Indice

Introduzione……..... I

CAPITOLO 1 - LE ROTATORIE……..... 1

1.1 Cenni storici……..... 1

1.2 Definizioni e caratteristiche……..…….....2

1.3 Campi di applicazione……..4

CAPITOLO 2 - CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLE ROTATORIE -ELEMENTI DI PROGETTAZIONE E SICURZZA……5

2.1 Sagoma limite inscrivibile in curva……. 5

2.2 Concetto di deflessione delle traiettorie……...6

2.3 Elementi geometrici della rotatoria……..6

2.4 Compatibilità della geometria con i volumi e tipologia di traffico……..12

2.5 Sicurezza…….. 13

2.5.1 Protezione dell'utenza debole…….. 13
2.5.1.1 Pedoni…… 14
2.5.1.2 Ciclisti……..... 15

2.6 Visuali libere da garantire…… 15

CAPITOLO 3 - ELEMENTI DI COMPLETAMENTO E ARREDO……. 21

3.1 Indicazioni sulle pavimentazioni……. 21

3.2 Elementi di arredo urbano……22

3.3 Segnaletica……... 23

3.4 Illuminazione……... 27

CAPITOLO 4 - IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE PUBBLICA……..28

4.1 Generalità sugli impianti di illuminazione pubblica…… 29

4.1.1 Principali parametri di qualità dell'illuminazione stradale……... 29
4.1.2 Misure goniofotometriche, distribuzione e qualità della luce……... 33
4.1.3 Inquinamento Luminoso……... 35

4.2 Apparecchi di illuminazione e tipi di lampade……... 36

4.2.1 Apparecchi Illuminanti…….. 36
4.2.2 Lampade……37

4.3 Requisiti tecnici e geometrici di apparecchi illuminanti e lampade…… 39

4.3.1 Apparecchi……39
4.3.2 Lampade……42

4.4 Specifiche dell'impianto elettrico…… 42

CAPITOLO 5 - ILLUMINAZIONE DELLE ROTATORIE……. 47

5.1 Situazione normativa……47

5.2 Requisiti di carattere illuminotecnico…….. 47

5.3 Configurazione di impianti…….. 50

CAPITOLO 6 - CRITERI DI SCELTA DELL' IMPIANTO…… 53

6.1 Premessa……...53

6.2 Rendimento finale illuminotecnico nell'illuminazione per esterni……..54

6.3 Analisi di un impianto di illuminazione……...56

6.4 Calcolo meccanico dei sostegni……... 57

6.5 Scelta dell'impianto : Proposte operative……... 63

6.5.1 Criterio di Scelta…… 63
6.5.2 Grafici…… 66
6.5.3 Analisi dei costi...……...74
6.5.4 Minirotatorie D = 20m – 24m…… 79
6.5.5 Rotatorie Compatte con isola centrale semisormontabile
D = 25m – 30m…….. 81
6.5.6 Rotatorie Compatte con isola centrale non sormontabile
D = 31m – 38m…….. 84

6.6 Installazioni per luminanze e illuminamenti maggiori…… 85

6.7 Riepilogo…….....89

CAPITOLO 7 - CASO DI ESEMPIO : La rotatoria a Lucca , Nodo 5 : intersezione Via Civitali - Viale Marti - Viale Batoni……91

7.1 Descrizione della rotatoria…….91

7.2 Modifica elementi geometrici della rotatoria…… 92

7.3 Analisi dell'impianto di illuminazione presente……93

7.3.1 Caratteristiche Tecniche ed Illuminotecniche……94
7.3.2 Qualità dell'impianto……. 98

7.4 Proposta di impianto……..98

CONCLUSIONI……..… 99

BIBLIOGRAFIA…….101

ALLEGATI :

A - Elaborazioni grafiche 3D mediante 3D Studio Max

B - Immagini di comuni apparecchi di illuminazione

C - Dati illuminotecnici degli impianti di illuminazione delle rotatorie

D – Accessori delle lampade a scarica

E - Planimetrie della rotatoria di esempio

INTRODUZIONE

In Italia non esiste una normativa indirizzata all'illuminazione delle rotatorie. Le norme esistenti trattano solo le strade rettilinee e con raggio di curvatura non minore di 200 m, non è quindi applicabile ad aree critiche come le intersezioni.
Indicazioni generiche si trovano nelle normative straniere (Francesi, Svizzere, Americane), consigliando impianti di tipo periferico per mini rotatorie, di tipo centrale per grandi rotatorie e lasciando al progettista una valutazione più dettagliata per quanto riguarda rotatorie di medie dimensioni.
Anche la classificazione delle rotatorie in base al loro diametro esterno trova incongruenze da normativa a normativa.
La normativa francese parla di minirotatorie nel caso di raggio esterno minore di 12m, di rotatorie compatte per raggi esterni che variano da 12m a 25m, di grandi rotatorie per raggi esterni maggiori di 25m.
La normativa svizzera, a sua volta, identifica minirotatorie quelle con diametro esterno minore di 24m e attua un'ulteriore suddivisone tra minirotatorie con isola centrale sormontabile e quelle con isola centrale semisormontabile, ma limita il campo delle rotatorie compatte a diametri esterni di 35m, considerano le rimanenti grandi rotatorie.
Infine la normativa americana, diversificata da stato a stato, tende a classificare le rotatorie in mini (con diametro esterno fino a 25m), urbane compatte (con diametro che varia tra i 25m e 30m), urbane a singola corsia (diametro compreso tra i 30m e 40m) o doppia corsia (tra i 45m e 55m di diametro esterno) infine rotatorie rurali anch'esse a singola corsia (da 35m a 40m di diametro) o doppia (con dimensioni che vanno dai 55m di diametro ai 60m)..

In tale contesto lo scopo di questa tesi è quello di trovare e descrivere un criterio valido per la scelta di una tipologia di illuminazione (centrale o periferica, numero di sorgenti luminose, potenza necessaria...) a seconda della rotatoria da illuminare.
Il campo di applicazione considerato è quello di rotatorie con diametri esterni compresi tra i 20m e i 38m.

La struttura di questo studio è suddivisa nelle seguenti parti :

1. La prima parte, dei capitoli 1, 2 e 3, evidenzia in modo descrittivo le varie problematiche attinenti alla progettazione delle rotatorie come tipo di intersezione a raso non semaforizzata;

2. La seconda parte, trattata nei capitoli 4 e 5, dopo aver ripercorso le generalità sugli impianti di pubblica illuminazione, introduce e analizza i requisiti di carattere illuminotecnico per una adeguata illuminazione :

    - Livello di Luminaza;
    - Uniformità di distribuzione delle Luminanze;
    - Grado di limitazione dell'abbagliamento debilitante;
    - Spettro di emissione delle lampade;
    - Schermatura apparecchi illuminanti;
    - Guida Ottica;
    - Inquinamento Luminoso;
    - Specifiche impianto elettrico;

Nel capitolo 6 si individua un criterio di scelta di impianti studiati in funzione della dimensione e caratteristiche della rotatoria stessa. Si tratta inoltre della configurazione di tali impianti, visualizzando alcune soluzioni mediante modellazione 3D.
Infine è stata presa in considerazione la rotatoria a Lucca tra Via Civitali,Viale Marti e Viale Batoni (Nodo 5) come caso di esempio e viene proposto un adeguamento geometrico alla normativa vigente ed un impianto di illuminazione alternativo a quello esistente.
I dati elaborati sono stati generati dati utilizzando il Software della OxyTech ,“LiteStar 6.0 Demo“, utilizzato dai comuni e da studi tecnici per il calcolo illuminotecnica.
Le immagini 3D sono state realizzate con il Software Discreet 3D Studio Max.

CAPITOLO 1 - LE ROTATORIE

1.1 CENNI STORICI

La rotatoria, concepita come particolare configurazione di incrocio a raso, è una acquisizione degli inizi del novecento. E' infatti in questo periodo, che l'architetto francese Enard, nel sistemare il rond-point dell'Etoile a Parigi, per una migliore organizzazione della circolazione, instaurava la regola del senso unico nel percorrere l'anello. Durante gli anni 50, le rotatorie, vennero però abbandonate a causa di sempre più frequenti blocchi del traffico e dall'aumento del numero degli incidenti.
La causa di questo insuccesso, secondo alcuni studiosi, è da attribuirsi alla distanza di affiancamento delle correnti di traffico che era spesso troppo breve in relazione alle velocità ed ai volumi di traffico; conseguentemente le alte velocità e gli spazi troppo ristretti causavano delle manovre non eseguibili in sicurezza.
Preceduta da numerose esperienze sperimentali, nel 1966 in Gran Bretagna venne applicata in modo generalizzato la norma di dare la precedenza al traffico rotante già inserito nell'anello.
Il diritto di precedenza all'interno dell'anello, a cui negli anni '70 fecero ricorso numerose città inglesi, dal 1983 è assunto a norma in Francia aprendo in tal modo la strada ad uno sviluppo spettacolare delle rotonde in quel paese ed anche in altri paesi europei fra cui la Svizzera.
Infatti questa gestione delle precedenze previene il blocco della circolazione all'interno dell'anello e permette un funzionamento a flusso ininterrotto, inoltre in conseguenza di ciò è cambiato il modo di guidare, nel senso che si è passati dalle manovre ad alta velocità a quelle a bassa.
Questo fatto previene l'immissione quando non è disponibile alcun spazio nel flusso giratorio, evitando quindi il blocco del sistema ed inoltre la capacità della rotatoria non è più dipendente dalle operazioni di interscambio ma solo dalla disponibilità di tempi e spazi per l'immissione.
Utilizzando questi nuovi concetti, la sicurezza di una rotatoria dipende ora dall'effettiva efficacia che questa ha di ridurre la velocità dei veicoli; condizionando le velocità e responsabilizzando i diversi utenti, siano essi automobilisti, pedoni o ciclisti.
In Germania, Birgit Stuwe (1991) dell'università della Ruhr, Bochum, condusse uno studio comparativo tra rotatorie e altri tipi di incroci.
Vennero analizzate 14 rotatorie e 14 incroci in aree tra loro vicine. Questa scelta permise di ottenere un'analisi comparativa equa rispetto ai parametri di traffico, quali il volume veicolare e i comportamenti dell'utenza. L'analisi indicò che il numero totale degli incidenti che avvenivano sulle rotatorie era maggiore ma con conseguenze nettamente inferiori.
Un analisi più approfondita di questi risultati fece individuare due tipi distinti di rotatorie.
Il primo raggruppante le grandi rotatorie di vecchia progettazione, con doppie corsie di entrata e con curvatura in ingresso avente un piccolo angolo di incidenza, questo tipo di rotatorie facevano segnalare un elevato numero di incidenti. Il secondo tipo era costituito dalle rotatorie moderne con entrata quasi radiale e isola centrale interna del diametro di 28-35 metri; queste facevano registrare pochi incidenti e con lievi conseguenze.
Alla fine del 1992, Chris Schoon e Jaap van Minnen analizzarono 201 rotatorie in Olanda.
Nel confronto prima/dopo fu riscontrato che l'adozione delle rotatorie rispetto agli incroci portava ad una riduzione media nel numero di incidenti gravi del 47% e del 71% degli incidenti lievi.
Con l'introduzione della precedenza ai veicoli in circolazione nella rotatoria e l'abbassamento della velocità si ottenne il risultato di avere, a parità di efficienza, delle rotatorie con l'isola centrale più piccola e di conseguenza delle rotatorie che potevano essere inserite in contesti urbani con ridotte possibilità di spazi.
L'inserimento di questo sistema di incrocio in ambiti urbani ha portato anche ad avere un'utenza caratterizzata, oltre che da veicoli, anche da pedoni e ciclisti.

1.2 DEFINIZIONI e CARATTERISTICHE

La rotatoria è una particolare intersezione a raso, caratterizzata dalla presenza di un'area centrale circolare e inaccessibile, circondata da un anello, percorribile in una sola direzione ed in senso antiorario dal traffico proveniente da più entrate.

