolare "differenziali" in quanto spesso il conduttore del neutro è "promiscuo" (ovvero, un unico conduttore alimenta assieme sia le utenze BT che l'impianto di Illuminazione Pubblica).



Molti quadri elettrici sono metallici, ossidati e non rispondenti alle norme; inoltre, gli impianti sono in classe I di isolamento e spesso (come tollerato dalla norma CEI 64/8 fino alla edizione di giugno 2005) privi di conduttore di equipotenzialità delle masse metalliche e con protezioni differenziali in genere da 300 o 500 mA, ciò determinando seri pericoli di elettrocuzione in caso di contatto con una massa metallica dell'impianto in tensione causa guasto.

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

2. PRINCIPALI NORME, LEGGI E REGOLAMENTI INERENTI IL PROGETTO

Oltre il rispetto della L.R 20/2005 e suo regolamento attuativo 02/2007 di cui si è detto al paragrafo precedente, il progetto è assoggettato a tutta una serie di norme e Leggi di cui si riportano a seguire le principali:

L. n°186/68 - *Disposizioni concernenti la produzione di apparecchiature, materiali, macchinari, installazioni e impianti elettrici ed elettronici.*

DPR n° 495/92 - *Regolamento al nuovo codice della strada.*

DPR n° 462/01 - *Regolamento di semplificazione del procedimento per la denuncia di installazioni e dispositivi di protezione contro le scariche atmosferiche, di dispositivi di messa a terra di impianti elettrici e di impianti elettrici pericolosi.*

DM 27/09/2017 - *Criteri ambientali minimi per ...acquisto di lampade a scarica ad alta intensità e moduli per ...led per illuminazione pubblica, per l'acquisto di apparecchi di illuminazione per illuminazione pubblica e per l'affidamento del servizio di progettazione di impianti di illuminazione pubblica.*

CEI 11-27 (2014) - *Lavori su impianti elettrici.*

CEI 11-48 (2014) - *Esercizio degli impianti elettrici.*

CEI 64-8 V4 (2017) - *Impianti elettrici utilizzatori a tensione non superiore a 1000V in corrente alternata e a 1500V in corrente continua.*

CEI 64-19 (2016) - *Guida agli impianti di illuminazione esterna.*

UNI 11630 (2016) - *Luce e Illuminazione – Criteri per la stesura del progetto illuminotecnico.*

UNI 11248 (2016) - *Illuminazione stradale – Selezione delle categorie illuminotecniche.*

UNI EN 13201-2-3-4-5 (2016) - *Illuminazione stradale.*

UNI EN 40 - *Pali per Illuminazione Pubblica.*

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

3. ZONIZZAZIONE AI SENSI DELLA L.R. 20/2005

La Regione Umbria con D.G.R. n. 1173 del 9/7/07 (L.R. n. 20/05. Norme in materia di prevenzione dell'inquinamento luminoso e risparmio energetico. Individuazione delle zone di particolare protezione degli osservatori astronomici) ha fornito la mappatura delle aree di territorio interessate:



Come si può osservare dalla cartografia, solo il territorio di Ferentillo è interessato a sud dalla zona di particolare protezione di un osservatorio astronomico non professionale localizzato nel comune di Arrone; questa porzione di territorio è peraltro del tutto priva di impianti di illuminazione pubblica.

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

4. CALCOLI DELLE STRUTTURE E DEGLI IMPIANTI

4.1 DIMENSIONAMENTO DEI BASAMENTI

Nel progetto sono previsti nuovi basamenti per l'installazione di pali zincati dritti di varie altezze; a seguire si riporta il calcolo riferito ad una delle tipologie (palo dritto H f.t. 8 m) a rappresentare il metodo utilizzato.

I dati input assunti per il calcolo sono i seguenti:

Zona 3, $v_b = 27\text{m/s}$;

Coefficienti di attrito ininfluenti ;

Coefficiente dinamico $c_d = 1$;

Coefficiente di forma degli apparecchi 1,2 ;

Categoria di esposizione II ;

Massimo SCx dei corpi illuminanti = 0,07

Minimo peso del corpo illuminante = 5,2 kg ;

Peso Hf.t. 8 m, peso = 68 kg, diametro di base 148 mm (punta 60 mm) ;

Peso specifico dei basamenti = 2.150 kg/m^3 ;

Forma del basamento = parallelepipedo a pianta quadrata ;

Sede di infissione del palo baricentrica ;

Cavità del pozzetto ricavato nel basamento $(0,3 \cdot 0,3 \cdot 0,3) = 0,027\text{ m}^3$, ininfluente.

Primo passo per il dimensionamento dei basamenti è procedere al calcolo delle massime sollecitazioni prodotte dal vento sul sostegno conico e sull'apparecchio con infissione nel plinto di 0,8 m:

Zona di ventosità relativa alla situazione in studio = **ZONA 3** per cui **$v_b = 27\text{ m/s}$**

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

3.3.2 VELOCITÀ DI RIFERIMENTO

La velocità di riferimento v_b è il valore caratteristico della velocità del vento a 10 m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II (vedi Tab. 3.3.II), mediata su 10 minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni.

In mancanza di specifiche ed adeguate indagini statistiche v_b è data dall'espressione:

$$v_b = v_{b,0} \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m} \quad (3.3.1)$$

dove:

$v_{b,0}$, a_0 , k_a sono parametri forniti nella Tab. 3.3.I e legati alla regione in cui sorge la costruzione in esame, in funzione delle zone definite in Fig. 3.3.1;

a_s è l'altitudine sul livello del mare (in m) del sito ove sorge la costruzione.

Pressione cinetica di riferimento: $q_b = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 27^2 = 455,625 \text{ N/m}^2$

3.3.6 PRESSIONE CINETICA DI RIFERIMENTO.

La pressione cinetica di riferimento q_b (in N/m^2) è data dall'espressione:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2 \quad (3.3.4)$$

dove

v_b è la velocità di riferimento del vento (in m/s);

ρ è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a $1,25 \text{ kg/m}^3$.

Individuazione dei **coefficienti di esposizione (C_e)** da utilizzare nei calcoli:

3.3.7 COEFFICIENTE DI ESPOSIZIONE

Il coefficiente di esposizione c_e dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno, e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. In assenza di analisi specifiche che tengano in conto la direzione di provenienza del vento e l'effettiva scabrezza e topografia del terreno che circonda la costruzione, per altezze sul suolo non maggiori di $z = 200 \text{ m}$, esso è dato dalla formula:

$$c_e(z) = k_r^2 c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min} \quad (3.3.5)$$

dove

k_r , z_0 , z_{\min} sono assegnati in Tab. 3.3.II in funzione della categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione;

c_t è il coefficiente di topografia.

Tabella 3.3.II – Parametri per la definizione del coefficiente di esposizione

Categoria di esposizione del sito	k_r	z_0 [m]	z_{\min} [m]
I	0,17	0,01	2
II	0,19	0,05	4
III	0,20	0,10	5
IV	0,22	0,30	8
V	0,23	0,70	12

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

Il coefficiente di topografia c_t è posto generalmente pari a 1, sia per le zone pianeggianti sia per quelle ondulate, collinose e montane. In questo caso, la Fig. 3.3.3 riporta le leggi di variazione di c_e per le diverse categorie di esposizione.

Classe di rugosità del terreno	Descrizione
A	Aree urbane in cui almeno il 15% della superficie sia coperto da edifici la cui altezza media superi i 15m
B	Aree urbane (non di classe A), suburbane, industriali e boschive
C	Aree con ostacoli diffusi (alberi, case, muri, recinzioni,...); aree con rugosità non riconducibile alle classi A, B, D
D	Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,...)

L'assegnazione della classe di rugosità non dipende dalla conformazione orografica e topografica del terreno. Affinché una costruzione possa dirsi ubicata in classe A o B è necessario che la situazione che contraddistingue la classe permanga intorno alla costruzione per non meno di 1 km e comunque non meno di 20 volte l'altezza della costruzione. Laddove sussistano dubbi sulla scelta della classe di rugosità, a meno di analisi dettagliate, verrà assegnata la classe più sfavorevole.

	ZONE 1,2,3,4,5				
	costa			500m	750m
	mare				
	2 km	10 km	30 km		
A	--	IV	IV	V	V
B	--	III	III	IV	IV
C	--	*	III	III	IV
D	I	II	II	II	III
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5					
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1					

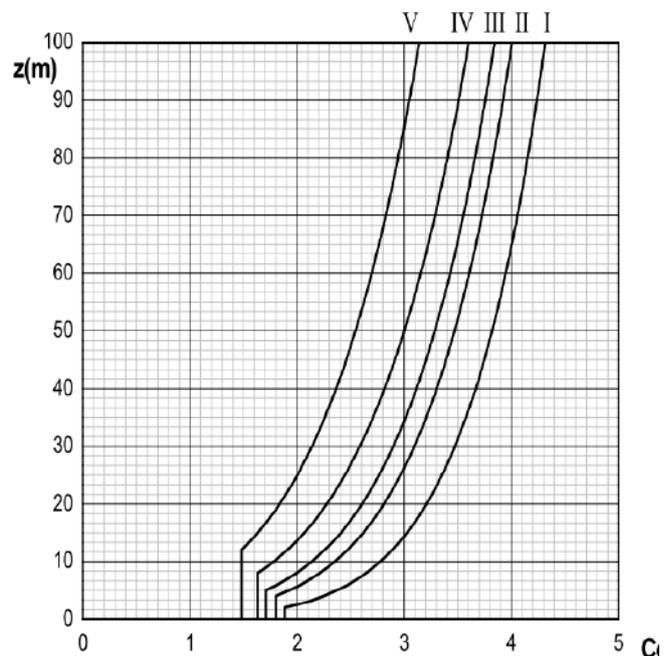


Figura 3.3.3 - Andamento del coefficiente di esposizione c_e con la quota (per $c_t = 1$)

Assumiamo a favore della sicurezza la categoria di esposizione II che è la più severa per la zona considerata (Zona 3, classe di rugosità D, alt. ≤ 500 m s.l.m distanza dalla costa marina > 30 km).

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

Nella tabella che segue sono stati calcolati per la classe di esposizione II i coefficienti di esposizione a diverse altezze e che utilizzeremo per calcolare le azioni del vento sugli elementi installati sul palo (apparecchi) e le azioni sul palo stesso, calcolate per segmenti successivi di 1 metro; a favore della sicurezza ad ognuno di questi elementi sarà assegnato il c_e riferibile al punto posto a maggior altezza dal suolo appartenente all'elemento o segmento di palo considerato.

La formula utilizzata è: $c_e (Z) = 0,19^2 \ln_{0,05} \frac{Z}{0,05} (7 + \ln_{0,05} \frac{Z}{0,05})$

Coefficiente di esposizione per varie altezze dal suolo in categoria di esposizione II											
ce (1~4)	1,8	ce (5)	1,93	ce (6)	2,04	ce (7)	2,13	ce (8)	2,21	ce (9)	2,29

Il Coefficiente d'attrito (c_f) per superfici lisce come quelle oggetto di calcolo è praticamente ininfluenza mentre il Coefficiente dinamico da utilizzare è $c_d = 1$.

3.3.8 COEFFICIENTE DINAMICO

Il coefficiente dinamico tiene in conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità delle massime pressioni locali e degli effetti amplificativi dovuti alla risposta dinamica della struttura.

Esso può essere assunto cautelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.

Coefficienti di forma (c_p) per il palo da utilizzare nei calcoli:

C3.3.10 COEFFICIENTE DI FORMA (O AERODINAMICO)

In assenza di valutazioni più precise, suffragate da opportuna documentazione o prove sperimentali in galleria del vento, per il coefficiente di forma si assumono i valori riportati ai punti seguenti, con l'avvertenza che si intendono positive le pressioni dirette verso l'interno delle costruzioni.

C3.3.10.6 Corpi cilindrici

Per i corpi cilindrici a sezione circolare di diametro d e altezza h (ambidue espressi in metri) i coefficienti c_p sono i seguenti:

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

$$c_p = \begin{cases} 1,2 & \text{per } d\sqrt{q} \leq 2,2 \\ (1,783 - 0,263d\sqrt{q}) & \text{per } 2,2 < d\sqrt{q} < 4,2 \\ 0,7 & \text{per } 4,2 \leq d\sqrt{q} \end{cases}$$

per $q = q_b c_e$ (N/m²), con q_b e c_e definiti rispettivamente ai §§ 3.3.6 e 3.3.7 delle NTC.

L'azione di insieme esercitata dal vento va valutata con riferimento alla superficie proiettata sul piano ortogonale alla direzione del vento.

Nel nostro caso, potendosi assimilare il palo tronco-conico ad un corpo cilindrico, calcoliamo anche il coefficiente di forma per gli elementi installati sul palo e per il palo suddiviso in elementi successivi di 1 metro a partire dalla base e prendendo il diametro del palo a metà di ciascun elemento.

Ne esce la tabella sotto riportata:

Coefficienti di forma dei pali conici per sezioni successive di un metro a partire da terra									
Altezze fuori terra dei pali	Tratto 0-1m	Tratto 1-2 m	Tratto 2-3 m	Tratto 3-4 m	Tratto 4-5 m	Tratto 5-6 m	Tratto 6-7 m	Tratto 7-8 m	Tratto 8-9 m
3 m	1,09	1,20	1,20						
4 m	1,01	1,09	1,20	1,20					
5 m	0,94	1,01	1,09	1,20	1,20				
6 m	0,86	0,94	1,01	1,09	1,20	1,20			
7 m	0,79	0,86	0,94	1,01	1,08	1,13	1,20		
8 m	0,71	0,79	0,86	0,94	1,00	1,05	1,12	1,20	
9 m	0,64	0,71	0,79	0,86	0,92	0,97	1,03	1,10	1,20

Procediamo quindi al primo calcolo, ovvero quello per il palo dritto, spessore 3 mm, altezza f.t. 8 m:

Calcolo delle azioni tangenziali del vento sui vari elementi (p_f):

Per superfici lisce come quelle oggetto dei nostri calcoli si può trascurare il coefficiente di attrito e l'azione tangenziale del vento sui vari elementi vale:

$$p_f = q_b \cdot c_e$$

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

Alle pagine precedenti abbiamo individuato i dati generali per calcolare le azioni tangenziali del vento sui vari elementi che compongono il sostegno nel contesto ambientale scelto, che si possono così riassumere:

$v_b = 27\text{m/s}$ (velocità di riferimento del vento);

$q_b = 456\text{ N/m}^2$ (pressione cinetica di riferimento);

$C_e (1\sim4) = 1,8$; $C_e (5) = 1,93$; $C_e (6) = 2,04$; $C_e (7) = 2,13$; $C_e (8) = 2,21$.
(coefficiente di esposizione).

$C_p (0-1) = 0,71$; $C_p (1-2) = 0,79$; $C_p (2-3) = 0,86$; $C_p (3-4) = 0,94$; $C_p (4-5) = 1$;
 $C_p (5-6) = 1,05$; $C_p (6-7) = 1,12$; $C_p (7-8) = 1,2$; $C_p (\text{apparecchio}) = 1,2$.

(coefficienti di forma dei vari tratti del palo e del corpo illuminante).

$S_p (0-1) = 0,145$; $S_p (1-2) = 0,135$; $S_p (2-3) = 0,125$; $S_p (3-4) = 0,115$; $S_p (4-5) = 0,105$;
 $S_p (5-6) = 0,095$; $S_p (6-7) = 0,085$; $S_p (7-8) = 0,075$.

$SC_x (\text{apparecchio}) = 0,07$.

(superfici esposte all'azione del vento dei vari tratti del palo e dell'apparecchio).

Peso palo = 68 kg ; peso corpo illuminante = 5,2 kg.

La spinta del vento sui vari elementi del sostegno vale quindi:

$P_f (\text{palo } 0-1\text{ m}) = 456 \cdot 1,80 \cdot 0,145 \cdot 0,71 = 84,5\text{ N} = 8,6\text{ kg}$

$P_f (\text{palo } 1-2\text{ m}) = 456 \cdot 1,80 \cdot 0,135 \cdot 0,79 = 87,5\text{ N} = 8,9\text{ kg}$

$P_f (\text{palo } 2-3\text{ m}) = 456 \cdot 1,80 \cdot 0,125 \cdot 0,86 = 88,2\text{ N} = 9,0\text{ kg}$

$P_f (\text{palo } 3-4\text{ m}) = 456 \cdot 1,80 \cdot 0,115 \cdot 0,94 = 90,6\text{ N} = 9,2\text{ kg}$

$P_f (\text{palo } 4-5\text{ m}) = 456 \cdot 1,93 \cdot 0,105 \cdot 1,00 = 92,4\text{ N} = 9,4\text{ kg}$

$P_f (\text{palo } 5-6\text{ m}) = 456 \cdot 2,04 \cdot 0,095 \cdot 1,05 = 92,8\text{ N} = 9,5\text{ kg}$

$P_f (\text{palo } 6-7\text{ m}) = 456 \cdot 2,13 \cdot 0,085 \cdot 1,12 = 92,5\text{ N} = 9,4\text{ kg}$

$P_f (\text{palo } 7-8\text{ m}) = 456 \cdot 2,21 \cdot 0,075 \cdot 1,20 = 90,7\text{ N} = 9,2\text{ kg}$

$P_f (\text{corpo illuminante a } 9\text{ m}) = 456 \cdot 2,21 \cdot 0,07 \cdot 1,20 = 81,5\text{ N} = 8,5\text{ kg}$

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

Possiamo ora calcolare il massimo Momento Ribaltante (M_R) determinato dalla spinta del vento considerando, a favore della sicurezza, che le spinte siano applicate nel punto più alto dell'elemento e ponendo la condizione che il plinto sia a pianta quadra, con sede di infissione del palo perfettamente baricentrica e di altezza pari ad 1 metro (visto che per questo tipo di sostegni l'infissione del palo nel basamento è prevista di 0,8 metri).

Per il palo Hf.t. 8 m abbiamo:

$$M_R = 8,6 + 8,9 \cdot 2 + 9 \cdot 3 + 9,2 \cdot 4 + 9,4 \cdot 5 + 9,5 \cdot 6 + 9,4 \cdot 7 + 9,2 \cdot 8 + 8,5 \cdot 8 = \mathbf{402 \text{ kg}\cdot\text{m}}$$

Il Momento Ribaltante così calcolato deve essere moltiplicato per il fattore 1,5 e il valore risultante è il **Momento Ribaltante di progetto, pari quindi a 603 kg·m**, che deve risultare \leq del Momento Stabilizzante di progetto.

Calcoliamo quindi il Momento Stabilizzante di progetto che si avrebbe ad esempio con un ipotizzato basamento monolitico a pianta quadrata con palo esattamente nel mezzo (peso specifico del calcestruzzo = 2.150 kg/m^3) di forma perfettamente cubica e del lato di 0,9 metri verificando poi se il rapporto tra Momento Ribaltante di progetto e Momento Stabilizzante di progetto $M_R/M_S \leq 1$ che è la condizione necessaria affinché sia ritenuto conseguito il richiesto grado di sicurezza:

$$\text{Volume plinto} = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,81 \text{ m}^3; \text{ Peso plinto} = 0,81 \cdot 2.150 = 1.741 \text{ kg};$$

$$\text{Metà lato plinto} = 0,45 \text{ m}; \text{ Peso palo} = 68 \text{ kg}; \text{ Peso del corpo illuminante} = 5 \text{ kg}.$$

$$\mathbf{\text{Momento Stabilizzante} = (1.741 + 68 + 5) \text{ kg} \cdot 0,45 \text{ m} = \mathbf{816 \text{ kg}\cdot\text{m}}$$

$$\mathbf{M_R/M_S = 603 / 816 = 0,74 \leq 1 \quad (\text{ok})}$$

Conclusione: al palo conico da 8 m f.t. di peso 68 kg nella più severa categoria di esposizione possibile per la Zona 3 considerata (II) con un apparecchio cima-palo SCx 0,07, un basamento monolitico in cemento a pianta quadra del lato di 0,9 m, altezza 1 m, con palo infisso esattamente al centro, è milto più che sufficiente a garantirne la stabilità pur senza considerare il contributo laterale del terreno.

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

4.2 PROGETTAZIONE E SICUREZZA ELETTRICA

4.2.1 CADUTA DI TENSIONE E MINIMA CORRENTI DI CORTO-CIRCUITO

Oltre alla trattazione degli argomenti elencati a titolo del paragrafo, in questa parte si intende mostrare come con il passaggio dalla tecnologia delle lampade a scarica quella led, per effetto dell'enorme riduzione delle potenze e del miglioramento del $\cos\phi$, sia possibile la trasformazione da trifase a monofase dell'alimentazione degli impianti con notevoli vantaggi tra i quali, i più importanti sono:

- ⇒ **aumento del tempo di vita tecnica delle preesistenti linee di alimentazione;**
- ⇒ molto **più affidabile funzionamento delle protezioni differenziali;**

Le ragioni per cui il passaggio dall'esercizio trifase a quello monofase "allunga" la vita e la possibilità di utilizzo delle linee elettriche esistenti sono sostanzialmente due:

- ⇒ Le linee, alimentate "monofase", verranno "sollecitate" a tensione 230 volt anziché 400 volt (addirittura non sollecitati affatto i poli dei cavi eventualmente lasciati intenzionalmente disalimentati);
- ⇒ Nella gestione futura dell'impianto trasformato da trifase a monofase si potrà contare su alcuni poli "di riserva" del cavo quadripolare esistente, con la conseguenza di poter ovviare a guasti irrimediabili dei poli utilizzati senza bisogno di sostituzione dei cavi (spesso nei vecchi impianti associata anche alla necessità di scavi in quanto non sfilabili).

Prima di addentrarci nei calcoli, occorre premettere che le linee elettriche degli impianti di illuminazione pubblica sono caratterizzate da carichi monofase variabili e variamente distribuiti per cui il preciso calcolo della c.d.t. risulta spesso laborioso; a semplificare un po' i calcoli, peraltro, interviene il fatto che la sezione di fase è pari a quella del neutro (in quanto i cavi sono di sezione di fase inferiore ai 35 mm²) e nei calcoli la reattanza induttiva dei cavi può essere ignorata in quanto irrilevante fino a sezioni di 95 mm²).

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

Dette linee, realizzate in genere con cavi ad isolamento rinforzato 0,6/1kV e di sezione tale da non determinare cadute di tensione a fondo linea superiori al 5% ammesso, debbono contemporaneamente avere un dimensionamento che garantisca in ogni punto correnti minime di corto circuito Fase-Neutro di valore sufficiente a provocare l'intervento della protezione termomagnetica in tempi utili a salvaguardare l'integrità dei cavi.

È noto che se la corrente nominale dell'interruttore "a monte" della linea assicura la protezione dei cavi dal sovraccarico, ovvero è verificata la condizione per cui $I_b < I_n < I_z$ e $I_f < 1,45 I_z$ dove:

I_n = Corrente nominale della protezione,

I_b = Corrente di impiego del conduttore,

I_f = Corrente convenzionale di funzionamento,

I_z = Portata elettrica del conduttore riferita alla specifiche "condizioni di posa",

allora il cavo è certamente anche protetto dal corto-circuito, in caso contrario deve invece essere verificata l'esistenza della condizione: $(I^2 \cdot t) \leq K^2 \cdot S^2$, ovvero, il cosiddetto "impulso termico" associato alla corrente di corto-circuito che può permanere per il massimo tempo t di sicuro intervento della protezione, non deve superare il valore $K^2 \cdot S^2$ dove S è la più piccola sezione del conduttore di più piccola sezione facente parte del circuito interessato al passaggio della corrente di corto mentre K è una costante legata alle caratteristiche dell'isolamento del cavo e che vale, ad esempio:

143 per i conduttori in rame isolati con gomma etilenpropilenica;

135 per i conduttori in rame isolati con gomma ordinaria o butilica;

115 per i conduttori in rame isolati in PVC;

74 per i conduttori in alluminio isolati in PVC.

Se detta condizione è rispettata, il cavo è protetto.

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

A tal fine, per il calcolo delle lunghezze massime protette può essere utilmente adottata la formula semplificata e molto cautelativa proposta dalla Norma CEI 64-8, ovvero:

$$I_{cc,min} = \frac{0,8 \cdot U \cdot S}{1,5 \cdot \rho \cdot Lc} \cdot \frac{1}{1+m} \cdot K_x \quad \text{dove:}$$

- 0,8** = coefficiente che tiene conto del presumibile abbassamento della tensione per effetto del corto circuito;
- U** = tensione del circuito di guasto (tensione F-N per circuito trifase con neutro distribuito quale gli impianti IP di progetto);
- S** = sezione del cavo [mm²] ovvero la sezione "media ponderata" nel caso di tratti di diversa sezione;
- 1,5** = fattore che tiene conto dell'incremento della resistività del cavo dovuto all'aumento di temperatura durante il corto circuito;
- ρ** = resistività del conduttore a 20°C [per il rame 0,0178 Ω mm²/m];
- LC** = lunghezza del cavo;
- m** = S_F/S_N = rapporto fra le sezioni dei conduttori di fase e di neutro nel caso di circuito monofase o trifase con neutro distribuito;
- K_x** = coefficiente che tiene conto della reattanza del cavo (vale 1 per sezioni fino a 95 mm²).

Ai fini del calcolo della minima corrente di cortocircuito, tenendo conto del fatto che:

- ⇒ le sezioni delle linee di illuminazione pubblica sono sempre di sezione $\leq 25 \text{ mm}^2$ e quindi la sezione di fase è uguale a quella del neutro, ovvero $1 + m = 2$,
- ⇒ la tensione fase-neutro è ormai ovunque unificata a 230 volt,
- ⇒ il coefficiente che tiene conto della reattanza per dette sezioni è ≈ 1 ,

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

la formula semplificata proposta dalla Norma CEI 64-8 si riduce a:

$$I_{cc,min} = \frac{0,8 \cdot 230 \cdot S}{1,5 \cdot 0,0178 \cdot 2 \cdot Lc}$$

e raccogliendo assieme tutti i termini numerici costanti avremo:

$$I_{cc,min} = 3.446 \cdot S / Lc$$

Cerchiamo di calcolare i limiti di utilizzo di 4 diversi tipi di cavo, ovvero un Cu 2x4 mm², un Cu 2x6 mm², un Cu 2x10 mm² e un Al 2x16 mm², tutti con vecchio isolamento in PVC (K = 115 per i cavi in rame, K = 74 per quello in alluminio).