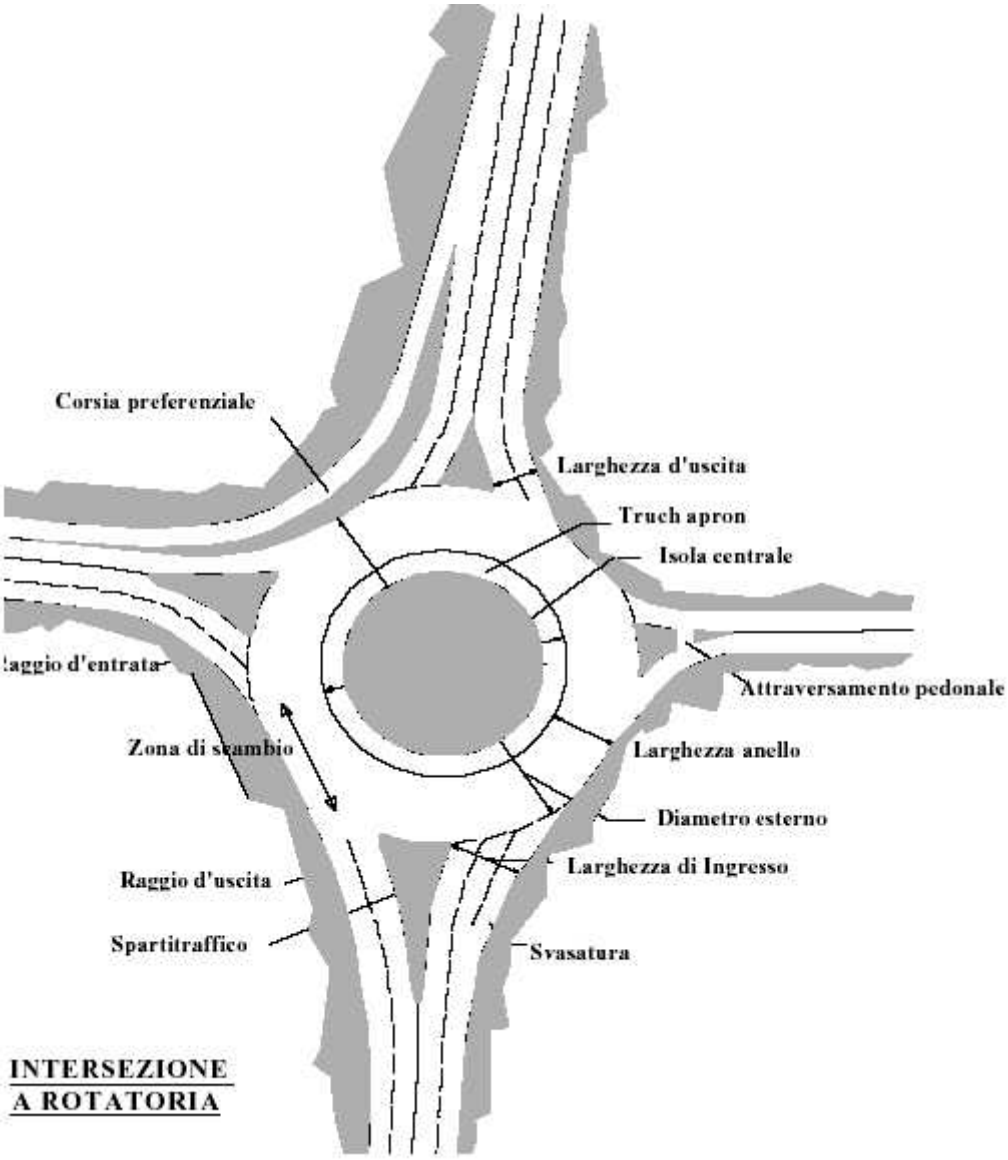


Figura 1-1 – Definizione degli elementi componenti la rotatoria

Nella Figura 1-1 sono evidenziati gli elementi componenti la rotatoria e per maggiore completezza di seguito si riportano le definizioni dei singoli elementi :

- ANELLO: si intende la carreggiata che circonda l'isola centrale, percorsa dai veicoli in senso antiorario.

- ISOLA CENTRALE: è la parte più interna del sistema a rotatoria, generalmente di tipo non valicabile e di forma circolare. La dimensione dell'isola centrale è influenzata dalla necessità di ottenere una sufficiente deviazione per i veicoli che attraversano diametralmente la rotatoria.

- FASCIA VALICABILE: generalmente è presente nelle rotatorie di piccolo diametro ed è una corona circolare che circonda l'isola centrale. Tale fascia serve a facilitare le manovre dei mezzi pesanti lungo l'anello, può essere semplicemente disegnata con segnaletica orizzontale, oppure pavimentata con materiale lapideo, diverso dalla pavimentazione dell'anello.

- BRACCIO: rappresenta quella porzione di asse stradale che converge verso l'anello.

- ENTRATA: è la parte terminale della carreggiata di ogni singolo braccio che viene utilizzata per entrare nella rotatoria. L'entrata è separata dall'anello dalla segnaletica orizzontale di dare la precedenza.

- USCITA: è la parte di carreggiata di ogni singolo braccio che viene utilizzata per uscire dalla rotatoria.

- ISOLA DI SEPARAZIONE: è una piattaforma costruita su un ramo d'intersezione tra la corsia in entrata e quella di uscita. In alcuni casi può servire da rifugio ai pedoni e costringe i veicoli ad una deflessione dalla loro traiettoria. In ambito urbano, se manca lo spazio, oppure se si tratta di sbocchi di vie con poco traffico, le isole di separazione talvolta sono limitate ad una semplice segnaletica orizzontale.

Aspetto fondamentale che caratterizza la rotatoria rispetto ad altri tipi di intersezione è che questa è in grado di controllare la velocità all'interno dell'incrocio, mediante l'introduzione nella geometria del raccordo di una deflessione, che impedisce l'attraversamento con una traiettoria diretta. Si costringe così l'utente a limitare la velocità indipendentemente dalla segnaletica stradale.

A seconda delle dimensioni del diametro della circonferenza esterna, le rotatorie si possono suddividere nelle seguenti categorie:

- Mini rotatorie

- Rotatorie compatte

- Grandi Rotatorie

1.3 CAMPI DI APPLICAZIONE

La decisione di sistemare un incrocio a rotatoria si basa, oltre che su criteri di gestione del traffico (capacità e livello di fluidità dell'intersezione), anche su criteri di sistemazione urbanistica. Infatti la costruzione di una rotonda può risultare conveniente nei seguenti casi:

- quando si vuole evidenziare l'entrata di una località, di un quartiere o di uno spazio di transizione tra tessuti urbani morfologicamente differenti;

- nell'intersezione di tre o quattro rami, quando le portate di svolta a sinistra e di attraversamento della strada secondaria non sono trascurabili rispetto a quelle della strada principale;

- in un incrocio con più di quattro rami;

- quando si vuole ridurre l'inquinamento di origine veicolare attraverso la fluidificazione del traffico e la riduzione delle manovre di "stop and go";

- nella sistemazione di incroci dove gli incidenti si verificano ripetutamente, ad esempio a causa dell'elevata velocità. Vari studi hanno dimostrato che, con l'adozione dello schema circolare, si consegue in genere un miglioramento della sicurezza con un decremento degli incidenti;

- nel caso di intersezioni dove il perditempo causato dal semaforo sarebbe maggiore. In molte situazioni le rotatorie offrono capacità simili a quelle del semaforo ma operano con minor perditempo e con maggior sicurezza, in particolare nei periodi in cui il traffico non è intenso;

Non sempre però è possibile usufruire dei vantaggi conseguibili con la realizzazione delle rotatorie, ed è sconsigliabile tale realizzazione quando ci si trovi in uno dei seguenti cinque casi [4] :

a) mancanza di spazio, o comunque in un contesto eccessivamente costruito che non consente sufficiente visibilità e raggi di curvatura congruenti;
b) irregolarità plano-altimetriche;
c) regolazione diretta del traffico: la rotatoria disciplina egualmente tutto il traffico entrante, infatti ha come proprietà caratteristica fondamentale la "*non gerarchizzazione*" delle correnti di traffico che in essa confluiscono;
d) sequenza di incroci coordinati da semaforizzazione: l'inserimento di una rotonda in una successione coordinata ha effetti contrari alla strategia della sequenza stessa;
e) precedenza al mezzo pubblico: mentre è possibile predisporre corsie riservate sui rami di accesso, non è possibile attribuire alcuna precedenza al mezzo pubblico all'interno dell'anello.

CAPITOLO 2 - CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA ROTATORIA - ELEMENTI DI PROGETTAZIONE E SICURZZA -

2.1 SAGOMA LIMITE INSCRIVIBILE IN CURVA

Le rotatorie devono consentire il transito di qualunque veicolo. Nel Nuovo codice della strada oltre alla definizione di sagoma limite (art. 61), ossia le dimensioni massime che tutti i veicoli devono rispettare per poter circolare, vi è quella di fascia d'ingombro per l'inscrivibilità in curva dei veicoli; in particolare l'art. 217 del Regolamento di Attuazione definisce che: "ogni veicolo a motore, o complesso di veicoli, compreso il relativo carico, deve potersi inscrivere in una corona circolare (fascia d'ingombro) di raggio esterno 12,50 m e raggio interno 5,30 m".[5] [6]
Tale articolo determina le condizioni di massimo ingombro dei veicoli che percorrono una curva, e di conseguenza le dimensioni geometriche di riferimento per il calcolo del raggio minimo della rotatoria e della larghezza dell'anello [10].

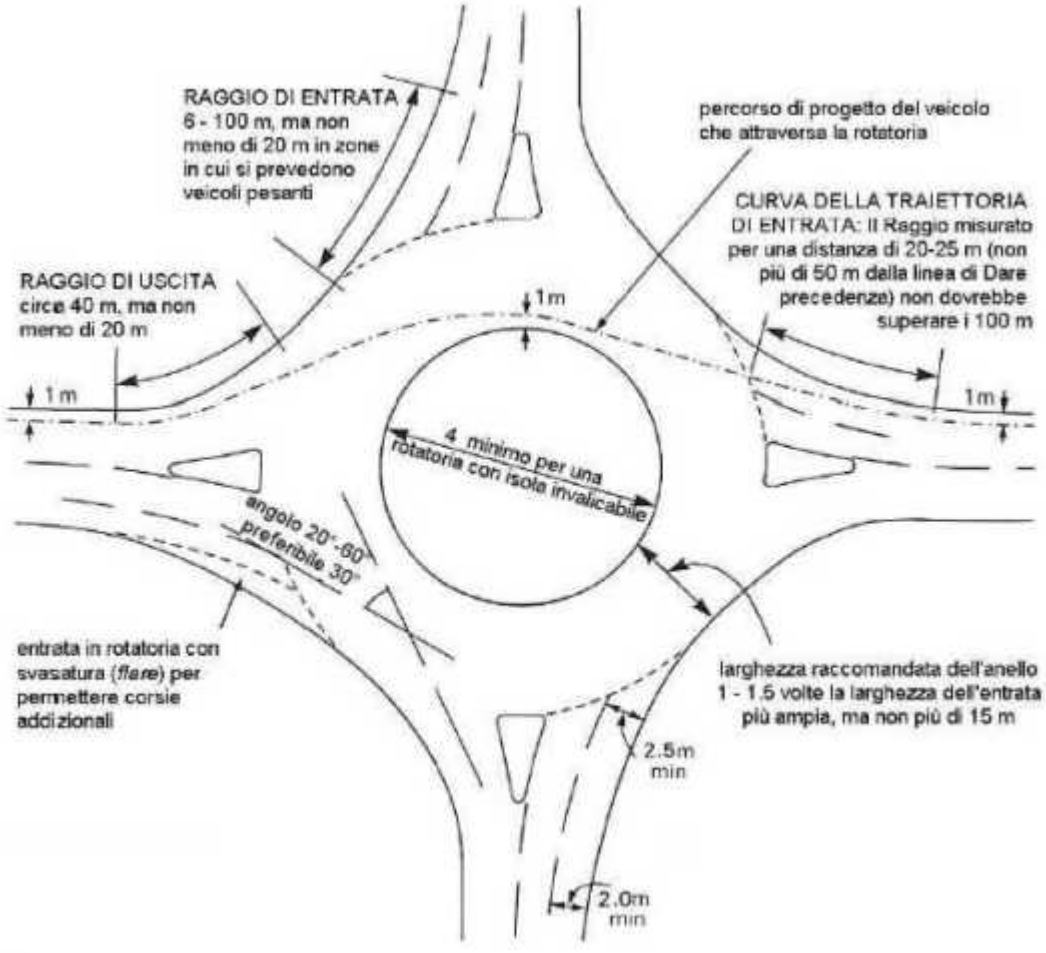


Figura 2 -1 - Svasatura, raggi di entrata e di uscita, larghezze ed altri requisiti geometrici consigliati dalle Norme Inglesi [4]

2.2 CONCETTO DI DEFLESSIONE DELLE TRAIETTORIE

La regola principale per il disegno progettuale delle rotatorie riguarda il controllo della deflessione delle traiettorie in attraversamento del nodo, ed in particolare le traiettorie che interessano due rami opposti o adiacenti rispetto all'isola centrale. Essendo uno degli scopi delle rotatorie quello di avere un assoluto controllo delle velocità all'interno dell'incrocio risulta essenziale che la geometria complessiva impedisca valori cinematici superiori ai limiti usualmente assunti a base di progetto, e cioè con velocità massime di 40-50 km/h per le manovre più dirette.