Cerchiamo ora di produrre una tabella che possa riassumere in modo chiaro il limiti di utilizzabilità di alimentazioni bipolari di varia sezione con cavi con isolamento in PVC; i dati della tabella dovranno tener conto di una serie di condizioni limite che vorremo imporre e che sono:

Apparecchi con $\cos\phi$ circa 0,9 e distribuiti in modo pressoché uniforme lungo la linea;

Protezione a monte della linea realizzata con interruttore MGT IN 16 A curva C;

Contenuto impulso termico in caso di corto circuito ($I^2 \cdot t \ll K^2 \cdot S^2$);

Minima corrente di corto circuito ≥ 2 volte la I_N dell'interruttore;

Massima caduta di tensione sempre $< 5\%$.

I massimi impulsi termici che i cavi elencati possono sostenere senza rischio di danneggiamento sono rispettivamente:

per il cavo in rame da 4 mm² di sezione = $4^2 \times 115^2 = 211.600 \text{ A}^2\text{s}$;

per il cavo in rame da 6 mm² di sezione = $6^2 \times 115^2 = 476.100 \text{ A}^2\text{s}$;

per il cavo in rame da 10 mm² di sezione = $10^2 \times 115^2 = 1.322.500 \text{ A}^2\text{s}$;

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

per il cavo in alluminio da 16 mm² di sezione = 16² x 74² = 1.401.850 A²s.

Avere una corrente di corto-circuito a fondo linea > 2 volte la I_N dell'interruttore significa limitare la massima lunghezza dei cavi, a partire dall'interruttore, ai seguenti valori:

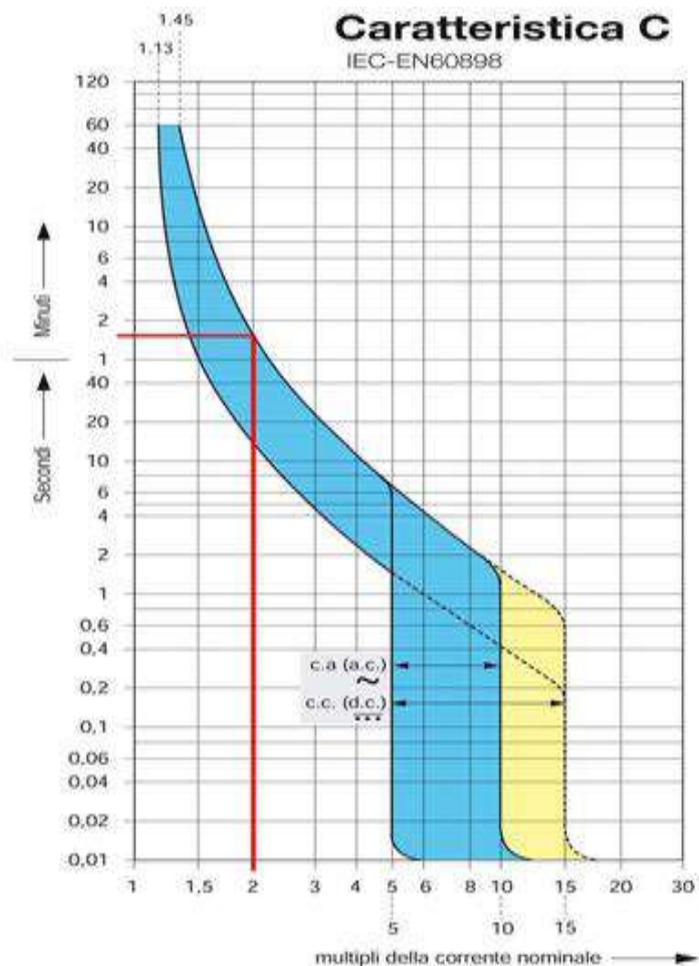
Per il cavo in rame isolato in PVC da 4 mm², lunghezza massima 430 metri;

Per il cavo in rame isolato in PVC da 6 mm², lunghezza massima 650 metri;

Per il cavo Cu 10 mm² o Al 16 mm² isolati in PVC, lunghezza massima 1.075 metri.

A fianco è mostrata la curva di scatto di un interruttore MGT curva C, e le due linee rosse, nel loro punto di intersezione, indicano che questo tipo di interruttore se attraversato da una corrente pari a 2 volte la nominale, ha un tempo di "sicuro intervento" di circa 90 secondi.

In tal caso, quindi, la I² • t relativa ad un corto circuito a fondo linea, equivalente per le diverse massime lunghezze calcolate per ogni sezione, varrà: (32 A)² • 90 s = 92.160 A²s



Dai calcoli, tenuto conto di tutte le condizioni che si è inteso imporre, ne deriva la seguente tabella:

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

Linee Protette con Interruttore MGT curva C IN 16 A

Potenza nominale dei punti luce ($\cos\varphi \geq 0,9$):

		20 W	30 W	40 W	50 W	60 W	70 W	80 W	90 W	100 W	110 W	120 W											
Lunghezza del cavo di linea della campata "media":	25 m	42	42	32	32	26	26	22	22	19	19	17	17	16	16	15	15	14	14	13	13	12	12
		26	17	26	17	21	17	18	16	16	14	12	13	11	12	10	11	10	10	9	10	8	8
	30 m	36	36	27	27	22	22	19	19	17	17	15	15	14	14	13	13	12	12	11	11	10	10
		22	14	22	14	19	14	16	14	14	12	13	11	12	10	11	9	10	8	9	8	8	7
	35 m	31	31	26	26	21	21	18	18	16	16	14	14	13	13	12	12	11	11	10	10	10	10
		19	12	19	12	18	12	15	12	13	11	12	10	11	9	10	8	9	8	8	7	8	6
	40 m	27	27	25	25	20	20	17	17	15	15	14	14	12	12	11	11	11	11	10	10	9	9
		16	11	16	11	16	11	14	11	13	11	11	10	10	9	9	8	9	7	8	7	8	6
	45 m	24	24	23	23	19	19	16	16	14	14	13	13	11	11	11	11	10	10	9	9	9	9
		14	10	14	10	14	10	14	10	12	10	10	9	9	8	9	8	8	7	7	7	7	6
	50 m	22	22	22	23	19	19	16	16	14	14	13	13	11	11	11	11	10	10	9	9	9	9
		13	9	13	9	13	9	13	9	12	9	10	9	9	8	9	7	8	7	7	6	7	6

Max n° punti luce allacciabili e lunghezze linea per contenere la caduta di tensione entro il 5% con cavo in alluminio 2x16 mm²

Max n° punti luce allacciabili e lunghezze linea per contenere la caduta di tensione entro il 5% con cavo in rame 2x10 mm²

Max n° punti luce allacciabili e lunghezze linea per contenere la caduta di tensione entro il 5% con cavo in rame 2x6 mm²

Max n° punti luce allacciabili e lunghezze linea per contenere la caduta di tensione entro il 5% con cavo in rame 2x4 mm²

Peraltro, nel passare una linea di alimentazione di Illuminazione Pubblica da trifase a monofase, possono anche essere utilizzati 3 (due per la fase ed uno per il neutro) o anche tutti i 4 poli del vecchio cavo (ad esempio, due per la fase e due per il neutro) sicché vengono ulteriormente ampliati i limiti di alimentazione (numero e distanze) dei punti luce.

Ipotizzando di adottare questa soluzione, a parità di condizioni imposte la massima lunghezza delle linee diventa:

Per il cavo in rame isolato in PVC da 4+4 mm², lunghezza massima 860 metri;

Per il cavo in rame isolato in PVC da 6+6 mm², lunghezza massima 1.300 metri;

Per il cavo Cu 10+10 mm² o Al 16+16 mm², lunghezza massima 2.150 metri.

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

Dai calcoli, tenuto conto di tutte le condizioni che si è inteso imporre, ne deriva la seguente tabella:

Linee Protette con Interruttore MGT curva C IN 16 A																								
Potenza nominale dei punti luce ($\cos\phi \geq 0,9$):																								
	20 W	30 W	40 W	50 W	60 W	70 W	80 W	90 W	100 W	110 W	120 W													
Lunghezza del cavo di linea della campata "media":	25 m	53	53	40	40	33	33	28	28	25	25	22	22	20	20	19	19	17	17	16	16	15	15	
		44	34	33	29	27	24	23	20	21	18	18	16	15	17	15	15	13	14	12	13	12	13	11
	30 m	46	46	35	35	29	29	24	24	22	22	19	19	18	18	16	16	15	15	14	14	13	13	13
		38	29	29	25	24	21	20	18	18	15	14	16	14	15	13	13	12	12	11	12	10	11	9
	35 m	43	43	33	33	27	27	24	24	21	21	18	18	17	17	15	15	14	14	13	13	13	13	13
		36	25	27	24	22	19	19	17	17	15	13	14	12	13	11	12	10	11	9	11	9	10	9
	40 m	42	42	32	32	26	26	22	22	19	19	17	17	16	16	15	15	14	14	13	13	12	12	12
		33	22	26	22	21	19	18	16	16	14	14	14	12	13	11	12	10	11	10	10	9	10	8
	45 m	40	40	30	30	25	25	21	21	19	19	17	17	15	15	14	14	13	13	12	12	11	11	11
		29	19	25	19	21	18	18	15	13	13	12	13	11	12	10	11	9	10	9	10	9	9	8
	50 m	39	39	29	29	24	24	20	20	18	18	16	16	15	15	14	14	13	13	12	12	11	11	11
		26	17	24	17	20	17	17	15	13	13	12	12	10	11	10	10	9	10	8	10	8	9	8

Max n° punti luce allacciabili e lunghezze linea per contenere la caduta di tensione entro il 5% con cavo in alluminio (2x2)x16 mm²
Max n° punti luce allacciabili e lunghezze linea per contenere la caduta di tensione entro il 5% con cavo in rame (2x2)x10 mm²
Max n° punti luce allacciabili e lunghezze linea per contenere la caduta di tensione entro il 5% con cavo in rame (2x2)x6 mm²
Max n° punti luce allacciabili e lunghezze linea per contenere la caduta di tensione entro il 5% con cavo in rame (2x2)x4 mm²

Peraltro, mentre nel caso delle vecchie lampade a scarica il contenere da caduta di tensione entro il 5% traeva ragione dal fatto che, ad esempio, per una lampada al sodio alta pressione il 5% di tensione di alimentazione in meno corrisponde a circa il 10% di flusso luminoso in meno; nei led, invece, gli alimentatori garantiscono di mantenere l'alimentazione allo stesso valore anche per variazioni di tensione alternata in ingresso molto maggiori; non ci sarebbero quindi ragioni tecniche particolari a tollerare una caduta di tensione, nei led, ad esempio del 10% che non comporterebbe alcun effetto sul funzionamento degli apparecchi ma consentirebbe di estendere ulteriormente la "capacità" delle linee in termini sia di potenze che distanze (la cosa peraltro, nei fatti, non è mai necessaria).

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

4.2.2 PROTEZIONE DAI CONTATTI DIRETTI: IL GRADO IP

Si ha un contatto diretto quando una persona tocca direttamente una parte attiva, anche quando il contatto avviene mediante un elemento conduttore che non sia una massa come ad esempio un attrezzo (CEI 64-8/2 art. 23.5).

Nei confronti dei contatti diretti si applica la regola generale per cui tutte le parti attive debbono essere isolate, oppure protette con involucri o barriere.

L'involucro di un componente elettrico, oltre che garantire la protezione dai contatti diretti, deve impedire l'ingresso di liquidi, polveri e corpi solidi.

Per gli impianti di illuminazione esterna è richiesto un grado di protezione contro l'ingresso di liquidi almeno pari a:

IPX8 (immersione in acqua continua) per i componenti interrati o installati in pozzetti senza drenaggio;

IPX7 (immersione per 30') per i componenti installati in pozzetti con drenaggio;

IPX5 (protezione contro i getti d'acqua) per gli apparecchi di illuminazione in galleria in quanto vengono puliti con getti d'acqua.

In tutti gli altri casi è richiesto un grado di protezione almeno IP33.

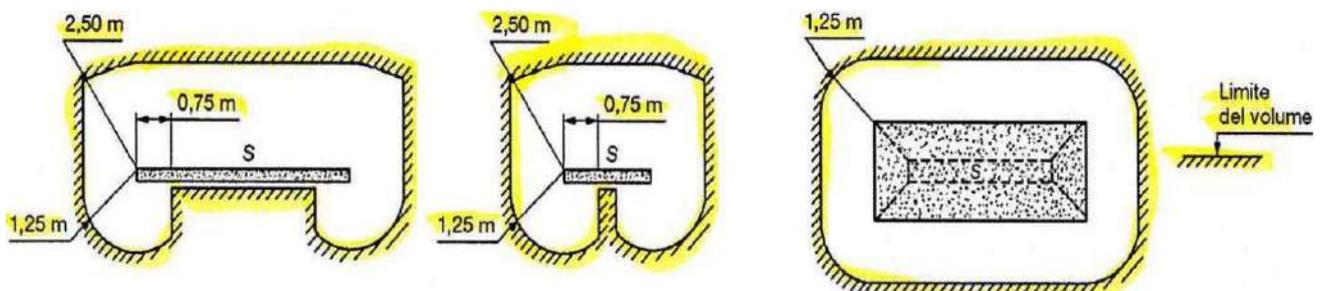
Il grado IP33 (minimo) tuttavia non è sufficiente in molti casi, ad esempio se l'apparecchio è vicino al terreno, perché esposto agli spruzzi; in tal caso occorre almeno il grado di protezione IPX4.