Si definisce in particolare *deflessione* (Figura 2-1) di una traiettoria il raggio dell'arco di cerchio che passa a 1.50 m dal bordo dell'isola centrale e a 2.00 m dal ciglio delle corsie d'entrata e uscita. Tale raggio non deve superare il valore di 00 m, cui corrispondono le usuali velocità di sicurezza nella gestione di una circolazione rotatoria.
Se il valore della deflessione fosse troppo grande, potrebbe essere riportato ai valori sopraccitati variando la disposizione di uno o più bracci oppure aumentando il raggio dell'isola centrale.[10]

2.3 ELEMENTI GEOMETRICI DELLA ROTATORIA

Per ottenere il massimo vantaggio dalla realizzazione di un'intersezione a rotatoria, i rami della medesima (Figura 2-2), devono avere una disposizione equilibrata, orientati verso il centro dell'isola centrale, e formanti tra loro angoli prossimi all'angolo retto; nel caso non sia possibile ottenere questo valore angolare è opportuno, in ogni caso, non scendere al di sotto dei 30° .
Nel caso di un angolo inferiore ai 30° tra due rami, sarà opportuno deviare uno dei due rami come evidenziato nella Figura 4-5.[10]

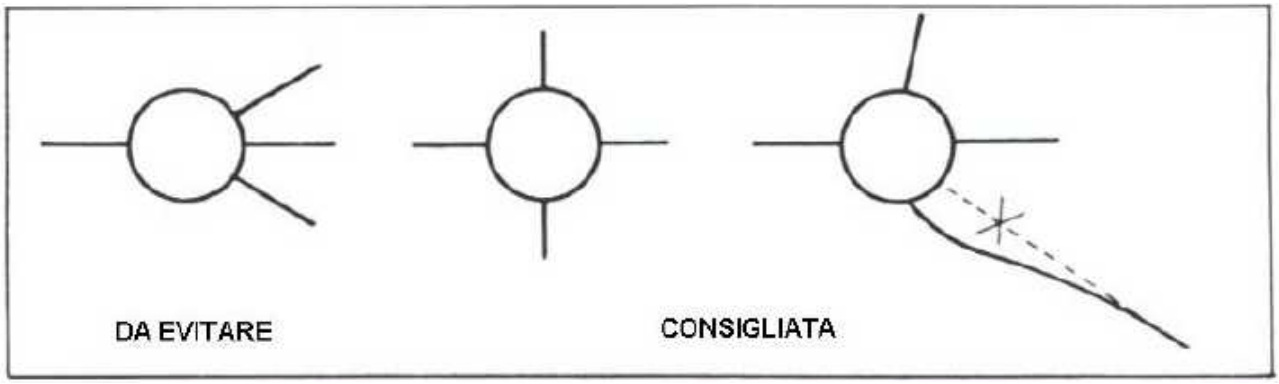


Figura 2-2 – Disposizione equilibrata dei bracci della rotatoria [7] – [8].

Centro della rotatoria

L'elemento geometrico iniziale da esaminare è il posizionamento del centro della rotatoria (Figura 2-3). L'asse dei rami deve essere orientato verso il centro della rotatoria in modo da non consentire percorsi rettilinei e tangenti all'isola centrale. Tuttavia raramente si può ottenere questo unico punto d'intersezione, più spesso i punti d'intersezione sono dispersi a formare un poligono. In questo caso è opportuno che il centro della rotatoria venga scelto all'interno di tale poligono.
Nel caso d'incrocio a T (3 bracci) è consigliabile collocare, il centro della rotatoria sull'asse del percorso rettilineo principale. Qualora, per motivi di spazio questo non fosse possibile, il centro può essere spostato dalla posizione ottimale purché la deflessione delle varie manovre si mantenga entro i limiti consigliati.[10]

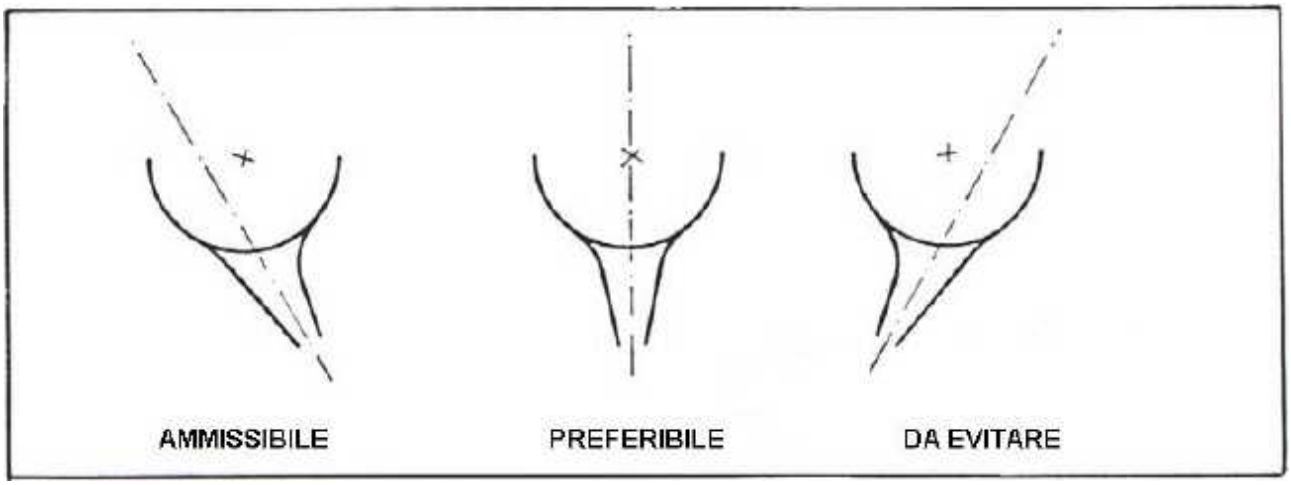


Figura 2 -3 – Posizionamento del centro della rotatoria. L'asse di ciascun ramo deve passare preferibilmente per il centro dell'isola ma occorre evitare che sia tangente all'anello [7] – [8].

Una volta determinata la posizione del centro della rotatoria si dovrà procedere alla determinazione degli altri elementi costituenti la rotonda; tra questi l'isola centrale riveste un ruolo molto importante per la sicurezza dell'intersezione essa dovrà garantire un'adeguata deflessione nei percorsi d'attraversamento.

Isola Centrale

Per ottimizzare l'intersezione a rotatoria l'isola centrale deve avere una forma circolare. Solo in casi molto particolari si potranno utilizzare forme oblunghe od ovali, in questo caso l'eccentricità, intesa come rapporto fra il raggio minimo ed il raggio massimo, non deve essere inferiore a 0.75. Le esperienze francesi hanno evidenziato infatti che rotatorie con rapporti di eccentricità inferiori hanno tassi di incidentalità più elevati.
L'interno dell'isola (Figura 2-4) può formare un rialzo con una pendenza massima del 15% e dovrà essere circondata da bordi bassi o, nel caso di rotatorie di piccole dimensioni, da una fascia carrabile di 1,5-2,0 m. Bordi alti e sicurvia con ingombri considerevoli sono da evitare, poiché possono limitare la visibilità e di conseguenza la sicurezza.[10]

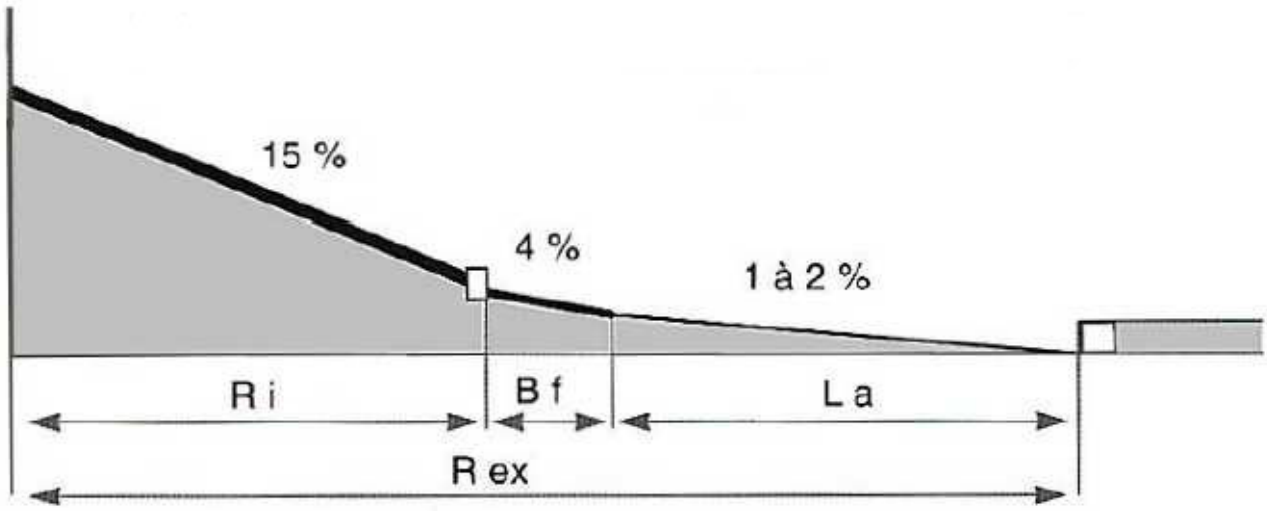


Figura 2 - 4 – Sezioni tipo [7] – [8].

Nella Tabella 2-1 sono riportati i valori dei raggi dell'isola centrale in relazione ai raggi esterni della rotatoria. Questa relazione considera la larghezza dell'anello di circolazione 7 m e per le rotatorie con raggi esterni 12,5 e 15,0 m è considerata anche la realizzazione di una banchina transitabile della larghezza di 1,5 m, mentre per i raggi esterni 20 e 25 è considerata una banchina di 0.50 m.

(R ex) Raggio esterno	(R i) Raggio isola centrale	(B f) eventuale fascia sormontabile	(L a) larghezza * dell'anello
12 m	**3,5 m**	**1,5 m**	**7 m**
15 m	6 m	2 m	7 m
17,5 m	8,5 m	2 m	7 m
20 m	11,5 m	1,5 m	7 m
25 m	16,5 m	1,5 m	7 m

* *larghezza dell'anello se tutti i rami sono ad una sola corsia*

Tabella 2 -1 – Raggi dell'isola centrale in relazione ai raggi esterni [7] – [8].

Anello di Circolazione

La dimensione dell'anello varia in funzione della larghezza e numero di corsie dell'entrata più larga; essa deve essere più larga di questa entrata. Non devono essere ammesse variazioni nella larghezza e non sono ammesse vie supplementari, accessi a proprietà o altri accessi che non siano quelli dei bracci. Questo per non compromettere la leggibilità delle traiettorie dell'intersezione e di conseguenza la sicurezza totale della rotatoria.
In genere la larghezza da adottare per l'anello (escluse banchine) è di 7,00 m; nel caso in cui una o più entrate sia composta da due corsie la larghezza minima dell'anello è di 8,00 m. Nel caso di rotatorie con diametri grandi (superiori a 60-÷70 m) l'ampiezza della corona rotatoria potrà essere pari a 10,00 m.
Per rotatorie con diametro esterno inferiore a 30 m oltre alla dimensione di 7.00 m si dovrà realizzare una banchine transitabile della larghezza di 1.50 m, mentre per rotatorie con diametro superiore a 30 m sarà sufficiente predisporre una banchina interna pavimentata di 50cm.
Questo si rende necessario per favorire le manovre dei veicoli più ingombranti all'interno dell'anello.

La pendenza trasversale dell'anello sarà del 1,5-2 % e dovrà essere diretta verso l'esterno della rotatoria, in modo da migliorare la percezione della carreggiata anulare, mantenere l'orientamento della pendenza delle corsie d'entrata ed uscita e migliorare la gestione dello smaltimento delle acque meteoriche.
La massima pendenza tra due punti diametrali esterni della corona giratoria non deve superare il valore di 5,0 %, è consigliabile comunque limitare quanto possibile questa pendenza.[10]

Entrate

Normalmente le entrate devono essere ad una sola corsia per motivi di sicurezza dell'intersezione.
In alcuni casi, però, potrebbe essere necessario, per aumentare la capacità (strombatura dell'entrata) utilizzare due corsie d'entrata.
Generalmente per la larghezza di un'entrata su un ramo principale si adotta un valore di 3,50÷4,00 m per una corsia misurata a 5 m dalla linea di dare la precedenza.
Nel caso sia necessario aumentare la capacità di un braccio si può adottare un'entrata a due corsie e una larghezza complessiva pari a 6,50 m. In questo caso l'anello di circolazione deve essere larga almeno 8,00 m. La lunghezza del tratto allargato a due corsie (minimo 25÷30 m) deve essere dimensionato mediante la teoria delle code.
Il raggio della traiettoria d'entrata deve essere inferiore al raggio della circonferenza esterna della rotatoria, garantendo in ogni caso un valore minimo non inferiore a 10 m.

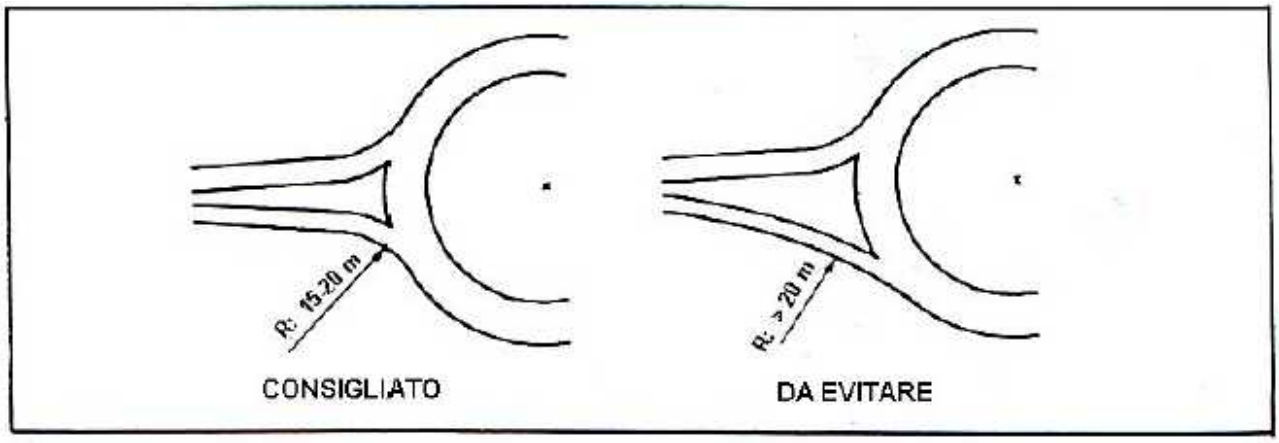


Figura 2 - 5 – I raggi di curvatura dell'entrata compresi tra 15m e 20m rallentano la velocità di entrata e inducono i veicoli a dare la precedenza a chi è sull'anello [7] – [8].

I raggi di curvatura dell'entrata compresi tra i 15 e 20 m (Figura 2-5) rallentano la velocità d'entrata ed inducono i veicoli a dare la precedenza a chi transita sull'anello. Un raggio troppo ampio può portare il valore della deflessione a dei livelli superiori a quelli ottimali (vedi Figura 2-1).
In presenza di notevoli flussi di svolta a destra su qualche approccio è giustificabile realizzare un'apposita corsia riservata per la svolta diretta e fisicamente separata dalla rotatoria. In questo caso occorre verificare la funzionalità dell'immissione sul braccio in uscita. Le condizioni di traffico da considerare determinanti per l'inserimento della rampa diretta si assumono in un volume veicolare di svolta a destra di almeno 300 veq/h nei periodi di punta.[1] – [10]

Uscite

Mentre le entrate sono progettate per rallentare i veicoli, le uscite dovrebbero essere disegnate in modo da liberare il più velocemente possibile l'anello di circolazione.
Per questa ragione il raggio della traiettoria d'uscita deve essere superiore sia al raggio dell'entrata sia al raggio della circonferenza dell'isola giratoria interna, garantendo comunque un valore minimo non inferiore a 15 m.
Come per le entrate, anche le uscite dovrebbero essere normalmente ad una sola corsia.
La larghezza dell'uscita dalla rotatoria è compresa tra 4,00÷5,00 m onde facilitare la cinematica della manovra. Le uscite a due corsie sono necessarie solo nel caso di traffico orario uscente superiore a 1.200 veq/h. La larghezza delle uscite a due corsie è normalmente di 7 m. Esse in genere sono pericolose per la sicurezza dei pedoni e delle dueruote. [10]

Isola Separatrice

L'isola separatrice favorisce la percezione delle rotatorie nell'avvicinamento a loro, riduce la velocità d'entrata, separa fisicamente l'entrata dall'uscita in modo da evitare manovre errate, controlla la deviazione in entrata ed uscita, permette di costituire un rifugio ai pedoni e permette l'installazione dei segnali stradali.
Generalmente le dimensioni dell'isola separatrice sono proporzionate a quelle dell'isola centrale in modo da ottenere dei parametri soddisfacenti della deflessione.

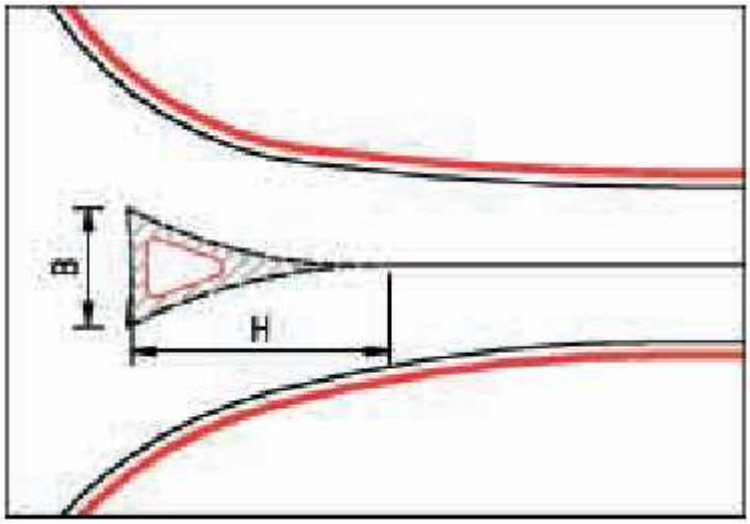


Figura 2 - 6 – Quando il traffico sull'entrata è prossimo alla saturazione ed il traffico in uscita sul ramo è rilevante, aumentando l'ampiezza H dell'isola separatrice, si può aumentare la capacità della rotatoria poiché diminuisce il traffico di disturbo sull'entrata [7] – [8] – [10].

Altro fattore che potrà influire sulla larghezza "B" (Figura 2-6) è la necessità di inserire un passaggio pedonale e di predisporre all'interno dell'isola uno spazio destinato al rifugio dei pedoni.
Come prescrizione di massima, sulle vie dove i flussi sono rilevanti (superiore ai 2000 veq/h), la larghezza B e la lunghezza H dell'isola separatrice dovranno essere [9]:

$$6 < B < 20m \;\; ; \;\; 10 < H < 60m$$

Questi valori variano in funzione del carattere del sito attraversato, delle velocità di progetto, e del traffico, in particolare quando il flusso veicolare d'entrata è prossimo alla saturazione e quello in

uscita sul ramo è elevato, aumentando l'ampiezza "B" dell'isola separatrice, si può aumentare la capacità della rotatoria poiché diminuisce il traffico di disturbo sull'entrata.
Per poter essere il più possibile visibile, l'isola separatrice dovrà avere un perimetro costituito da una cordonata in materiale cementizio o lapideo e dovrà essere rialzato.
Gli spigoli dovranno essere raccordati con un raggio di circa 60 cm. [10]

Tabella di riepilogo

In Tabella 2-2 sono riassunte le caratteristiche geometriche che compongono una rotatoria.

SIGLA ELEMENTO	DESCRIZIONE	VALORI
R_A	Raggio esterno	Mini rotatorie: **7÷13m** Rotatorie compatte: **13÷20 m** Rotatorie medie: **20÷30 m** Grandi rotatorie: **>30 m**
La	Larghezza anello di circolazione	**7-8 m** **10 m** (3 corsie virtuali)
Ri	Raggio interno isola centrale	$Ri = R_A - La - Bt$
Bt	Banchina transitabile	**1.5 – 2 m**
Le	Larghezza della corsia in entrata	**3.5-4.0 m** per una corsia **6.5 m** per due corsie
Re	Raggio d'entrata	$Re < R_A$; Minimo **10 m**
Lu	Larghezza della corsia in uscita	**4.00 – 5.00 m**
Ru	Raggio d'uscita	Ru > Ri ; Minimo **15 m**
B	Larghezza isola separatrice	Minimo **3 m**
H	Lunghezza isola separatrice	Minimo **7 m**

Tabella 2 -2 – Caratteristiche geometriche [10].

2.4 COMPATIBILITÀ DELLA GEOMETRIA CON I VOLUMI E TIPOLOGIA DI TRAFFICO

La compatibilità della geometria con i volumi e tipologia del traffico è strettamente legata all'ambiente. Una minirotonda, dove il traffico pesante non può transitare è realizzabile se nel contesto in cui dovrà inserirsi è prevista una viabilità alternativa per i mezzi pesanti. Da alcuni studi è emerso che la capacità di una rotatoria non è proporzionale al diametro, infatti oltre ai 70 m di diametro, non si ottengono benefici sensibili da giustificare una maggiore occupazione di territorio. Maggiori diametri si possono giustificare però quando la rotatoria è inserita in uno svincolo a più livelli, perché in tal caso la dimensione del diametro risulta influenzata dalla presenza del viadotto o del sottopassaggio.[10]

Nella Tabella 2-3 è riassunta la compatibilità di alcuni modelli di rotatorie con i volumi e tipologie di traffico [9]. Sono, inoltre, identificati alcuni campi di applicazione in base al diametro esterno.

	MINI ROTATORIE	URBANE COMPATTE	URBANE A SINGOLA CORSIA	URBANE A DOPPIA CORSIA	EXTRA-URBANE A SINGOLA CORSIA	EXTRA-URBANE A DOPPIA CORSIA
Velocità d'ingresso	25 km/h	25 km/h	35 km/h	40 km/h	40 km/h	50 km/h
Numero di corsie in entrata	1	1	1	2	1	2
Diametro esterno	14-26m	26-30m	30-45m	45-55m	35-50m	50-60m
Campo di applicazione	Area urbana viabilità di quartiere	Area urbana non su assi principali	Ovunque	Su assi di grossa percorrenza	Ovunque	Su assi di grossa percorrenza
Volume di traffico tipico sui 4 rami (veic./g)	10.000	15.000	20.000	E' richiesta una specifica analisi dei flussi di traffico	20.000	E' richiesta una specifica analisi dei flussi di traffico
Accorgimenti per i pedoni	Attraversamenti zebrati	Attraversamenti zebrati con isola spartitraffico	Attraversamenti zebrati con isola spartitraffico	Da valutare il singolo caso	Attraversamenti zebrati con isola spartitraffico	Da valutare il singolo caso
Accorgimenti per i ciclisti	nessuno	Mantenimento pista ciclabile	Mantenimento pista ciclabile	Realizzazione di un percorso esterno alla rotatoria	Realizzazione di un percorso esterno alla rotatoria	Realizzazione di un percorso esterno alla rotatoria
Trasporto pubblico	Sconsigliato	Sconsigliato	Evitare i raggi minori	OK	OK	OK
Mezzi pesanti	Prevedere viabilità alternativa	Prevedere viabilità alternativa	Evitare i raggi minori	OK	OK	OK

Tabella 2 -3 – Compatibilità, in base al diametro esterno, delle rotatorie con i volumi e tipologia di traffico [10].

2.5 SICUREZZA

Con la soluzione a rotatoria si ottiene una riduzione sia nella gravità che nel numero degli incidenti. I motivi di questa riduzione possono essere così riassunti:

- riduzione dei punti di conflitto dovuti alla circolazione a senso unico. Nella Figura 2-7 si può notare come nella rotatoria, rispetto all'intersezione classica a raso, permette una riduzione dei punti di conflitto.

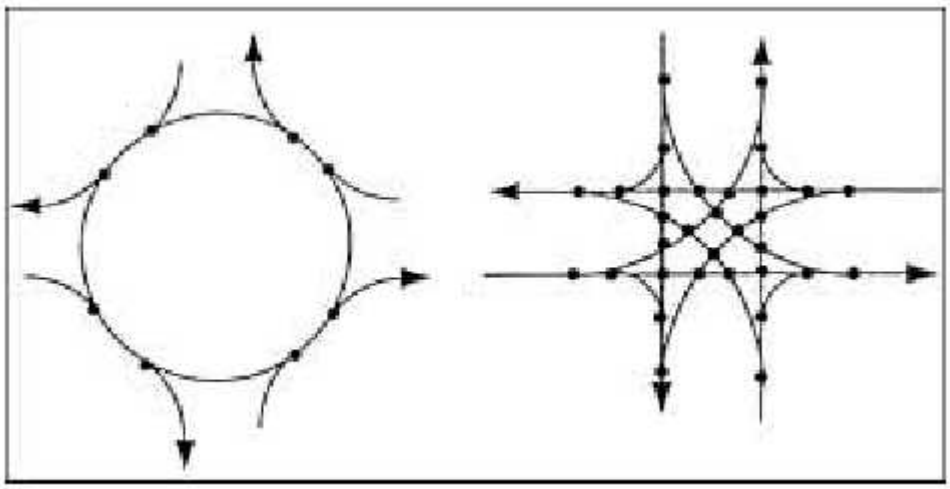


Figura 2 - 7 – Punti di conflitto in una rotatoria a 4 rami (8) ed in un analogo incrocio a raso (32) [4] -[7] - [8].

- eliminazione delle manovre di svolta a sinistra che sono causa della maggior parte degli incidenti mortali alle intersezioni;

- bassa velocità relativa tra i veicoli nelle aree di conflitto;

- facilità di decisione (solo svolta a destra) per ogni ramo di entrata;

- azione di responsabilizzazione dell'utenza. La rotatoria, a differenza di un incrocio regolato da semafori costringe il guidatore ad una maggiore attenzione data la mancanza di un sistema automatico di regolazione delle precedenze;

- introduzione nella geometria del raccordo di una deflessione che impedisce l'attraversamento dell'incrocio con una traiettoria diretta e conseguentemente la riduzione della velocità del veicolo;

- le isole direzionali offrono rifugio ai pedoni e permettono di attraversare la strada in più tempi;

- possibilità di effettuare, in sicurezza, una manovra per lo più proibita negli incroci tradizionali: l'inversione di marcia.