Inoltre per gli impianti I.P. si applicano le seguenti più restrittive prescrizioni:

⇒ se uno sportello, pur apribile con chiave o attrezzo, è posto a meno di 2,5 metri dal suolo e dà accesso a parti attive queste debbono essere inaccessibili al "dito di prova" (IPXXB), oppure devono essere protette da un ulteriore schermo, con uguale grado di protezione, a meno che lo sportello si trovi in un ambiente accessibile solo a persone autorizzate (CEI 64-8/7 art. 714.412);

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

- ⇒ le lampade non devono poter essere accessibili se non dopo aver rimosso un involucro o una barriera per mezzo di un attrezzo, a meno che l'apparecchio non si trovi ad un'altezza superiore ai 2,8 metri (protezione per distanziamento, CEI 64-8/7 art. 714.412);
- ⇒ la CEI 64-8/2 art. 23.10 definisce parti simultaneamente accessibili i conduttori o le parti conduttrici che possono essere toccate simultaneamente da una persona (parti attive, masse, masse estranee, conduttori di protezione, collettori di terra, pavimenti e pareti non isolanti); affinché un conduttore o una parte conduttrice rispetto a un punto o a una superficie occupata o percorsa ordinariamente da persone non dotate di attrezzi possano considerarsi protette per distanziamento, quelle rappresentate nella figura che segue sono le distanze minime necessarie (CEI 64-8/2 art. 23.11).



4.2.3 PROTEZIONE MEDIANTE INTERRUZIONE AUTOMATICA DELL'ALIMENTAZIONE

Il contatto indiretto avviene con una massa in tensione a seguito di un guasto di isolamento; negli impianti di illuminazione esterna la protezione contro i contatti indiretti può essere eseguita mediante interruzione automatica dell'alimentazione (CEI 64-8/4 art. 413.1).

Nel caso in cui si persegua questo tipo di protezione, tutte le masse dell'impianto di illuminazione devono essere collegate a terra mediante un conduttore di protezione (CEI 64-8/4 art. 413.1.1.2).

Il valore della resistenza dell'impianto di terra e il dispositivo di protezione del circuito (differenziale) devono essere coordinati in modo da interrompere il circuito in un tempo compatibile con la protezione del corpo umano.

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

Gli apparecchi da proteggere mediante interruzione automatica della alimentazione sono apparecchi di classe 1, dotati cioè di isolamento principale e morsetto di terra.

Normalmente la condizione di sicurezza si intende soddisfatta ove l'interruttore differenziale a protezione del circuito abbia corrente nominale di intervento tale da coordinarsi col valore della resistenza dell'impianto di terra in modo che:

$$R_E \leq 50 / I_{dn} \quad \text{dove:}$$

R_E è la resistenza di terra del dispersore in (ohm);

I_{dn} è la più elevata tra le correnti differenziali nominali di intervento dell'interruttore differenziale installato (A).

Tutte le masse protette da uno stesso interruttore differenziale devono essere collegate allo stesso impianto di terra (CEI 64-8/4 art. 413.1.4.1).

In realtà fino a giugno 2005 (unica eccezione tra gli impianti elettrici utilizzatori) per l'illuminazione pubblica era consentita la realizzazione di impianti di terra con picchetti singoli su ogni palo senza collegamento equipotenziale né tra i pali né con le eventuali masse estranee contemporaneamente accessibili con la conseguenza di possibile non intervento degli interruttori differenziali in caso di andata in tensione di masse metalliche, in presenza di preesistenti guasti a terra del conduttore del "neutro" tali da "drenare" in tutto o in parte la corrente di guasto della fase a terra facendola ritornare al differenziale impedendone l'intervento.

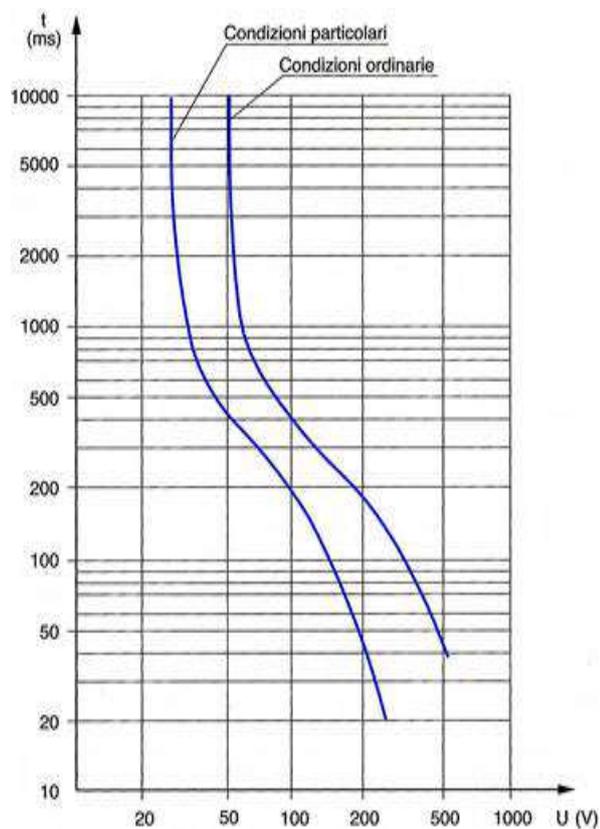
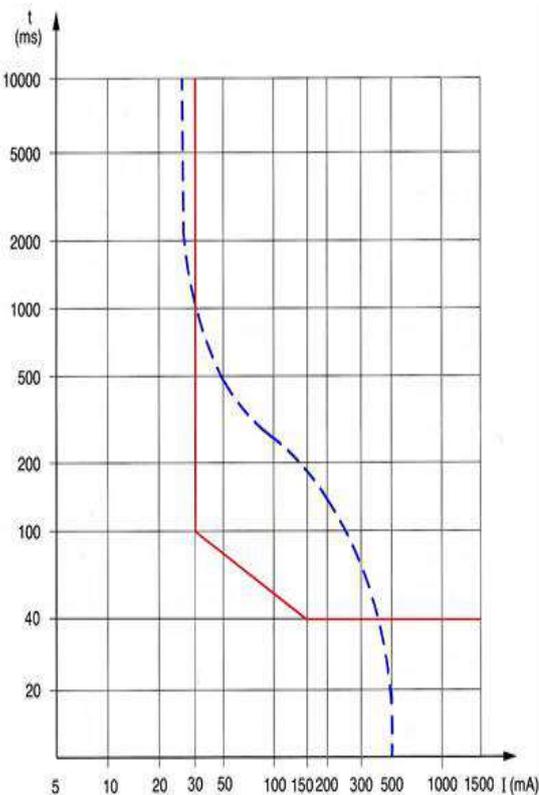
La tabella sotto riportata mostra il valore di resistenza del corpo umano assunta dalle norme per valutare la pericolosità del contatto con una tensione:

Tensione di contatto	25 V	50 V	75 V	100 V	125 V	230 V
Resistenza "due mani - due piedi" non superata dal 5% della popolazione	875Ω	725Ω	625Ω	600Ω	562Ω	500Ω

FERENTILLO**MONTELEONE DI SPOLETO****SCHEGGINO****SANT'ANATOLIA DI NARCO**

Le norme considerano poi che in "condizioni "ordinarie" la persona sia sottoposta alla tensione "due mani - due piedi" e per effetto di scarpe e terreno abbia in serie una ulteriore resistenza di 1.000Ω (vedi sotto tabella della tensione di contatto "due mani - due piedi" assunta dalla norma).

La curva blu tratteggiata indica il limite di sicurezza corrente-tempo assunto per stabilire i requisiti del sistema di protezione contro i contatti indiretti in bassa tensione mentre la curva rossa rappresenta il tempo di intervento di un differenziale con corrente nominale di 30 mA.



Moltiplicando i valori di corrente della curva blu tratteggiata per la somma della resistenza del corpo umano relativa alla specifica tensione di contatto più la resistenza esterna in serie all'individuo sottoposto a passaggio di corrente si ha il valore di tensione cui detto individuo è sottoposto.

Nelle condizioni "particolari", assumendo il contatto "due mani - due piedi", la resistenza da considerare in serie al corpo umano è di soli 200Ω e l'enorme differenza che ne deriva è resa evidente dalle due curve di sicurezza tempo-tensione del grafico a fianco ove si evidenzia che la tensione di contatto limite passa da 50 V a 25 V.

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

Da notare che il valore di resistenza di 200 Ω costituisce anche il limite di resistenza verso terra al di sotto del quale una parte metallica è da considerare "massa estranea" che se toccata da un individuo contemporaneamente alla massa in tensione per guasto, rende il contatto non più un contatto indiretto ma a tutti gli effetti un contatto diretto. Va infine ricordato che lo scatto dei normali interruttori differenziali deve essere verificato (con frequenza di almeno una volta ogni 6 mesi) tramite azionamento del pulsante di prova onde evitare il cosiddetto "effetto colla" che in caso di guasto può impedire l'apertura dei contatti o comunque ritardarla (nella reale gestione impiantistica, quasi sempre questi interruttori rimangono "chiusi" per anni e quando sono chiamati ad intervenire lo fanno con tempi dilatati o addirittura non aprono).

4.2.4 CLASSE 2 E IMPIANTI DI TERRA

Sebbene i nuovi apparecchi installati saranno in classe 2 di isolamento e si sostituiranno i tratti di cavo all'interno dei pali laddove gli attuali non siano ad isolamento rinforzato, verranno mantenuti gli impianti di terra che non siano "equipotenziali", bensì a picchetti singoli e saranno rimosse le equipotenzialità negli altri ove con ciò sia poi possibile qualificare gli impianti in classe 2 e ciò sulla base di un orientamento ormai sempre più diffuso tra i normatori secondo cui su pali della illuminazione con cavi ad isolamento rinforzato e corpo illuminante in classe 2 l'esistenza di un impianto di terra non equipotenziale non può che accrescere il livello di sicurezza poiché in caso di dispersione a terra riduce la differenza di potenziale tra il palo metallico in tensione e la zona di terreno immediatamente circostante, ovvero riduce proprio la tensione mano-piedi cui sarebbe sottoposto chi dovesse toccare il palo (un palo metallico infisso nel proprio basamento di calcestruzzo presenta normalmente verso terra resistenze che possono arrivare anche all'ordine del migliaio di ohm sicché in caso di cedimento del doppio

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

isolamento il contatto accidentale di una persona con la massa in tensione ha senza impianto di terra le caratteristiche proprie del contatto diretto).

In questo modo anche le protezioni differenziali potranno essere tarate su valori che, pur garantendo l'assoluta protezione, abbiano maggiori margini di immunità, e ciò in virtù dei ragionamenti, calcoli e verifiche proposti ad esempio dal Prof. Vito Carrescia (docente di "Tecnica della sicurezza elettrica" al politecnico di Torino) in un articolo pubblicato su Tuttonormel già nel 2007, che andremo di seguito a sviluppare:

Come già detto, gli apparecchi di classe 2 non richiedono la messa a terra, anzi la loro messa a terra, secondo una l'interpretazione fino a pochi anni fa assolutamente prevalente del complesso normativo, è assolutamente vietata. Questa proibizione fu introdotta dai normatori in quanto convinti che la messa a terra di apparecchi in classe 2 potesse esporre al rischio che la massa che si voleva proteggere potesse assumere una tensione prodotta da un guasto "altrove" e trasferita dall'impianto di terra, evento questo considerato più probabile del cedimento del doppio isolamento sicché negli ultimi anni man mano che si andava diffondendo l'abitudine di realizzare/convertire gli impianti di illuminazione pubblica in classe 2 l'impianto di terra o non veniva realizzato (impianti nuovi) o veniva distaccato dai pali (impianti riconvertiti).

In virtù di questo convincimento si è a lungo sostenuta una posizione che nel caso degli impianti di illuminazione pubblica è del tutto disancorata dalla realtà e che si basa sul ritenere possibile che la condizione di classe 2 di un impianto possa considerarsi facilmente garantita in assoluto e indefinitamente mentre invece, nei fatti, danneggiamenti degli isolamenti di apparecchi e cavi non possono non essere previsti (basti pensare agli atti vandalici, agli urti per incidenti stradali, all'attività dei roditori sui cavi e alle attività di ordinaria manutenzione ove l'errore umano o

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

il difettoso funzionamento di un morsetto da cui possa fuoriuscire il conduttore di fase e toccare la massa non può escludersi avendo anzi, nei grandi numeri, una sua significativa ricorrenza statistica).

Nei casi in cui un conduttore di fase viene a contatto con un palo della illuminazione pubblica privo di picchetto di terra, un palo metallico infisso nel proprio basamento di calcestruzzo, spesso con sede di infissione del palo realizzata in fase di getto con tubo in PVC, presenta normalmente verso terra resistenze che possono attivare anche all'ordine del migliaio di ohm e il contatto di una persona col palo assumerebbe le caratteristiche proprie del contatto diretto (la persona è sottoposta ad una tensione normativamente ipotizzata di 200 volt) e la resistenza verso terra del proprio corpo e delle eventuali scarpe viene a trovarsi in parallelo con la resistenza verso terra del palo e in serie con la resistenza verso terra del neutro della linea BT del Distributore pubblico).

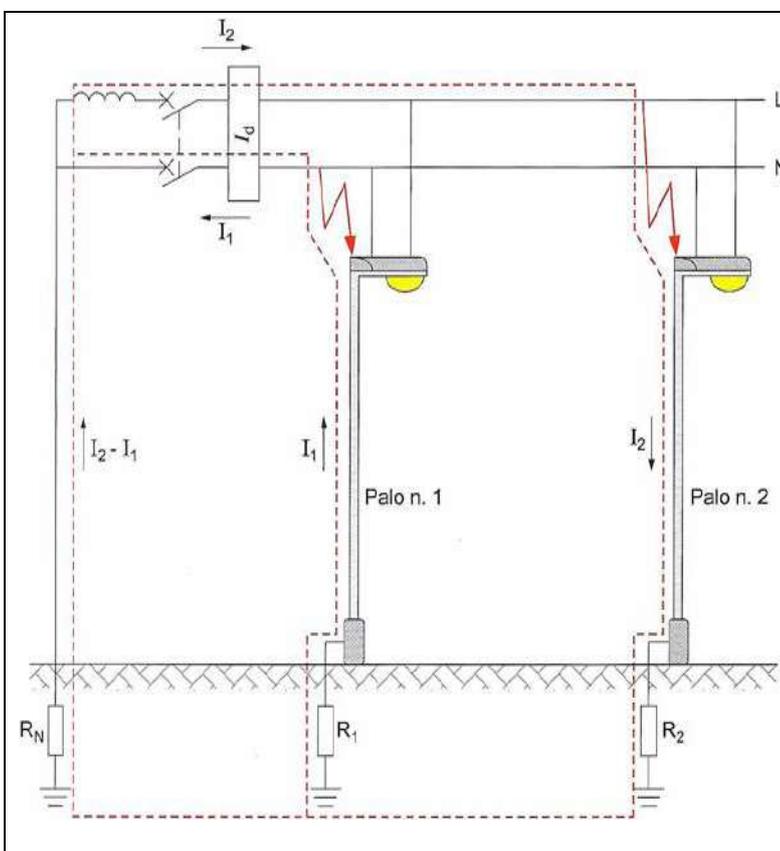
A peggiorare la situazione, la norma riguardo agli impianti in classe 2 di isolamento non impone la presenza di una protezione differenziale ma se questa viene installata la stessa norma impone debba essere da 30 mA, ovvero debba costituire "protezione aggiuntiva per i contatti diretti", col risultato che sugli impianti di illuminazione pubblica in classe 2 il differenziale non viene spesso installato per non esporsi a disservizi dovuti a scatti intempestivi in occasione soprattutto di transitori di rete.

Cercheremo ora di evidenziare come in realtà impianti costituiti da pali metallici con messe a terra singole non equipotenziali (per di più se con apparecchi in classe 2 e cavi ad isolamento rinforzato ove l'ipotesi di guasto a terra di una fase su un palo e compresenza di guasto a terra del neutro su un altro palo è ipotesi poco probabile e quindi si possa escludere con buon margine di sicurezza che il guasto a terra del neutro riguardi più di un palo) possano essere completamente protetti dai contatti "indiretti" con differenziali di corrente nominale anche > 30 mA.

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

Iniziamo col dire che la resistenza del neutro verso terra, in ambito urbano (dove gli impianti di terra delle cabine MT/BT del Distributore sono interconnessi tramite gli schermi metallici dei cavi MT e le terre di protezione e di funzionamento sono unite) è in realtà dell'ordine di 1Ω (spesso anche inferiore) mentre nelle cabine MT/BT periferiche (alimentate in MT con linee aeree e spesso con impianti di terra di protezione e di funzionamento separati, ponendo anche il caso di terreni particolarmente resistivi) la resistenza del neutro verso terra può valere al massimo intorno a una decina di ohm (la norma CEI 0-21, a tutela dei Distributori, ha posto il limite a 180Ω che in realtà è un valore altissimo praticamente mai riscontrabile, oltre il quale il sistema di distribuzione non sarebbe più nemmeno un TT).

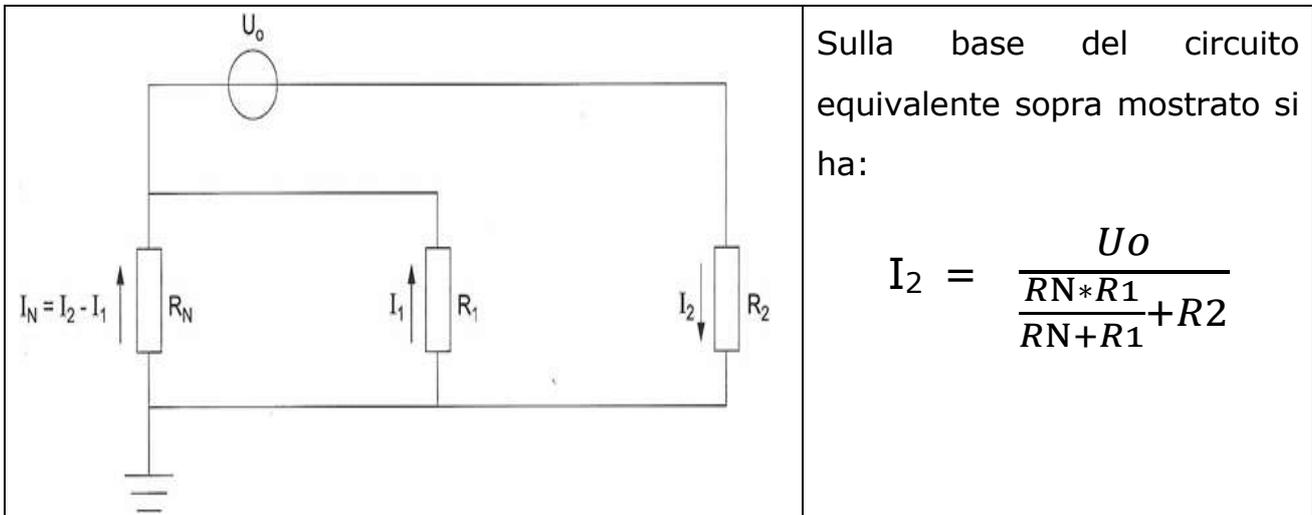
La situazione di doppio guasto a terra di una fase e del neutro su pali distinti di una stessa linea di Illuminazione Pubblica e il circuito elettrico che ne deriva è rappresentata nella figura appresso riportata:



La corrente I_2 dispersa attraverso la resistenza verso terra del palo n° 2 trova poi due strade, in parallelo tra loro (partitore di corrente) per richiudersi con neutro: una strada passa attraverso la resistenza di terra del palo n° 1 sede di guasto del neutro; l'altra passa attraverso la resistenza verso terra del neutro della linea BT del Distributore pubblico.

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

È evidente che l'interruttore differenziale posto a protezione della linea di illuminazione pubblica sarà sollecitato ad intervenire solo dalla differenza tra la corrente I_2 e la corrente I_1 per cui, ragionando numericamente sul circuito avremo:



La condizione di sicurezza è rispettata ove $R_2 I_2 > 50 \text{ V}$ e si abbia che $I_2 - I_1 > I_{dn}$ ovvero sia garantito lo scatto del differenziale.

Sviluppando i calcoli abbiamo quindi che $I_2 - I_1 > I_{dn}$ diventa: $\frac{R_N * I_2}{R_N + R_1} < I_{dn}$

e sostituendo alla I_2 il valore $I_2 > 50/R_2$ abbiamo: $\frac{50}{R_2} > \frac{R_1 + R_N}{R_1} I_{dn}$ da cui:

$$R_2 < \frac{50}{I_{dn}} \frac{R_1}{R_1 + R_N}$$

La disequazione sopra indicata rappresenta la condizione di assoluta sicurezza.

In sostanza, **la tensione di contatto limite vale:** $U_L = \frac{50}{1 + R_N/R_1}$

A seguire è riportata una tabella di calcolo con i relativi valori minimi di R_1 e massimi di R_2 nella peggiore delle condizioni che se rispettati per tutti i pali dell'impianto fanno sì che sia garantita la protezione con differenziali rispettivamente I_{dn} 30 mA, 100 mA e 300 mA con resistenza verso terra del neutro $R_N = 10 \Omega$ (enormemente cautelativa nella realtà pratica delle reti pubbliche di distribuzione in BT e comunque misurabile in caso di dubbi):

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

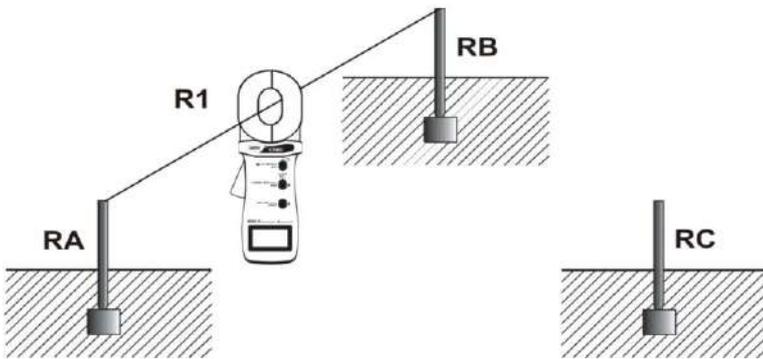
RN (Ω)	R1 (Ω)	RN/R1	UL (V)	Limite massimo per R2 (Ω)		
				Idn 0,03 A	Idn 0,1 A	Idn 0,3 A
10	0,5	20,0	2	79	24	8
10	1	10,0	5	152	45	15
10	2	5,0	8	278	83	28
10	3	3,3	12	385	115	38
10	4	2,5	14	476	143	48
10	5	2,0	17	556	167	56
10	6	1,7	19	625	188	63
10	7	1,4	21	686	206	69
10	8	1,3	22	741	222	74
10	9	1,1	24	789	237	79
10	10	1,0	25	833	250	83
10	11	0,9	26	873	262	87
10	12	0,8	27	909	273	91
10	13	0,8	28	942	283	94
10	14	0,7	29	972	292	97
10	15	0,7	30	1.000	300	100
10	16	0,6	31	1.026	308	103
10	17	0,6	31	1.049	315	105
10	18	0,6	32	1.071	321	107
10	19	0,5	33	1.092	328	109
10	20	0,5	33	1.111	333	111
10	21	0,5	34	1.129	339	113
10	22	0,5	34	1.146	344	115
10	23	0,4	35	1.162	348	116
10	24	0,4	35	1.176	353	118
10	25	0,4	36	1.190	357	119
10	26	0,4	36	1.204	361	120
10	27	0,4	36	1.216	365	122
10	28	0,4	37	1.228	368	123
10	29	0,3	37	1.239	372	124
10	30	0,3	38	1.250	375	125
10	31	0,3	38	1.260	378	126
10	32	0,3	38	1.270	381	127
10	33	0,3	38	1.279	384	128
10	34	0,3	39	1.288	386	129
10	35	0,3	39	1.296	389	130
10	36	0,3	39	1.304	391	130
10	37	0,3	39	1.312	394	131
10	38	0,3	40	1.319	396	132
10	39	0,3	40	1.327	398	133
10	40	0,3	40	1.333	400	133

Per applicare questa tabella sono necessarie rapide ed affidabili misure del valore di resistenza dei singoli impianti di terra afferenti lo stesso differenziale per individuare tra tutti il valore minimo (R_1) e quello massimo (R_2), cosa non agevole con tecniche tradizionali.

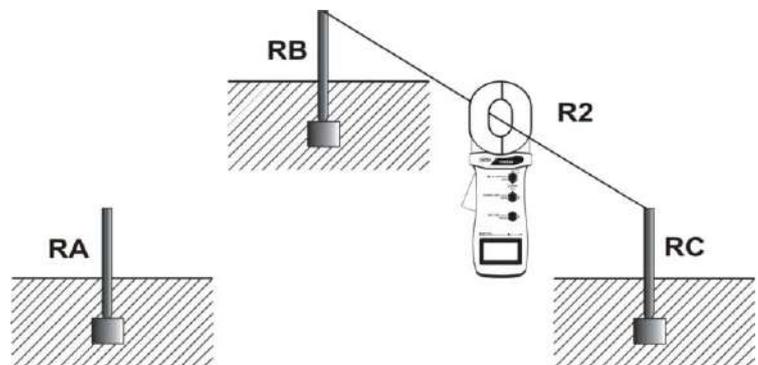
Sono però disponibili strumenti adatti allo scopo: le "earth ground clamp meter", dall'aspetto di una grossa "pinza amperometrica" nell'anello apribile della quale risiede un doppio toroide (uno adibito ad indurre nel circuito in prova una corrente continua associata ad una certa potenza e l'altro a misurare contemporaneamente il valore della corrente così indotta) così da poter calcolare in automatico e visualizzare direttamente su display il valore della resistenza di terra attraverso cui la corrente di prova è stata fatta transitare.

Per calcolare le resistenze di terra dei singoli impianti separati si applica poi il metodo "dei tre punti": utilizzando un sottile conduttore flessibile si collegano i primi due pali (A e B) e si effettua la prima misura (il circuito è chiuso dalle singole resistenze verso terra dei due pali in serie tra loro) come mostrato nella figura che segue:

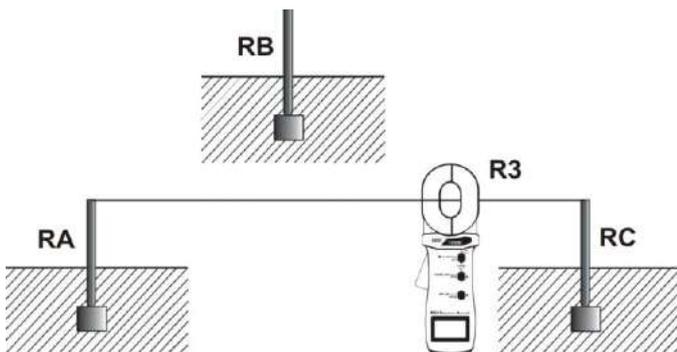
FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO



allo stesso modo si effettua una misura tra il palo B e il palo C e anche qui la misura sarà la somma delle resistenze verso terra dei pali B e C;



si procede quindi alla misura tra palo C e palo A ottenendo il valore della serie tra le resistenze di terra dei due pali.