2.5.1 Protezione dell'utenza debole

2.5.1.1 Pedoni

Le rotatorie, come il resto delle infrastrutture stradali, devono permettere la mobilità in sicurezza a tutti gli utenti della strada indipendentemente dal veicolo utilizzato.
Per i pedoni, le rotatorie, non sono più pericolose di altri tipi di intersezioni tuttavia le rotatorie di grandi dimensioni sono disagevoli e generano una sensazione di insicurezza e costringono ad allungare i percorsi al punto da ritenere che rotatorie con diametro esterno maggiore di 60 m sono considerate delle vere e proprie barriere.
La velocità è il fattore determinante della gravità dell'incidente tra pedone e veicolo. Nelle rotatorie, specie quelle urbane, le basse velocità operative dei veicoli (sono circa 30-40 km /h) favoriscono pertanto la diminuzione di rischio per i pedoni.
L'esperienza francese ha, inoltre, dimostrato che le rotatorie non sono più pericolose per i pedoni. Infatti gli incidenti con i pedoni sono abbastanza rari e la maggior parte dei quali associati a rotatorie con entrate a più corsie.
Altro fattore da tenere in considerazione nella progettazione è la possibilità o meno di separare fisicamente le componenti di traffico.
Se la separazione funziona finché ciascun utente rimane nella propria sede, è causa di grandi problemi quando le diverse componenti di traffico vengono a contatto stimolando comportamenti aggressivi da parte degli utenti più forti.
Di conseguenza si dovrà cercare di perseguire il concetto d'integrazione [6] che, puntando ad una commistione di utenti nell'uso della strada, suggerisce una minore velocità dei flussi veicolari. Tale scelta progettuale, dedicata alle aree a vocazione residenziale, punta ad indebolire la posizione di forza degli automobilisti in favore degli utenti deboli (ciclisti e pedoni), ad aumentare la permeabilità degli spazi stradali ed a facilitare gli attraversamenti.
All'aumento delle possibilità di interazione tra i diversi utenti (e quindi ad una apparente minore sicurezza), dovranno corrispondere delle misure che consentano di ottenere un maggior grado di sicurezza. Tra queste misure si inseriscono anche interventi per la moderazione della velocità del traffico e le rotatorie sono uno strumento efficace per ottenere lo scopo.
Poiché la rotatoria viene, generalmente, caratterizzata nei rami di adduzione, dall'inserimento di isole divisionali tra i due sensi opposti di marcia risulta generalmente ottenibile la separazione dell'attraversamento dei due sensi della corrente veicolare, utilizzando l'isola quale rifugio e di frazionamento dell'itinerario.
Le dimensioni dell'isola di rifugio, in profondità non deve essere, possibilmente inferiore a 1.50 metri [9], in modo da consentire alle persone su carrozzina il cambiamento di direzione. E' consigliabile una misura di 1.80 – 2.00 metri, in modo da garantire un minimo di protezione anche ai ciclisti, qualora esistano attraversamenti ciclabili.
La larghezza dell'attraversamento pedonale va commisurata all'entità del flusso pedonale reale o previsto. Si dovrà tenere in considerazione se il passaggio è ubicato in prossimità di centri commerciali, grandi magazzini, punti di scambio nella rete dei trasporti ecc.
La larghezza dell'attraversamento non deve essere inferiore a 2,50 metri nelle aree urbane e 4 ,00 metri nelle altre strade (art. 145/1 Nuovo Codice della Strada) [5].
Ove possibile, è consigliabile che le due serie di strisce pedonali, quella relativa al ramo d'entrata e quella di uscita, siano sfalsate di alcuni metri tra loro (Figura 2-8).
L'attraversamento del ramo d'entrata dovrà essere più distante dall'anello circolatorio rispetto a quello del ramo di uscita in tal modo i pedoni cammineranno lungo l'isola spartitraffico guardando il flusso veicolare che dovranno successivamente attraversare.

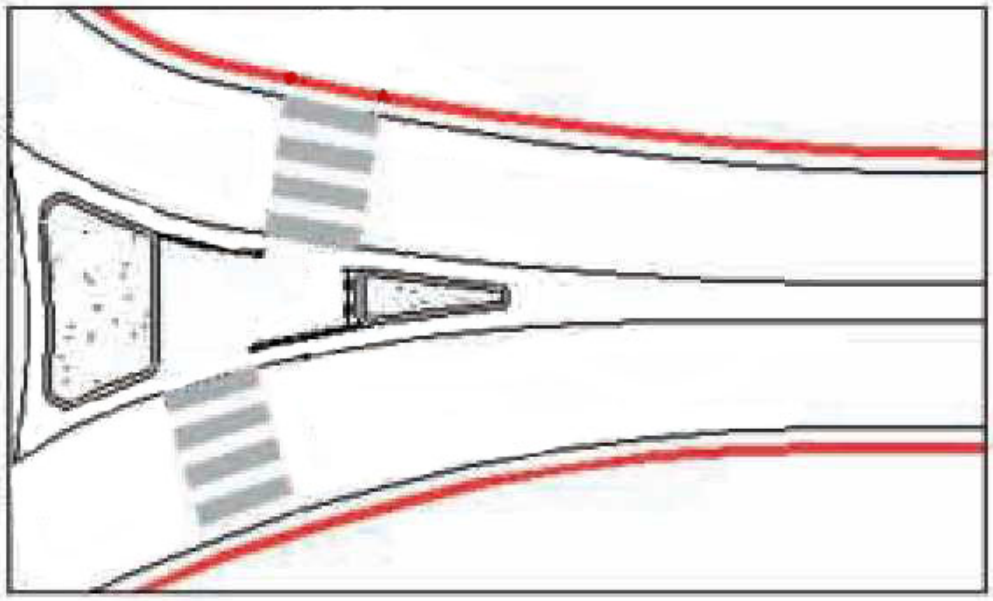


Figura 2 - 8 – Attraversamento pedonale sfalsato [10].

Il passaggio pedonale dovrà essere arretrato di 1 a 2 vetture rispetto alla linea di fermata (da 5 a 10 m) in modo che i pedoni possano passare dietro alle vetture ferme in attesa di inserirsi nella corona giratoria. In tale posizione risulta inoltre più semplice migliorare la visibilità reciproca pedone-automobilista. E' essenziale, per la regolamentazione dei movimenti dei pedoni, dissuaderli da attraversare o impegnare l'anello. Questo può essere reso possibile adottando un'elevata qualità dei percorsi pedonali lungo la corona in modo da indurre i pedoni a preferire i percorsi a loro dedicati e studiati per la loro sicurezza. Inoltre si potranno utilizzare degli ostacoli appropriati lungo i bordi (archetti, catene ecc.) in modo da dissuadere il pedone da intraprendere percorsi non previsti e potenzialmente pericolosi.
Naturalmente il tentativo di canalizzare i flussi pedonali attraverso l'utilizzo di barriere o piantumazioni, dovrà tener conto del concetto di visibilità dell'intersezione che rappresenta la distanza richiesta al guidatore senza precedenza per percepire e reagire alla presenza di veicoli in conflitto oltre al fatto che alcune barriere portano alla diminuzione della visibilità del pedone, specialmente nel caso di bambini, da parte dell'automobilista.
In generale, gli attraversamenti pedonali dal bordo esterno verso l'anello sono da evitare.

Si dovranno, in sede di progettazione, prevedere un'adeguata illuminazione e segnalazione che metta in risalto gli attraversamenti delle utenze deboli. [10]

2.5.1.2 Ciclisti

Come riportato nel C.d.S. le strade di nuova costruzione classificate come C, D, E ed F del D.M. 5 novembre 2001, “devono avere, per l'intero sviluppo, una pista ciclabile adiacente purché realizzata in conformità ai programmi pluriennali degli enti locali, salvo comprovati problemi di sicurezza” (Art. 13, comma 4-bis).
Quindi è importante individuare dei criteri per la gestione dei flussi dei ciclisti all’interno delle rotatorie. Nel caso di viabilità esistenti, la realizzazione di infrastrutture ciclabili generalmente sono attuabile solo attraverso il coordinamento di molteplici interventi collegati tra loro, come ad esempio: le modifiche alla circolazione veicolare (sensi unici, riduzione dei limiti di velocità), la riorganizzazione funzionale della strada, il ridisegno delle intersezioni ecc.
La sicurezza dei ciclisti nelle rotonde è fortemente legata al volume di traffico motorizzato, alle velocità e comunque, rappresenta una condizione delicata, anche per il fatto che generalmente gli automobilisti rifiutano di dover dare la precedenza ai ciclisti.
La scelta delle infrastrutture da dedicare ai ciclisti è funzione dei risultati dei conteggi di traffico.

2.6 VISUALI LIBERE DA GARANTIRE

L’esistenza di opportune visuali libere costituisce primaria ed inderogabile condizione di sicurezza della circolazione, in particolare nelle zone di intersezione, dove si concentra il maggior numero di punti di conflitto veicolare.
Per distanza di visuale libera si intende “la lunghezza del tratto di strada che il conducente riesce a vedere davanti a sé senza considerare l’influenza del traffico, delle condizioni atmosferiche e di illuminazione della strada”. [11]
Nel caso di una rotatoria si deve, innanzitutto, garantire un adeguato spazio, libero da qualunque impedimento visivo, tra il veicolo in approccio all’intersezione e la linea del “dare precedenza” per consentire l’arresto del veicolo.
E’ importante inoltre che gli utenti, che stanno giungendo in rotatoria, riescano a percepire i veicoli con precedenza all’interno della corona in tempo per modificare la propria velocità e quindi cedere il passaggio o eventualmente immettersi nell’anello. Lo studio a carattere prenormativo [1] fornisce le seguenti prescrizioni per valutare questo tipo di visuale libera.
Lo studio prenormativo [2] suggerisce di non considerare come ostacoli visivi gli elementi discontinui (come pali per l’illuminazione, segnaletica, alberi) aventi larghezza in orizzontale inferiore a 0.80 m.
Un’ulteriore visuale libera da garantire è quella relativa ai veicoli che percorrono la rotatoria; essa si riferisce sia alla distanza di arresto per la presenza di oggetti o altri veicoli presenti nell’anello sia alla distanza di visibilità per prevedere l’ingresso di altri veicoli. Questa fascia di visibilità incide sull’arredo dell’isola centrale, in particolare nelle rotatorie di piccole dimensioni. In ogni caso non devono essere posti ostacoli visivi (come alberi) a meno di 2 m dal bordo dell’isola centrali o, in assenza di bordura sormontabile, a 2,50 m dalla linea di demarcazione dell’isola centrale).

Le varie verifiche di opportune visuali libere da garantire sono qui riassunte :

1) Verifica della distanza di visibilità per l'arresto nel ramo di ingresso in rotatoria; nel caso in cui nella prima a linea d'arresto ci sia un attraversamento pedonale, la distanza di visibilità va calcolata con riferimento a quest'ultimo (Figura 2-9);

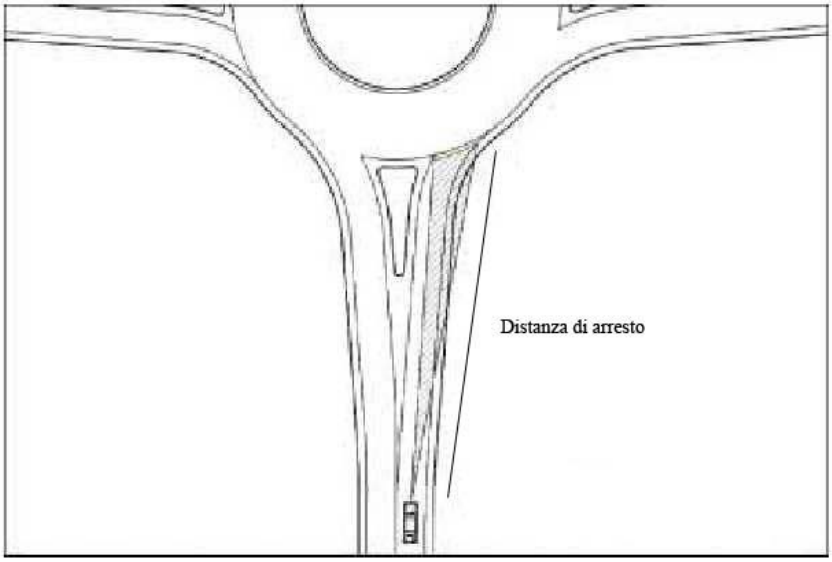


Figura 2-9 – Distanza di visibilità per l'arresto da garantire nel ramo di ingresso in rotatoria.