A questo punto non resta che impostare un sistema con i valori misurati dallo strumento R1, R2 ed R3:

$$R1 = RA + RB \quad ; \quad R2 = RB + RC \quad ; \quad R3 = RC + RA \quad .$$

Dallo sviluppo di questo sistema si ricavano le misure di RA, RB ed RC:

$$RA = (R1 + R3 - R2) / 2 \quad ; \quad RB = R1 - RA \quad ; \quad RC = R3 - RA \quad .$$

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

4.3 INDIVIDUAZIONE DELLE CATEGORIE ILLUMINOTECNICHE DI PROGETTO

Un impianto di illuminazione pubblica deve assieme garantire le condizioni di visibilità per la sicurezza di tutti i fruitori degli ambiti illuminati (automobilisti, motociclisti, ciclisti, pedoni), integrarsi con il contesto urbano e consentire una riduzione dell'impatto economico, energetico e ambientale; per tali ragioni la prima cosa necessaria è la corretta attribuzione delle categorie illuminotecniche alle aree da illuminare.

La UNI 11248-16 fornisce un prospetto attraverso il quale associare alla classificazione della strada la cosiddetta "Categoria Illuminotecnica di Ingresso per l'analisi dei rischi"; per i casi (quali il nostro) ove le strade non fossero già ufficialmente classificate, la UNI 11248/16 fornisce poi una tabella di facile utilizzo riportata nella pagina che segue, per mezzo della quale l'identificazione delle diverse tipologie stradali è resa alquanto agevole.

Tipo di strada	Descrizione del tipo della strada	Limiti di velocità [km h ⁻¹]	Categoria illuminotecnica di ingresso
C	Strade extraurbane secondarie (tipi C1 e C2)	Da 70 a 90	M2
	Strade extraurbane secondarie	50	M3
	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	Da 70 a 90	M2
E	Strade urbane di quartiere	50	M3
F	Strade locali extraurbane (tipi F1 e F2)	Da 70 a 90	M2
	Strade locali extraurbane	50	M4
		30	C4/P2
	Strade locali urbane	50	M4
	Strade locali urbane: centri storici, isole ambientali, zone 30	30	C3/P1
	Strade locali urbane: altre situazioni	30	C4/P2
	Strade locali urbane: aree pedonali, centri storici (utenti principali: pedoni, ammessi gli altri utenti)	5	C4/P2
	Strade locali interzonali	50	M3
30		C4/P2	
Fbis	Itinerari ciclo-pedonali	Non dichiarato	P2
	Strade a destinazione particolare	30	

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

Tipo di strada	Descrizione del tipo della strada	N° Minimo Carreggiate indipendenti	N° Minimo di Corsie per senso di marcia	N° di sensi di marcia	Portata max. di servizio per corsia (veicoli/ora)	Ulteriori requisiti minimi, caratteristiche e chiarimenti
C	Strade extraurbane secondarie (tipi C1 e C2)	1	1	2	600	Strade tipo provinciali, regionali e statali Con banchine laterali transiabili
	Strade extraurbane secondarie	1	1	2		
	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	1	1	2		
E	Strade urbane di quartiere	1	1	2	800	Proseguimento delle strade di tipo C "extraurbane secondarie" nella rete urbana Strade tipo provinciali, regionali e statali Con corsie di manovra e parcheggi esterni alla Carreggiata
			2	1		
F	Strade locali extraurbane (tipi F1 e F2)	1	1	1 o 2	450	Strade in ambito extraurbano diverse da strade di tipo B e C quali strade comunali, vicinali, ecc.
F	Strade locali extraurbane	1	1	1 o 2		
F	Strade locali interzonali	1	1	1 o 2	800	Strade locali di connessione con la "rete secondaria" e di "scorrimento" di maggior rilievo in quanto attraversano il territorio collegando aree urbane confinanti o distanti in area urbane o extraurbane
F	Strade locali urbane	1	1	1 o 2	800	Strade locali diverse da strade di tipo D e E, quali strade residenziali, artigianali, centro cittadino, centro storico, ecc.

I due prospetti citati sono stati riprodotti esclusivamente per le tipologie stradali dotate di illuminazione pubblica comunale riscontrabili sui territori di progetto.

Il primo prospetto, come si vede, pone in diretta correlazione classificazioni stradali e "categorie illuminotecniche di ingresso per l'analisi dei rischi" a partire dalle quali, seguendo un percorso anche esso delineato dalla UNI 11248-16, si perviene alle "classificazioni illuminotecniche di progetto" (val la pena ricordare che la UNI 11248-16 si basa sugli studi scientifici in particolare della CIE 115:2010 e della CIE 191:2010 senza la conoscenza dei quali è praticamente impossibile procedere ad una corretta "analisi dei rischi").

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

Una volta individuata la categoria illuminotecnica di ingresso, la UNI 11248-2016 prevede si proceda all'analisi dei rischi al fine di pervenire alla categoria illuminotecnica di progetto e alle eventuali categorie illuminotecniche di esercizio.

La UNI 11248-16 assume quali valori dei parametri di influenza per la definizione della categoria illuminotecnica "di ingresso per l'analisi dei rischi" quelli associati al "maggior rischio" ragion per cui dalla categoria di ingresso si perviene a quella di progetto in modo esclusivamente sottrattivo e la categoria di progetto può essere quindi solo inferiore o, al massimo, pari a quella d'ingresso:

PRINCIPALI PARAMETRI DI INFLUENZA CONSIDERATI DALLA UNI 11248/2016 NELLA DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI INGRESSO PER L'ANALISI DEI RISCHI:									
PARAMETRI DI INFLUENZA	TIPO DI STRADA								
	A1	A2	B	C	D	E	F	Fbis	
COMPLESSITÀ DEL CAMPO VISIVO	ELEVATA						ELEVATA		
ZONE DI CONFLITTO			COSPICUE						
RISCHIO DI AGGRESSIONE							ALTO		
LIVELLO LUMINOSO DELL'AMBIENTE			ALTO						
FLUSSO DI TRAFFICO	ELEVATO								

Il concetto guida è che la categoria illuminotecnica di ingresso è la massima che si possa attribuire nel caso in cui ricorrano anche tutte le condizioni più sfavorevoli alla buona visione degli utenti considerate dai normatori per la individuazione della categoria illuminotecnica di ingresso per cui ove accertate condizioni permanenti dei parametri di influenza più favorevoli, ciò consente (anzi impone, per effetto della L.R. 20/05 e del DM 27/09/2017) di attribuire categorie illuminotecniche di progetto "ridotte" rispetto a quelle di ingresso.

La UNI 11248-2016 propone alcuni possibili parametri di influenza; è responsa-

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

bilità del progettista, sulla base di elementi oggettivi dichiarati, valutare quali parametri poter prendere in considerazione definendone il "peso".



È diffuso l'errore di associare al ricorrere di ciascun parametro di influenza la riduzione di una intera categoria illuminotecnica mentre invece la norma indica il peso di dette riduzioni come "fino ad una categoria", infatti spesso la riduzione può essere solo di una frazione di unità, come ben mostrato negli studi CIE alla base delle norme UNI EN sulla illuminazione.

Indicazione sulle variazioni della categoria illuminotecnica di ingresso in relazione ai più comuni parametri di influenza costanti nel lungo periodo

Parametro di influenza	Riduzione massima della categoria illuminotecnica
Complessità del campo visivo normale	1
Assenza o bassa densità di zone di conflitto ^{1) 2)}	1
Segnaletica cospicua ³⁾ nelle zone conflittuali	1
Segnaletica stradale attiva	1
Assenza di pericolo di aggressione	1
1) In modo non esaustivo sono zone di conflitto gli svincoli, le intersezioni a raso, gli attraversamenti pedonali, i flussi di traffico di tipologie diverse. 2) È compito del progettista definire il limite di bassa densità. 3) Riferimenti in CIE 137 ^[5] .	

Indicazione sulle variazioni della categoria illuminotecnica di progetto in relazione ai più comuni parametri di influenza variabili nel tempo in modo periodico o casuale

Parametro di influenza	Riduzione massima della categoria illuminotecnica
Flusso orario di traffico <50% rispetto alla portata di servizio	1
Flusso orario di traffico <25% rispetto alla portata di servizio	2
Riduzione della complessità nella tipologia di traffico	1

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

Inoltre, salvo esigenze particolari la norma UNI tollera un sovradimensionamento dell'impianto rispetto alle categorie illuminotecniche di progetto o di esercizio del 35% per le categorie di tipo M del 25% per quelle tipo C e del 50% per le tipo P.

L'attuale UNI 11248/2016 ha inoltre introdotto a riguardo delle caratteristiche della luce un nuovo parametro di influenza indicando che *"Con apparecchi che emettono luce con indice generale di resa dei colori $R_a \geq 60$ e rapporto $S/P \geq 1,1$ -previa verifica, nell'analisi dei rischi, delle condizioni di visione- il progettista può considerare questa situazione tra i parametri di influenza ... con valore massimo di riduzione pari a 1".*

L'attuale UNI 11248/16 ha in pratica fatto proprio lo studio CIE 191:2010 col quale sono stati scientificamente individuati (nelle diverse condizioni di adattamento visivo) i coefficienti da applicare - in base al rapporto S/P e ai livelli di luminanza o illuminamento - per passare dalla misura di laboratorio in base alla quale convenzionalmente si certifica il flusso luminoso emesso dagli apparecchi e poi utilizzato nei programmi di simulazione illuminotecnica) alla reale "visione mesopica" dell'occhio umano;

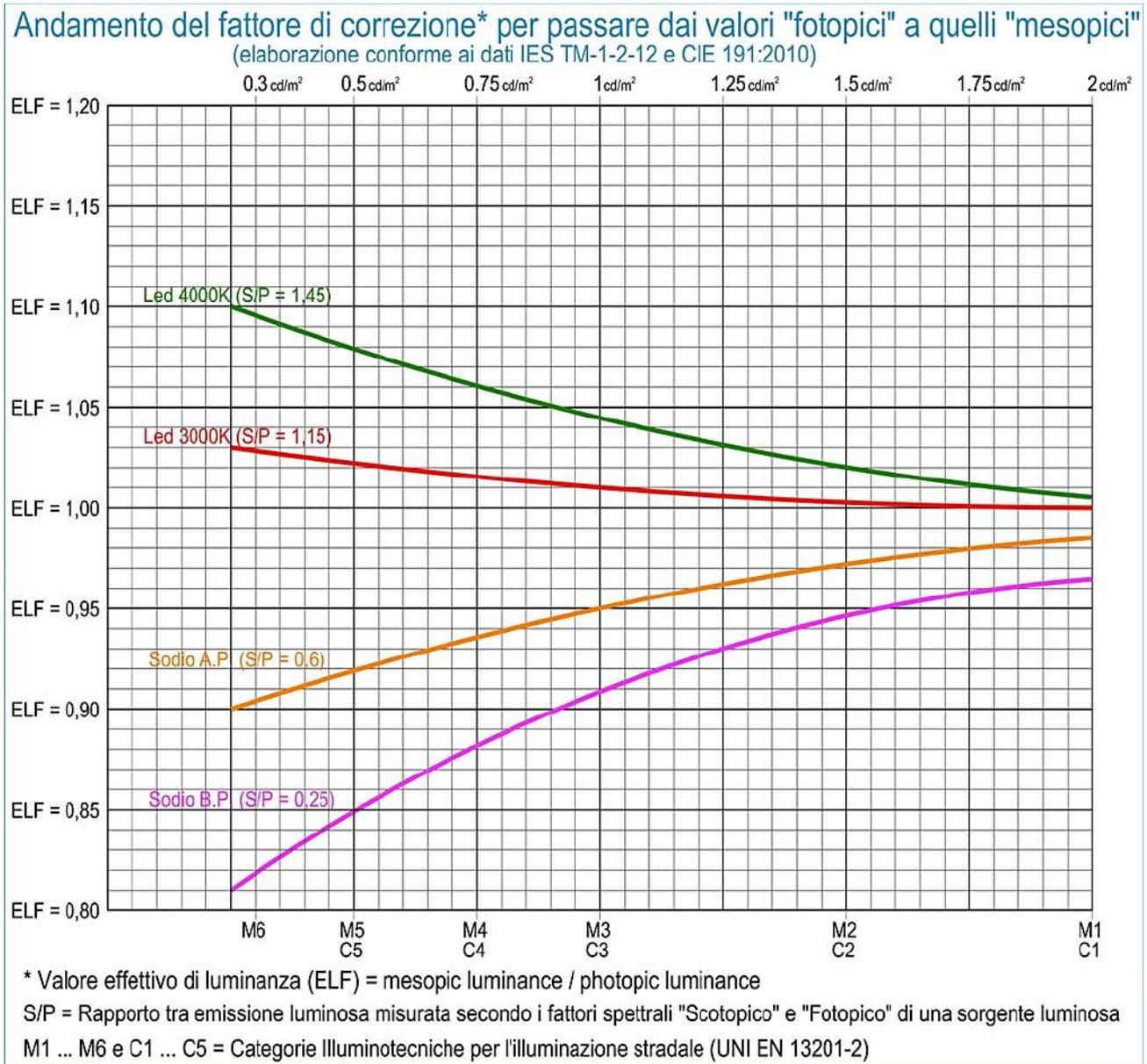


A tal riguardo è ancora pericolosamente diffusa è l'errata interpretazione secondo cui genericamente con la luce bianca si possa ridurre la classificazione illuminotecnica di progetto di una intera categoria !