2) Verifica della visibilità dell'intersezione. Nel caso di una intersezione a 4 o più bracci, la zona necessaria per la visibilità corrisponde al quarto di corona giratoria (Figura 2-10). Nel caso di 3 bracci la zona si deve estendere fino all'innesto viario più prossimo a sinistra (Figura 5-5);

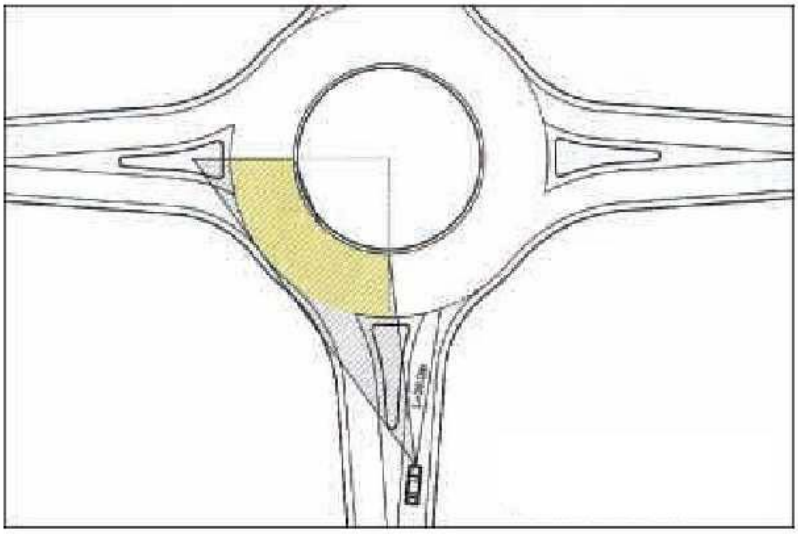


Figura 2-10 – Visibilità della rotatoria, caso con 4 bracci

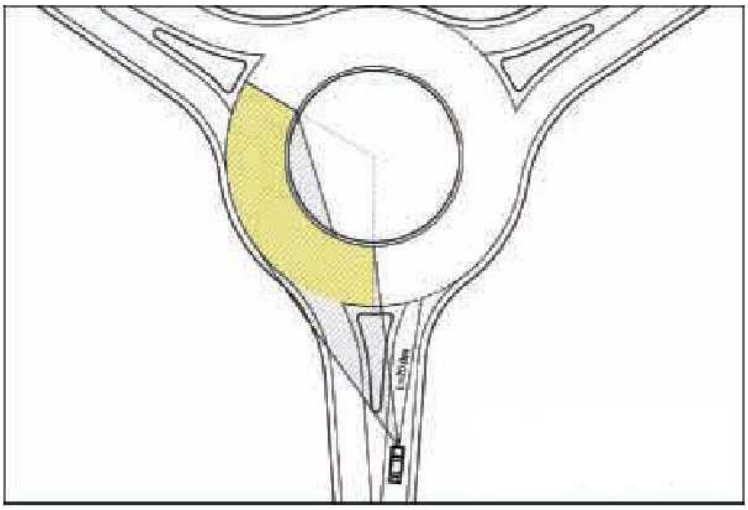


Figura 2-11 – Visibilità dell'intersezione, caso con 3 bracci.

3) Verifica della visibilità nella circolazione lungo l'anello. La visuale si riferisce sia alla distanza di arresto per la presenza di oggetti o altri veicoli presenti nell'anello, sia alla distanza di visibilità per prevedere l'ingresso di altri veicoli. Questa fascia di visibilità incide sull'arredo dell'isola centrale, in particolare nelle rotatorie di piccole dimensioni. In ogni caso non devono essere posti ostacoli visivi (come alberi) a meno di 2 m dal bordo dell'isola centrali o, in assenza di bordura sormontabile, a 2,5 m dalla linea di demarcazione dell'isola centrale (Figura 2-12);

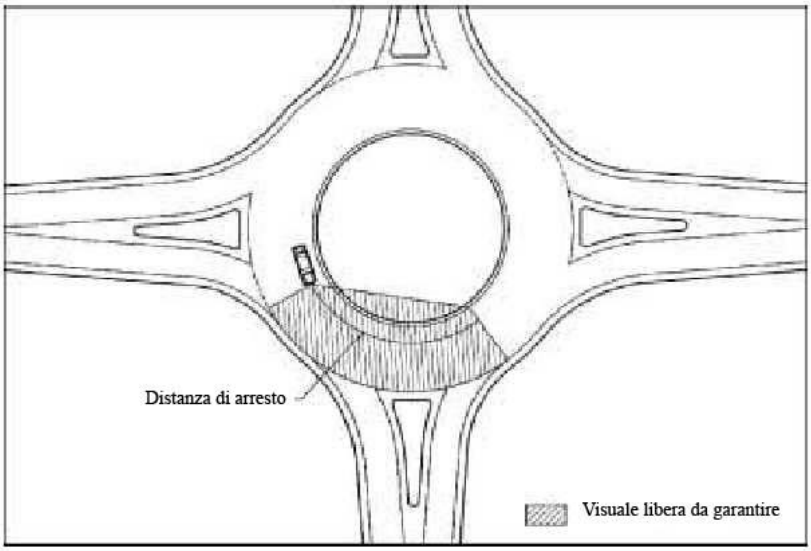


Figura 2-12 – Distanza di visibilità nella circolazione lungo l'anello.

4) Verifica del triangolo da garantire in corrispondenza di intersezioni stradali a raso (C.d.S.) Oltre alle distanze di visibilità prima analizzate, è necessario garantire, come previsto dal Nuovo Codice della Strada, delle idonee aree di visibilità (art. 16 in ambito urbano ed art. 18 in ambito extraurbano), le quali individuano un triangolo di visibilità che deve aggiungersi a quello individuato dalle fasce di rispetto (Figura 2-13);

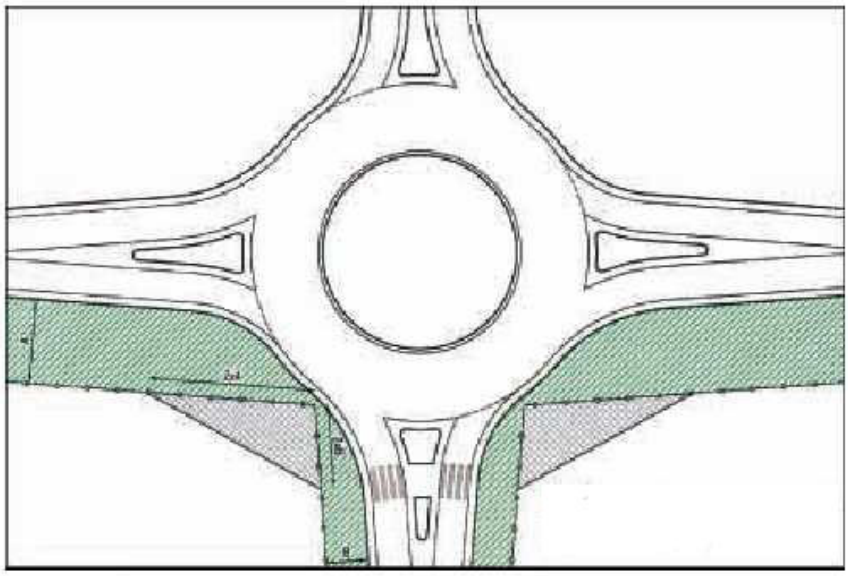


Figura 2-13 - Triangolo di visibilità da garantire in corrispondenza di intersezioni stradali a raso come prescritto dal Nuovo Codice della Strada.

5) Verifica della visibilità di un attraversamento pedonale da parte di un veicolo in uscita. Nel caso di rotatorie interessate da attraversamenti pedonali è necessario verificare che essi siano visibili dai veicoli circolanti nell'anello e/o da coloro che si devono immettere in rotatoria e provengono dal ramo immediatamente a sinistra dell'attraversamento. Per le rotatorie senza attraversamenti pedonali si dovrebbe prevedere comunque una verifica di transitabilità dei pedoni (Figura 2-14);

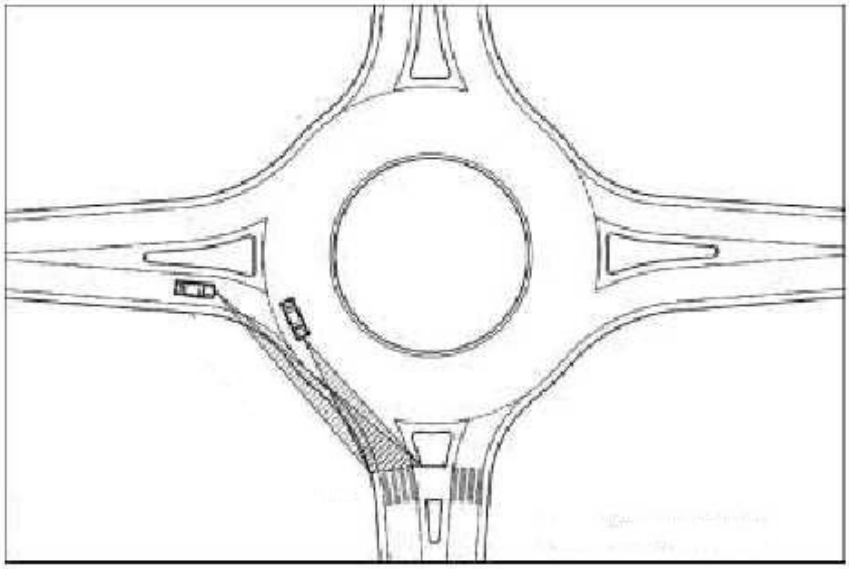


Figura 2-14 - Visibilità di un attraversamento pedonale da parte di un veicolo in uscita.

6) Verifica della visibilità per il pedone in prossimità di un attraversamento pedonale. Per migliorare la sicurezza dell'attraversamento è opportuno garantire una reciproca visione del pedone con il guidatore del veicolo. E' consigliabile, pertanto verificare la visibilità del veicolo da parte del pedone (Figura 2-15);

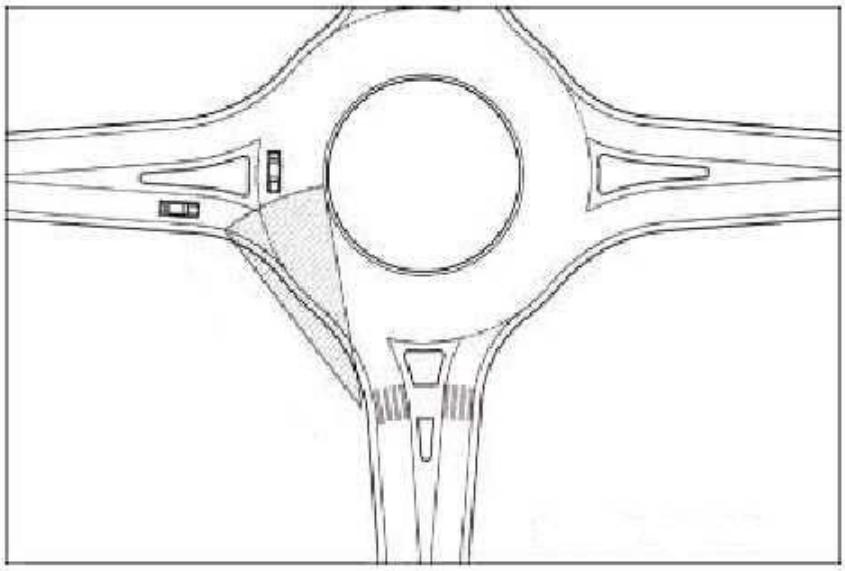


Figura 2-15 - Visibilità per il pedone in prossimità di un attraversamento pedonale.

.

CAPITOLO 3 - ELEMENTI DI COMPLETAMENTO E ARREDO

3.1 INDICAZIONI SULLE PAVIMENTAZIONI

Generalmente, in Italia, la differenziazione delle pavimentazioni avviene quasi esclusivamente nelle rotatorie di piccole dimensioni dove l'anello centrale invalicabile è contornato da un'area concentrica transitabile di larghezza variabile da 1.5 a 2 metri e pendenza trasversale più accentuata, pari a circa 4÷6%, questo per permettere la manovra anche ad automezzi pesanti.
E' consigliabile, inoltre, in caso di percorso ciclabile, segnalarlo con una tipologia di pavimentazione differente rispetto a quella dei veicoli.
Per quanto riguarda il dimensionamento della pavimentazione stradale da utilizzare all'interno dell'anello di circolazione si devono considerare oltre agli usuali parametri (il tipo di strada, i carichi veicolari, la portanza del sottofondo, le condizioni climatiche, ecc.) anche il fatto che nelle intersezioni:

- le velocità ridotte danneggiano maggiormente la pavimentazione;
- la maggiore presenza di arresti e partenze consigliano l'adozione di tappeti di usura più resistenti (bitumi modificati).

Per le pavimentazioni ciclabili e per l'anello centrale transitabile si potrà utilizzare un materiale che valorizzi esteticamente il raccordo viario, armonizzandosi con l'ambiente circostante. Si potranno utilizzare dei porfidi o altri materiali quali marmi o mattonelle di graniglia ma si dovrà porre particolare attenzione al tipo di sottofondo in modo che un traffico d'automezzi pesanti non possa degradare la pavimentazione con crepe od avvallamenti.
La scelta dei materiali dovrà tener conto anche delle caratteristiche di aderenza e non solo di quelle estetiche, in modo da non pregiudicare la sicurezza in caso di pioggia o d'altri eventi atmosferici sfavorevoli.
Altro fattore, molto importante, da tenere in considerazione nella progettazione delle rotatorie è il drenaggio delle acque meteoriche.
In alcuni casi la dimensione trasversale può assumere un'importanza rilevante e pertanto costituire una modifica sostanziale d'impostazione rispetto alla sezione stradale corrente.
In linea generale, nell'impostazione progettuale si dovranno seguire i seguenti criteri [1] :

- cercare di eliminare le zone piane all'interno dell'intersezione;
- individuare i punti di recapito dei compluvi mediante caditoie o mediante scarico laterale, in modo da delimitare sia le singole superfici scolanti sia i percorsi delle acque meteoriche sulla pavimentazione;
- nel caso di anelli centrali pavimentati di dimensione considerevole si dovrà creare un sistema di drenaggio indipendente in modo da non dover gravare sul sistema di scolo della pavimentazione stradale;
- utilizzare canalette continue di recapito nei casi di difficile displuvio o di condizioni meteo favorevoli alla formazione di ghiaccio.

3.2 ELEMENTI DI ARREDO URBANO

Le rotatorie possono offrire dei vantaggi rispetto altri sistemi di canalizzazione del traffico in riferimento al loro inserimento ambientale ed all'impatto che possono avere sul paesaggio. Infatti, durante il XIX secolo, ben prima dell'introduzione considerevole dell'automobile, nella pianificazione urbana delle grandi città europee e nelle capitali d'oltre oceano, le rotatorie identificavano, congiuntamente a monumenti o maestose fontane, dei punti qualificanti dello spazio urbano.
Una rotatoria progettata correttamente può migliorare l'aspetto estetico dell'area e nel contempo incrementare la sicurezza stradale. Uno degli elementi che portano alla scelta della sistemazione di un incrocio a rotatoria è la volontà, da parte del progettista, di segnare volutamente, l'entrata di una località, di un quartiere o di uno spazio di transizione tra tessuti morfologicamente differenti.

In generale gli interventi per il miglioramento dell'inserimento ambientale delle rotatorie devono [10]:

- aumentare e non interferire con la visibilità progettata per la rotatoria;
- non introdurre elementi di pericolo nella rotatoria;
- mantenere uno spazio di visibilità utile per lo stop e per le svolte;
- non oscurare la vista dei segnali stradali e degli altri veicoli nella rotatoria;
- non incoraggiare l'attraversamento dei pedoni nell'isola centrale;
- canalizzare i pedoni ed i ciclisti sui percorsi di loro competenza.

3.3 SEGNALETICA

La convenienza di generalizzare, per tutte le rotatorie, la priorità di circolazione nell'anello rispetto ai bracci, porta a prevedere una attrezzatura segnaletica sia orizzontale sia verticale che elimini ogni possibile dubbio sul diritto di precedenza. Inoltre bisognerà eliminare, a monte della rotatoria, tutti quei dubbi sulla direzione da prendere in modo che il traffico all'interno dell'anello circolatorio sia il più possibile fluido.

Segnaletica Orizzontale

Qualora si realizzino anelli con carreggiata superiore a 9 m, è consigliabile introdurre strisce longitudinali discontinue di separazione delle eventuali corsie lungo l'anello.
Viceversa se la larghezza dell'anello è inferiore a 9 m, la marcatura delle corsie è inutile e disturbante per il traffico in quanto i veicoli descrivono normalmente dei percorsi tangenti sull'anello, in relazione al punto di entrata.

Per ogni ramo d'entrata è richiesta la striscia trasversale di dare la precedenza mentre non deve essere eseguito nessun tipo di segnaletica orizzontale per indicare i rami d'uscita.
L'approssimarsi delle isole di separazione deve essere evidenziato mediante zebrature poste entro le strisce di raccordo per l'incanalamento dei veicoli.

Le isole si separazione possono essere:

- *isole a raso* (Figura 3-1), realizzate mediante strisce di colore bianco.
  Nell'interno delle isole a raso devono essere inserite zebrature di colore bianco, inclinate a 45° rispetto il senso di marcia, gli intervalli fra le strisce hanno larghezza doppia rispetto alle strisce;

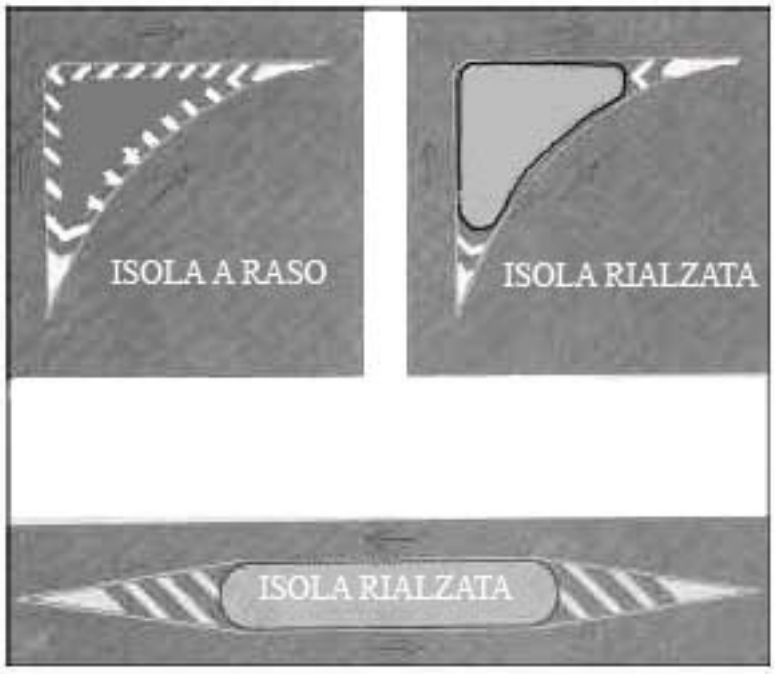


Figura 3 -1 Figura II 446 Art. 150 del Nuovo Codice della Strada.

- *isole delimitate da elementi verticali*, realizzate con paletti, birilli ecc. disposti lungo il perimetro dell'isola. La distanza tra un elemento e l'altro deve essere tale da definire perfettamente i margini dell'isola;

- *isole permanenti*, realizzate mediante cordoli in calcestruzzo o pietra da taglio (o altro materiale simile), e sistemazione interna a prato o con pavimentazione differente da quella veicolare. I cigli possono essere del tipo a barriera o del tipo sormontabile, le testate delle isole rialzate devono essere arrotondate e precedute da cuspidi zebrate di preavviso (Figura 3 - 1). Quando l'isola venga interessata da un attraversamento pedonale o ciclabile e costituisce zona di rifugio, è opportuno utilizzare un cordolo di altezza non inferiore a 25 cm e dovrà essere interrotto per una larghezza pari a quella del passaggio pedonale onde permettere ai pedoni l'attraversamento a raso della pavimentazione stradale.

Segnaletica Verticale

La segnaletica deve essere utilizzata in modo che l'utenza, già prima dell'ingresso nell'area di manovra, sappia dove dovrà uscire dalla rotatoria. Pertanto sarà necessario provvedere all'installazione di una opportuna segnaletica indicatrice in modo che non si generi confusione di interpretazione all'interno della rotatoria.

Segnaletica Verticale da collocare nell'isola centrale

Nell'isola centrale, di fronte a ciascuna entrata deve essere posto, in vista per i conducenti che si trovano sulla linea del "dare la precedenza", il seguente cartello di svolta obbligatoria a destra:

Figura 3-2 - Figura II 80 art. 122 del Nuovo Codice della Strada.

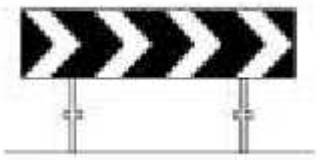


Figura 3-3 – Figura II 466 Art. 174 del Nuovo Codice della Strada.

Nelle rotatorie di medie e grandi dimensioni, per evidenziare il senso di percorrenza, è possibile associare alla segnaletica della Figura 3-2 il delineatore di curva rappresentato nella Figura 3-3.

Segnaletica Verticale da collocare nelle isole di separazione

Nelle isole di separazione andranno collocati cartelli con le indicazioni delle direzione ed i delineatori speciali di ostacolo accoppiati a segnali indicanti i passaggi obbligati.
Nel caso si utilizzino delle isole di separazione a raso è consigliabile non posizionare la segnaletica verticale all'interno della stessa .

La segnaletica di direzione si dovrà porre sul vertice di ogni isola a sinistra dell'uscita, in modo che il conducente possa comprendere inequivocabilmente la direzione da prendere.
Dovranno essere indicate solo le località che si possono raggiungere utilizzando l'uscita alla quale sono associati.

I delineatori speciali di ostacolo sono da porsi sempre sulle testate delle isole di separazione in corrispondenza dell'entrata, accoppiato al segnale verticale di passaggio obbligatorio a destra.
E' consentito sostituire la parte gialla a luce riflessa con una colonnina luminosa a luce gialla. (Figura 3 -4).

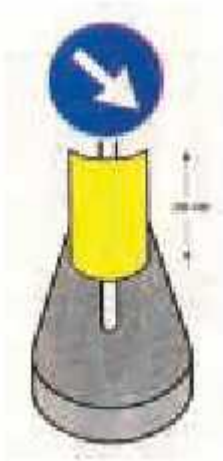


Figura 3 - 4 – Figura II 472 Art. 177 del Nuovo Codice della Strada

Lo stesso tipo di segnalazione sarà posto sulla testata dell'isola di separazione in corrispondenza dell'uscita e sarà accoppiato con il segnale di passaggio sia a destra che a sinistra (Figura 3 -5).

Figura 3-5 – Figura II 82/A Art. 122 del Nuovo Codice della Strada)

Nel caso ci sia la possibilità che in ingresso l'automobilista possa entrare in rotatoria accedendo da una uscita è consigliato associare alle segnalazioni di passaggio obbligato a destra (Figura II 82/b

Art. 122 del Nuovo Codice della Strada) la segnalazione di Senso vietato (Figura II 47 Art 116 del Nuovo Codice della Strada): (Figura 3 -6)

Figura 3-6 – Figura II 47 Art. 116 del Nuovo Codice della Strada

Segnaletica Verticale da collocare lungo i rami della rotatoria

La segnaletica da porre lungo i rami della rotatoria si possono suddividere nelle seguenti tipologie:

- Segnale di dare la precedenza.

Figura 3-7 – Figura II 36 Art. 106 del Nuovo Codice della Strada.

- Segnale di rotatoria.

Figura 3 - 8 – Figura II 84 Art. 122 del Nuovo Codice della Strada.

- Preavviso di circolazione in rotatoria e preavviso di dare la precedenza.

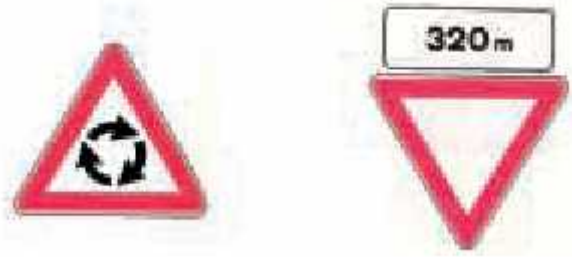


Figura 3 -9 – Figura II 27 Art.96, Circolazione rotatoria e Figura II 38 Art.108,
preavviso di dare la precedenza

I cartelli di segnale di dare la precedenza e di segnale di rotatoria (Figura 3-7 e Figura 3-8) devono essere posizionati alla destra del ramo d'entrata in prossimità dell'anello; nel caso di isola separatrice non sormontabile è consigliabile installare anche su tale isola, i suddetti cartelli. I

segnali di preavviso di circolazione in rotatoria e di preavviso di dare la precedenza (Figura 3-9), in ambito extraurbano, dovranno essere installati ad una adeguata distanza dalla rotatoria (in genere 100 o 150m); in ambito urbano, invece, dovranno essere installati nelle strade aventi limite di velocità superiore a 50 km/h ovvero quando le condizioni del traffico ne consigliano l'impiego per motivi di sicurezza (Art. 108 D.P.R. 16 dicembre 1992,n. 495, "*Regolamento di esecuzione ed attuazione del Codice della strada"*).