Infatti, osservando il grafico riportato nella pagina che segue e che rappresenta l'andamento dei fattori di correzione per emissioni luminose di diversa caratteristica S/P, è del tutto evidente il fatto che **nelle condizioni di adattamento visivo tipiche dell'illuminazione stradale (per lo più riferibile a categorie tra la C5 e la C3) il vantaggio di una luce bianca con rapporto S/P circa**

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

1,45 (es.: Led a 4000K) va solo dal 4 all'8% e già con Led a 3000K diviene quasi irrilevante !



Ma l'innovazione più importante introdotta nella vigente UNI 11248-2016 è quella dell'aver **finalmente indicato le enormi limitazioni esistenti all'uso delle categorie illuminotecniche della serie M** (basate sulla luminanza) in quanto i valori di luminanza non valgono o risultano inapplicabili in condizioni diverse da quelle assunte dalle norme per il calcolo della luminanza del manto stradale ovvero:

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

- a) distanze di osservazione dei conducenti dei veicoli diverse dai convenzionali 60 m;
- b) significative posizioni diverse dell'osservatore;
- c) caratteristiche delle pavimentazioni stradali in termini di "coefficiente medio di luminanza" e di "fattore di specularità" diverse dalla pavimentazione normalizzata C2.

Nella realtà è praticamente impossibile trovare strade pressochè tutte costantemente rettilinee, senza intersezioni e con asfalto di caratteristiche di riflessione (garantite nel lungo periodo) pari al tipo C2 e la norma non offre a tal riguardo scorciatoie avendo introdotto l'obbligo di tener conto delle reali caratteristiche di ogni singola tipologia di pavimentazione stradale o, almeno, tenendo conto del coefficiente medio di luminanza (da misurare) e calcolando poi i coefficienti ridotti di luminanza facendo riferimento, per gli asfalti, a quelli della pavimentazione normalizzata di classe C2.

Per utilizzare le categorie illuminotecniche della serie M, occorrerebbe quindi caratterizzare con l'utilizzo di un gonio-riflettometro (quindi, a laboratorio) tutte le tipologie di pavimentazioni stradali di progetto e, anche nell'ipotesi teorica estrema in cui lo si volesse e potesse fare, non si potrebbe comunque garantire che gli impianti di illuminazione non diverranno poi nel tempo sottodimensionati per effetto di successive riasfaltature con materiali più scuri e scabri.

In questi casi l'unica seria alternativa è passare dalla progettazione secondo le categorie M (luminanza) a quella "comparabile" secondo le categorie C (illuminamenti); in tal modo sono pienamente risolte le situazioni "critiche" per le categorie M indicate ai punti a) e b) e di fatto risolta anche la questione della impossibilità di caratterizzazione degli asfalti potendosi mutuare la soluzione dalla

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

norma UNI 11095 (illuminazione delle gallerie) la quale stabilisce che ove la pavimentazione stradale non sia sottoposta a misure di laboratorio con gonioreflettometro, può essere considerata come cautelativa la scelta di un coefficiente medio di luminanza pari a $0,056 \text{ sr}^{-1}$ in luogo dei $0,071 \text{ sr}^{-1}$ della pavimentazione normalizzata C2.

Il vantaggio è che sulla base della tabella di comparabilità tra categorie M, C e P fornita dalla UNI 11248-2016, siccome $0,056 \text{ sr}^{-1}$ è compreso tra 0,05 e 0,08, le categorie "C" o "P" da sostituire alle "M" potranno essere dello stesso livello (M2=C2, M3=C3, ecc.) senza timori (perché normativamente giustificato) di realizzare impianti attribuendo categorie illuminotecniche M a serio rischio di errato dimensionamento.

CATEGORIA ILLUMINOTECNICA COMPARABILE						
CONDIZIONE	M1	M2	M3	M4	M5	M6
se $Q_0 \leq 0,05 \text{ sr}^{-1}$	C0	C1	C2	C3/P1	C4/P2	C5/P3
se $0,05 \text{ sr}^{-1} < Q_0 \leq 0,08 \text{ sr}^{-1}$	C1	C2	C3/P1	C4/P2	C5/P3	C5/P4
se $Q_0 > 0,08 \text{ sr}^{-1}$	C2	C3/P1	C4/P2	C5/P3	C5/P4	C5/P5

In sostanza riassumendo il senso di quanto argomentato in riferimento alle Norme,



ove si attribuiscono categorie illuminotecniche M considerando a priori che la pavimentazione stradale corrisponda alla "ideale" pavimentazione normalizzata "C2", si assegnano inconsapevolmente

Livelli di luminanza potenzialmente più bassi di quelli minimamente necessari determinando così livelli di sicurezza per gli utenti inferiori al minimo normativo.

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

Nella tabella che segue, oltre ad essere indicate le Categorie illuminotecniche di progetto assunte, è palesato in modo inequivoco il processo valutativo col quale si è pervenuti alla classificazione:

<p style="text-align: center;"><u>CLASSIFICAZIONE</u></p> <p style="text-align: center;"><u>ILLUMINOTECNICA</u></p> <p style="text-align: center;"><u>DELLE STRADE DI PROGETTO</u></p>		CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI INGRESSO PER L'ANALISI DEI RISCHI		CAT. "COMPARABILE" (non potendosi usare le categorie "M")		Parametri di influenza considerabile e valore cautelativamente attribuibile a ciascuno:							CATEGORIA ILLUMINOTECNICA DI PROGETTO				
		Strade	Tipo	Descrizione	M3	M4	M4	M4	C3	C4	C4/P2	C3/P1	C4/P2	C4	C5	C5/P3	C4/P2
Strade Provinciali e Regionali nei tratti urbani	E	Urbane di Quartiere	M3	M4	M4	C3	C4	C4/P2	C3/P1	C4/P2	C4	C5	C5/P3	C4/P2	C5/P3	C4/P2	C5/P3
Strade Locali extraurbane con limite max 50 km/h	F	Locali extraurbane	M4	M4	M4	C4	C4	C4/P2	C3/P1	C4/P2	C4	C5	C5/P3	C4/P2	C5/P3	C4/P2	C5/P3
Strade Locali urbane con limite max 50 km/h	F	Locali urbane	M4	M4	M4	C4	C4	C4/P2	C3/P1	C4/P2	C4	C5	C5/P3	C4/P2	C5/P3	C4/P2	C5/P3
Centri Storici con limite max 50 km/h	F	Centro Storico vie principalmente carrabili	C3/P1	C3/P1	C3/P1	C3/P1	C3/P1	C3/P1	C3/P1	C3/P1	C3/P1	C3/P1	C3/P1	C3/P1	C3/P1	C3/P1	C3/P1
Centri Storici con utenti principali i pedoni, ammessi gli altri, con limite max 5 km/h	F	Centro Storico vie principalmente pedonali	C4/P2	C4/P2	C4/P2	C4/P2	C4/P2	C4/P2	C4/P2	C4/P2	C4/P2	C4/P2	C4/P2	C4/P2	C4/P2	C4/P2	C4/P2

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

5. LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA ED EFFICIENTAMENTO PREVISTI

5.1 FERENTILLO

584 nuovi apparecchi da arredo urbano Led tipo "Q-Drome", "Ecorays" e sim.;

16 nuovi apparecchi stradali Led tipo AEC "Italo 1";

150 "relamping";

10 nuovi Proiettori Led;

88 nuovi Pali e 17 nuovi Bracci;

256 verniciature di sostegni;

82 nuovi Basamenti e 20 nuovi Pozzetti;

1.280 metri di nuovi cavidotti interrati;

5.940 metri di nuove linee in cavo;

280 nuove scatole di giunzione/derivazione e giunti;

66 quadri elettrici di protezione e comando nuovi o completamente revisionati;

Eliminazione di tutte le situazioni di promiscuità con le linee BT di distribuzione ENEL.

5.2 MONTELEONE DI SPOLETO

138 nuovi apparecchi da arredo urbano Led tipo "Q-Drome", "Ecorays" e sim.;

27 nuovi apparecchi stradali Led tipo AEC "Italo 1";

133 "relamping";

22 nuovi Proiettori Led;

8 nuovi Pali e 6 nuovi Bracci;

180 verniciature di sostegni;

8 nuovi Basamenti e 15 nuovi Pozzetti;

215 metri di nuovi cavidotti interrati;

1.980 metri di nuove linee in cavo;

131 nuove scatole di giunzione/derivazione e giunti;

27 quadri elettrici di protezione e comando nuovi o completamente revisionati;

Eliminazione di tutte le situazioni di promiscuità con le linee BT di distribuzione ENEL.

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

5.3 SANT'ANATOLIA DI NARCO

156 nuovi apparecchi da arredo urbano Led tipo "Q-Drome", "Ecorays" e sim.;

39 nuovi apparecchi stradali Led tipo AEC "Italo 1";

58 nuove lanterne artistiche a Led;

99 "relamping";

3 nuovi Proiettori Led;

8 nuovi Pali e 6 nuovi Bracci;

180 verniciature di sostegni;

1 nuovo Basamento;

215 metri di nuovi cavidotti interrati;

2.420 metri di nuove linee in cavo;

96 nuove scatole di giunzione/derivazione e giunti;

13 quadri elettrici di protezione e comando nuovi o completamente revisionati;

Eliminazione di tutte le situazioni di promiscuità con le linee BT di distribuzione ENEL.

5.4 SCHEGGINO

158 nuovi apparecchi da arredo urbano Led tipo "Q-Drome", "Ecorays" e sim.;

23 nuovi apparecchi stradali Led tipo AEC "Italo 1";

5 nuove lanterne artistiche a Led;

148 "relamping";

24 nuovi Proiettori Led;

25 nuovi Pali e 22 nuovi Bracci;

180 verniciature di sostegni;

20 nuovi Basamenti e 2 nuovi pozzetti;

50 metri di nuovi cavidotti interrati;

1.460 metri di nuove linee in cavo;

65 nuove scatole di giunzione/derivazione e giunti;

20 quadri elettrici di protezione e comando nuovi o completamente revisionati;

Eliminazione di tutte le situazioni di promiscuità con le linee BT di distribuzione ENEL.

La localizzazione degli interventi è mostrata nelle tavole grafiche di progetto.

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

6. VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE E AZIONI DI MITIGAZIONE

6.1 EMISSIONI DI INQUINANTI O GAS AD EFFETTO SERRA

Uno dei maggiori vantaggi ambientali derivanti dalla realizzazione del presente progetto è legato alla riduzione di emissione di sostanze inquinanti e ad effetto serra:

Infatti, oltre all'azzeramento dell'inquinamento ambientale derivante dalla pericolosa presenza di mercurio nelle attuali lampade a scarica, il risparmio energetico atteso di 560 MWh/anno consentirà di evitare la combustione di 105 Tonnellate Equivalenti di Petrolio (TEP) che servirebbero per produrre con centrali termoelettriche e distribuire fino all'utilizzatore in bassa tensione una equivalente quantità di energia elettrica, quindi evitando l'immissione ogni anno in ambiente (dati ISPRA) di:

- ⇒ 287 tonnellate di CO₂;
- ⇒ 0,25 tonnellate di ossidi di azoto (NO_x);
- ⇒ 0,08 tonnellate di ossidi di zolfo (SO_x);
- ⇒ 0,1 tonnellate di Composti Organici Volatili Non Metanici (COVNM);
- ⇒ 3,2 kg di PM₁₀.

6.2 SICUREZZA FOTOBIOLOGICA (PER L'UOMO) DEGLI APPARECCHI LED DI PROGETTO

Tutte le sorgenti luminose utilizzate saranno certificate in categoria "rischio assente" dal punto di vista fotobiologico.

I Led sono l'unica sorgente luminosa che non emette radiazioni dannose per l'uomo né nel campo dell'ultravioletto, né dell'infrarosso (al contrario delle altre); inoltre, anche in termini di influenza sul ciclo circadiano umano, le quantità di radiazione luminosa nel campo del blu delle sorgenti utilizzate sono ben lontane dal poter anche solo ipoteticamente produrre effetti.

A tal proposito sotto è riportato il calcolo del fattore di effetto circadiano effettuato per un modello di armatura Led rappresentativo di tutte quelle a 4000K previste nel progetto:

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

Calcolo del Fattore di Effetto Circadiano " a_{cv} " dove: $a_{cv} = \sum X_e(\lambda) * C(\lambda) / \sum X_e(\lambda) * V(\lambda)$

Marca/modello apparecchio: **AEC Italo 1 STU-M 4.5-2M** CCT (K) **4000** CRI **> 70**

Nelle colonne gialle sono riportati i valori della curva di ponderazione circadiana $C(\lambda)$ e della curva di ponderazione fotopica $V(\lambda)$
 Inserire nella colonna bianca $X_e(\lambda)$ i valori radiometrici dello spettro di emissione per step di 5 nm tra i 380 e i 780 nm (luce visibile)
 Nelle colonne azzurre apparirà il prodotto dei valori radiometrici inseriti per i corrispondenti fattori di ponderazione $C(\lambda)$ e $V(\lambda)$

Nella cella a fianco evidenziata, è calcolato il valore di a_{cv} (se $\leq 0,60$ l'effetto può considerarsi nullo): **$a_{cv} = 0,47$ ok**

λ	$C(\lambda)$	$V(\lambda)$	$X_e(\lambda)$	$X_e(\lambda)*C(\lambda)$	$X_e(\lambda)*V(\lambda)$	λ	$C(\lambda)$	$V(\lambda)$	$X_e(\lambda)$	$X_e(\lambda)*C(\lambda)$	$X_e(\lambda)*V(\lambda)$	λ	$C(\lambda)$	$V(\lambda)$	$X_e(\lambda)$	$X_e(\lambda)*C(\lambda)$	$X_e(\lambda)*V(\lambda)$
380	0,002000	0,000039	0,0098	0,000020	0,000000	515	0,447150	0,608200	0,5086	0,227420	0,309331	650	0,000000	0,107000	0,4197	0,000000	0,044908
385	0,004750	0,000064	0,0119	0,000057	0,000001	520	0,378000	0,710000	0,5736	0,216821	0,407256	655	0,000000	0,081600	0,3751	0,000000	0,030608
390	0,012200	0,000120	0,0025	0,000031	0,000000	525	0,312450	0,793200	0,6240	0,194969	0,494957	660	0,000000	0,061000	0,3314	0,000000	0,020215
395	0,027900	0,000217	0,0125	0,000349	0,000003	530	0,250200	0,862000	0,6705	0,167759	0,577971	665	0,000000	0,044580	0,2905	0,000000	0,012950
400	0,063000	0,000396	0,0088	0,000554	0,000003	535	0,193050	0,914850	0,7049	0,136081	0,644878	670	0,000000	0,032000	0,2564	0,000000	0,008205
405	0,133700	0,000640	0,0159	0,002126	0,000010	540	0,142000	0,954000	0,7442	0,105676	0,709967	675	0,000000	0,023200	0,2229	0,000000	0,005171
410	0,235200	0,001210	0,0198	0,004657	0,000024	545	0,102950	0,980300	0,7794	0,080239	0,764046	680	0,000000	0,017000	0,1953	0,000000	0,003320
415	0,356050	0,002180	0,0510	0,018159	0,000111	550	0,075000	0,994950	0,8168	0,061260	0,812675	685	0,000000	0,011920	0,1667	0,000000	0,001987
420	0,486000	0,004000	0,1061	0,051565	0,000424	555	0,055450	1,000000	0,8567	0,047504	0,856700	690	0,000000	0,008210	0,1464	0,000000	0,001202
425	0,613950	0,007300	0,2376	0,145875	0,001734	560	0,040000	0,995000	0,8857	0,035428	0,881272	695	0,000000	0,005723	0,1277	0,000000	0,000731
430	0,735200	0,011600	0,4151	0,305182	0,004815	565	0,027450	0,978600	0,9188	0,025221	0,899138	700	0,000000	0,004102	0,1113	0,000000	0,000457
435	0,847900	0,016840	0,6351	0,538501	0,010695	570	0,017800	0,952000	0,9484	0,016882	0,902877	705	0,000000	0,002929	0,0967	0,000000	0,000283
440	0,949000	0,023000	0,8836	0,838536	0,020323	575	0,011300	0,915400	0,9662	0,010918	0,884459	710	0,000000	0,002091	0,0819	0,000000	0,000171
445	0,983250	0,029800	0,9930	0,976367	0,029591	580	0,007000	0,870000	0,9862	0,006903	0,857994	715	0,000000	0,001484	0,0718	0,000000	0,000107
450	0,996800	0,038000	0,8353	0,832627	0,031741	585	0,001050	0,816300	0,9919	0,001041	0,809688	720	0,000000	0,001047	0,0618	0,000000	0,000065
455	0,997000	0,048000	0,5325	0,530903	0,025560	590	0,000000	0,757000	0,9779	0,000000	0,740270	725	0,000000	0,000740	0,0528	0,000000	0,000039
460	0,994000	0,060000	0,3474	0,345316	0,020844	595	0,000000	0,694900	0,9641	0,000000	0,669953	730	0,000000	0,000520	0,0438	0,000000	0,000023
465	0,985800	0,073900	0,2403	0,236888	0,017758	600	0,000000	0,631000	0,9402	0,000000	0,593266	735	0,000000	0,000361	0,0422	0,000000	0,000015
470	0,969800	0,090980	0,1721	0,166903	0,015658	605	0,000000	0,566800	0,9070	0,000000	0,514088	740	0,000000	0,000249	0,0336	0,000000	0,000008
475	0,944050	0,112600	0,1333	0,125842	0,015010	610	0,000000	0,503000	0,8617	0,000000	0,433435	745	0,000000	0,000172	0,0297	0,000000	0,000005
480	0,907000	0,139020	0,1205	0,109294	0,016752	615	0,000000	0,441200	0,8111	0,000000	0,357857	750	0,000000	0,000120	0,0257	0,000000	0,000003
485	0,852800	0,169300	0,1298	0,110693	0,021975	620	0,000000	0,381000	0,7570	0,000000	0,288417	755	0,000000	0,000085	0,0223	0,000000	0,000002
490	0,792000	0,208020	0,1592	0,126086	0,033117	625	0,000000	0,321000	0,7014	0,000000	0,225149	760	0,000000	0,000060	0,0206	0,000000	0,000001
495	0,726550	0,258600	0,2156	0,156644	0,055754	630	0,000000	0,265000	0,6415	0,000000	0,169998	765	0,000000	0,000042	0,0218	0,000000	0,000001
500	0,658000	0,323000	0,2848	0,187398	0,091990	635	0,000000	0,217000	0,5866	0,000000	0,127292	770	0,000000	0,000030	0,0144	0,000000	0,000000
505	0,587850	0,407300	0,3628	0,213272	0,147768	640	0,000000	0,175000	0,5264	0,000000	0,092120	775	0,000000	0,000021	0,0120	0,000000	0,000000
510	0,517200	0,503000	0,4381	0,226585	0,220364	645	0,000000	0,138200	0,4709	0,000000	0,065078	780	0,000000	0,000015	0,0134	0,000000	0,000000

6.3 EFFETTI SULLA FLORA DELLA LUCE DEGLI IMPIANTI PRE E POST-EFFICIENTAMENTO

Di seguito è riprodotta una tabella (riportata nel D.M. 27/09/2017 – Criteri Ambientali Minimi) in cui viene indicato il potenziale impatto di varie sorgenti luminose sulle specie vegetali (rispettivamente: impatto ponderato a 1.0 per sorgenti a sodio alta pressione sul fitocromo Pr; impatto ponderato a 1.0 per sorgenti a sodio alta pressione sul fitocromo Pfr; impatto ponderato a 1.0 per sorgenti a sodio alta pressione sulla somma degli effetti dovuti ai due fitocromi):

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

Light Source	Relative Phytochrome Action		
	Pr	Pfr	Pr+Pfr
High-pressure sodium	1.0	1.0	1.0
2700 K white light LED	1.7	2.3	1.9
3000 K white light LED	1.5	2.0	1.7
3500 K white light LED	1.0	1.2	1.1
4000 K white light LED	1.0	1.0	1.0
5000 K white light LED	0.9	1.0	0.9

Dalla tabella a fianco si osserva che la luce bianca a 4000K dei led ha gli stessi effetti della luce delle lampade sodio alta pressione ragion per cui, tenuto conto che i nuovi led emetteranno circa 120 lm/W contro i 50 lm/W delle attuali SAP ma avranno potenza mediamente pari al 28% dell'attuale SAP e disperderanno al di fuori delle strade il 30% in meno della luce emessa sempre rispetto al SAP, avremo:

Rapporto tra luce dispersa nuovi Led e attuale Sodio = $(120 * 0,25 * 0,7) / 50 = 0,42$ e siccome l'effetto sulla flora è, a parità di flusso luminoso, identico (v. tabella), possiamo affermare che **con l'efficientamento a Led gli effetti della illuminazione pubblica comunale sulla flora circostante saranno ridotti del 58% rispetto agli attuali.**

6.4 EFFETTI SULL'INQUINAMENTO LUMINOSO VERSO LA VOLTA CELESTE

Su questo aspetto il miglioramento introdotto dall'efficientamento a Led risulta enorme; come noto la dispersione di luce verso la volta celeste è in parte "diretta" (luce emessa direttamente dagli apparecchi oltre la linea dell'orizzonte) e in parte alquanto rilevante dalla luce riflessa dalle pavimentazioni stradali e gli oggetti sui quali è proiettata (stimata in recenti studi dell'ISPRA effettuati a Torino attorno al 20% della luce incidente).

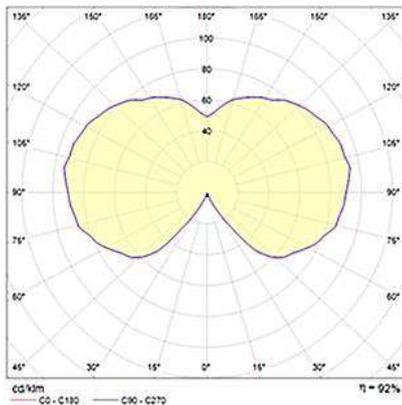
I Comuni di cui al presente progetto al momento non hanno una percentuale di luce emessa direttamente verso la volta celeste molto elevata, però la quantità di

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

luce emessa verso il basso, non essendo ben indirizzata, fa sì che quel 20% circa di luce riflessa dalla pavimentazione e dagli oggetti colpiti sia alquanto rilevante.

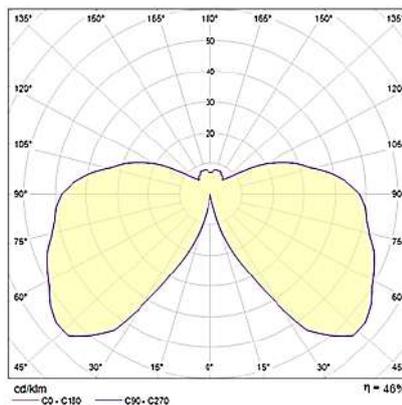
A seguire le fotometrie di alcune vecchie tipologie di apparecchi illuminanti:

Globo trasparente



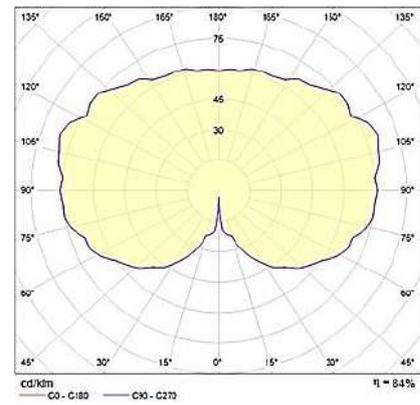
Flusso oltre 90° = 63%
(del 92% emesso dalla lampada)

Globo trasparente con schermo



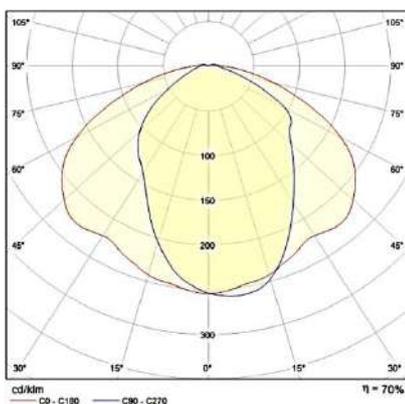
Flusso oltre 90° = 33%
(del 46% emesso dalla lampada)

Globo opalino



Flusso oltre 90° = 64%
(dell' 84% emesso dalla lampada)

Armatura + coppa vetro



Flusso oltre 90° = 3%
(del 70% emesso dalla lampada)

Per le vecchie armature stradali, in media inclinate di 10°, valuteremo una dispersione diretta verso l'alto del 10%. Ipotizzando i consumi attuali al 50% dovuti alle armature, al 40% dovute ai globi, funghetti, lanterne e la restante parte ad apparecchi cut-off o quasi essendo il flusso luminoso delle lampade a scarica che verranno sostituite con Led stimabile, in base all'emissione media per watt (50 lm) e alla potenza complessiva degli impianti (170 kW) in circa 8.500 klm, la frazione di flusso attualmente direttamente emesso verso l'alto vale circa:

$$[(0,5 * 0,1 + 0,4 * 0,50)] = 0,25$$

ovvero il 25% circa del flusso luminoso emesso dagli attuali apparecchi a scarica è indirizzato direttamente verso l'alto.

L'altro 75% è invece indirizzato verso il basso ma al 20% si stima venga poi riflesso dalle superfici verso l'alto per cui complessivamente l'attuale impianto

FERENTILLO			MONTELEONE DI SPOLETO
SCHEGGINO			SANT'ANATOLIA DI NARCO

produce annualmente un flusso luminoso inviato direttamente o indirettamente verso la volta celeste pari a: $(0,25 + 0,75 * 0,2) * 8.500 \text{ klm} \approx 3.400 \text{ klm}$

L'impianto, una volta efficientato a Led emetterà in media 120 lm/W contro i 50 lm/W dell'attuale ma le potenze elettriche saranno complessivamente il 25 % delle attuali per cui l'emissione complessiva dei Led di progetto è rapidamente stimabile in:

$$8.500 \text{ klm} * 0,27 * 120 / 50 \approx 5.508 \text{ klm}.$$

L'emissione diretta verso l'alto sarà pressoché nulla (apparecchi tutti cut-off) mentre rimarrà il 20% riflesso dalle superfici irradiate ovvero:

$$5.508 \text{ klm} * 0,2 = 1.100 \text{ klm}.$$

In definitiva, quindi, **con l'efficientamento a LED la dispersione (diretta e indiretta) di flusso luminoso verso la volta celeste si ridurrà del 68%**, valore risultante da:

$$[(3.400 - 1.100) / 3.400] * 100 = 67,6\%$$

Terni, 10/11/2019

il Progettista