3.4 ILLUMINAZIONE

Lo scopo dell'illuminazione stradale è sostanzialmente quello di permettere alle strade di avere sicurezza di notte, scorrevolezza e capacità di traffico paragonabili a quelle che esse hanno nelle ore diurne.
L'occhio distingue un oggetto dallo sfondo solo se c'è un sufficiente contrasto tra la luminanza dell'oggetto e quella dello sfondo. In genere nell'illuminazione stradale si preferisce realizzare una elevata luminanza della pavimentazione stradale, sfruttando le sue caratteristiche di riflessione e diffusione, e far distinguere l'oggetto come sagoma scura su sfondo chiaro che non, al contrario, illuminare l'oggetto e lasciare lo sfondo scuro.
Infatti, per ottenere un'elevata luminanza dell'oggetto nella direzione in cui il traffico sopraggiunge occorrerebbero fasci di luce in direzione quasi orizzontale, come nel caso dei fari di automobile, provocando abbagliamento al traffico proveniente nel senso opposto. Inoltre le sue caratteristiche di riflessione potrebbero essere scarse e non garantire una sufficiente visibilità. La diffusione e la riflessione della luce operate dalla superficie stradale consentono la visibilità notturna facendo risaltare eventuali ostacoli come sagome scure sulla pavimentazione illuminata ma sono un'inevitabile sorgente di illuminamento del cielo.

Come sottolineato nella normativa francese, una intersezione a rotatoria deve essere percepita come tale da tutti gli utenti della strada, di giorno e soprattutto di notte, deve essere leggibile rapidamente da tutti, deve avere un'ottima visibilità sia del quarto di sinistra a 10m dall'entrata, sia sul bordo dell'isola centrale.
Quindi per garantire un buon livello di *percezione*, *leggibilità*, e *visibilità* risulta di notevole importanza la scelta della tipologia di impianto di illuminazione, del numero di sorgenti luminose e della loro disposizione sia in rotatoria, sia nei bracci affluenti; tale impianto dovrà sottolineare la particolarità della sistemazione, rendendo evidente la discontinuità del percorso lineare, dovrà inserirsi nel contesto della rotatoria, ovvero integrarsi, quando possibile, nell'ambiente circostante come arredo urbano e dare luce ad eventuali percorsi pedonali.

Nei successivi capitoli, dunque, verrà studiata l'illuminazione delle rotatorie suggerendo un criterio di scelta della tipologia e caratteristiche dell'impianto di illuminazione stesso.

CAPITOLO 4 - IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE PUBBLICA

> *Il numero degli incidenti notturni è quasi prossimo a quelli che avvengono di giorno, nonostante i chilometri percorsi di notte siano ben minori; inoltre, le loro conseguenze sono generalmente più gravi in termini di morti e feriti, e ciò vale non solo per il traffico urbano ma anche per le strade rurali e per le strade e superstrade extraurbane.[1]*

L'oscurità fa diminuire la qualità e la quantità delle informazioni visive che servono al conducente per guidare. Diminuiscono, infatti, prestazione visiva, acuità visiva, sensibilità al contrasto, capacità di valutare le distanze, velocità della percezione, distinzione dei colori e tolleranza all'abbagliamento. I fari dei veicoli non bastano a fornire al conducente le informazioni visive necessarie a guidare con sicurezza ed efficienza, specialmente quando le strade sono trafficate e a geometria complessa (curve, intersezioni, ecc).

Numerosi studi condotti in vari paesi dimostrano che il miglioramento della visibilità dovuta ad un'illuminazione adeguatamente progettata e mantenuta è un'efficace contromisura contro gli incidenti, comportando una riduzione nel numero e nella gravità degli stessi.

In particolare, tali studi riportano una riduzione media degli incidenti nelle intersezioni e simili almeno del 40 %. Questo valore, in assenza di dati locali specifici, può essere utilizzato per analisi costi/benefici e studi di fattibilità.

4.1 GENERALITA' SUGLI IMPIANTI DI ILLUMINAZIONE PUBBLICA

4.1.1 Principali parametri di qualità dell'illuminazione stradale

La Norma UNI 10439 "Requisiti illuminotecnici delle strade con traffico motorizzato" (Seconda Edizione Luglio 2001) indica i requisiti illuminotecnici qualitativi e quantitativi da considerare nel progetto degli impianti d'illuminazione stradale, ed è applicabile a tutte le strade rettilinee o in curva* , siano esse urbane o extraurbane, con traffico esclusivamente motorizzato o misto. Le grandezze fotometriche cui fare riferimento per garantire un corretto compito visivo agli utenti delle strade sono:

- La Luminanza** media mantenuta del manto stradale (Lm [cd/m^2] ;
- L' Uniformità generale*** (U_0) e Longitudinale**** (U_l) di detta Luminanza;
- L'indice di abbagliamento debilitante causato dall'installazione (Tl [%]);
- Spettro di emissione delle lampade;
- Guida ottica.

Livello di Luminanza. Dal livello di luminanza dipende il potere di rivelazione, inteso come percentuale di un insieme definito di oggetti percepibile dal conducente in ogni punto della strada. Il potere di rivelazione aumenta all'aumentare della luminanza media del manto stradale, con andamento dipendente dall'uniformità e dal grado di abbagliamento debilitante prodotto dall'impianto. Per strade rettilinee, con manto asciutto, la norma UNI 10439/95 prevede vari livelli di luminanza a seconda del tipo di strada.

Uniformità di luminanza. Generalmente, il parametro utilizzato per descrivere la distribuzione delle luminanze sulla superficie stradale il rapporto $U_o = L_{min}/L_m$, dove L_{min} è la luminanza puntuale minima e L_m è quella media sull'intera superficie stradale. Il potere di rivelazione cresce con U_o, con andamento dipendente anche dal grado di abbagliamento debilitante. La UNI 10439 prevede un valore per U_o non inferiore a 0.4 per tutti i tipi di strade.

Abbagliamento debilitante. L'effetto dell'abbagliamento debilitante è quello di ridurre notevolmente il potere di rivelazione. Il parametro generalmente utilizzato per quantificare l'abbagliamento debilitante è l'indice TI. La UNI 10439 raccomanda, sempre per tronchi di strade rettilinei, un valore non superiore a 10 per le autostrade e strade extraurbane, non superiore a 20 per gli altri tipi di strade urbane.

Spettro di emissione delle lampade. I tipi di sorgenti luminose ritenuti idonei per l'illuminazione stradale sono numerosi e differiscono considerevolmente tra di loro per la composizione spettrale della luce emessa. La "distanza di visibilità" dipende sensibilmente dallo spettro di emissione. Dallo spettro di emissione dipendono :

- l' acuità visiva ;
- l'impressione di luminosità a parità di luminanza della superficie stradale;
- la velocità di percezione;
- il tempo di recupero visivo dopo essere stati soggetti ad abbagliamento.

Guida ottica. Per guida ottica s'intende la capacità di un impianto di illuminazione di dare all'utente un'immagine immediatamente riconoscibile del percorso da seguire fino ad una distanza che dipende dalla massima velocità permessa su quel tronco di strada. La guida ottica contribuisce alla sicurezza e alla facilità della guida. Perciò, essa è particolarmente importante per le intersezioni.
Tra i fattori che influiscono sulla guida ottica nelle intersezioni vi sono il colore della luce, l'altezza dei pali, il livello di luminanza, la disposizione dei centri luminosi.

I valori di tali grandezze sono riportati in funzione dell'indice della categoria illuminotecnica di appartenenza della strada, a sua volta dipendente dalla classificazione della strada in funzione del tipo di traffico (Tabella 4-1 e Tabella 4-2).

La Norma raccomanda inoltre che sia evitata ogni discontinuità ad eccezione dei punti singolari intenzionalmente introdotti per attirare l'attenzione dei conducenti. La successione dei centri luminosi, l'intensità ed il colore della luce emessa devono cioè garantire la cosiddetta "guida ottica" (o visiva) cioè dare all'utente un'immagine immediatamente riconoscibile del percorso da seguire.

* Con raggio di curvatura non minore di 200 m, e con fondo stradale asciutto.

** Rapporto tra l'intensità proveniente da una superficie luminosa in una data direzione e l'area apparente di quella superficie. Luminanza media mantenuta: valore che assume la luminanza media del manto stradale nelle peggiori condizioni d'invecchiamento e insudiciamento dell'impianto.

*** Rapporto fra luminanza minima e media su tutta la strada.

**** Rapporto fra luminanza minima e massima lungo la mezzeria di ciascuna corsia.

Classe [1]	Tipo di strada e ambito territoriale	Indice della categoria illuminotecnica [3]
A	Autostrade extraurbane	6
A	Autostrade urbane	6
B	Strade extraurbane principali	6
C	Strade extraurbane secondarie	5
D[2]	Strade urbane di scorrimento veloce	6
D	Strade urbane di scorrimento	4
E[2]	Strade urbane interquartiere	5
E	Strade urbane di quartiere	4
F	Strade extraurbane locali	4
F[2]	Strade urbane locali interzonali	3
F	Strade urbane locali	2

1. La presente classificazione è in sintonia con quella riportata nel "Testo aggiornato del Decreto Legislativo 30 aprile 1992, n°285 recante il nuovo codice della strada" pubblicato sul supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale Serie generale – n°67 del 22 marzo 1994.

2. La presente classificazione è in sintonia con quella riportata nel Decreto Ministeriale LL. PP del 12 aprile 1995 "Direttive per la redazione, adozione ed attuazione dei piani urbani del traffico", pubblicato sul supplemento ordinario n°77, Gazzetta Ufficiale n°145 del 24 aprile 1995.

3. Le presentazioni relative all'indice della categoria illuminotecnica sono indicate nella tabella che segue.

Tabella 4-1 – Indice della Categoria Illuminotecnica in funzione del tipo di strada[2]

Indice della categoria illuminotecnica	Valore minimo della luminanza media mantenuta L_m	Uniformità minima		Valore massimo dell'indice di abbagliamento debilitante TI
		$U0^{1)}$	$U_1^{2)}$	
	[cd/m^2]	[%]	[%]	[%]
6	2,0	40	70	10
5	1,5	40	70	10
4	1,0	40	50	10
3	0,75	40	50	15
2	0,5	35	40	15
1	0,3	35	40	15
1. $U_0 = L_{min}/L_{med}$ 2. $U_1 = L_{min}/L_{max}$				

Tabella 4-2 – Prescrizioni illuminotecniche in funzione dell'Indice della categoria [2]

Le prescrizioni illuminotecniche riportate nella Tabella 2 sono riferite al valore massimo del flusso orario di traffico. Qualora si verifichino in orari particolari, soprattutto durante la notte, riduzioni consistenti del traffico (superiori al 50 ovvero al 75 % di quello massimo) e le condizioni di sicurezza generali lo permettano, è possibile ridurre il valore minimo della luminanza media mantenuta. Ciò si ottiene con notevoli vantaggi sia in termini di risparmio energetico che di durata della lampade, dotando gli impianti di regolatori di flusso luminoso il cui funzionamento si fonda sulla variazione
della tensione di alimentazione.
Oltre a soddisfare i requisiti sopraindicati, un impianto di pubblica illuminazione progettato correttamente deve :

- rispettare la legislazione sul contenimento dell'inquinamento luminoso, in particolare per gli impianti realizzati in Toscana la Legge Regionale n.37 del 21 Marzo 2000– "*Norme per la prevenzione inquinamento luminoso*";

- minimizzare l'intralcio alla circolazione pedonale e veicolare;

- integrarsi con gli elementi d'arredo urbano e soddisfare requisiti di carattere estetico.

Per quanto attiene la distanza dei sostegni dal bordo della carreggiata, nel caso di strade con limite di velocità minore di 70 km/h (Strade urbane e tratti di strade extraurbane secondarie e locali), i limiti sono stabiliti dalla Norma CEI 64-7, "Impianti elettrici di illuminazione pubblica e similari", mentre per strade con limite di velocità superiore (Strade extraurbane in genere ed autostrade) le distanze dal bordo della carreggiata sono stabilite dal Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici del 03/06/1998.
Il soddisfacimento dei requisiti estetici si ottiene anche attraverso l'accurata scelta del tipo di sorgente luminosa e della caratteristica resa cromatica, in funzione della destinazione d'uso dell'area illuminata.

4.1.2 Misure goniofotometriche, distribuzione e qualità della luce

La misura dell'intensità della luce emessa da un apparecchio di illuminazione nelle varie direzioni dello spazio si può fare con un goniofotometro. In questo strumento, l'armatura viene alloggiata in un supporto che le permette di ruotare attorno ad un asse verticale mantenendo la sua corretta posizione di funzionamento. Un dispositivo ottico che può ruotare attorno all'armatura in un piano verticale raccoglie la luce emessa e la invia ad un rivelatore. Per ogni angolo dell'armatura attorno all'asse verticale e per ogni angolo del dispositivo ottico attorno all'asse orizzontale, il rivelatore misura l'illuminamento E che riceve, da cui si calcola l'intensità emessa $I = E\ d^2$, ove d è la distanza tra la lampada e il rivelatore. Appositi artifici ottici permettono di porsi in condizioni simili a quelle in cui la distanza tra armature e dispositivo ottico fosse così grande da poter trascurare le dimensioni della armatura rispetto alla distanza d. In questo modo si può assumere che il rivelatore veda l'apparecchio come "puntiforme".
La rappresentazione delle misure più comune è chiamata rappresentazione C/γ ed è illustrata nella figura 4-1.

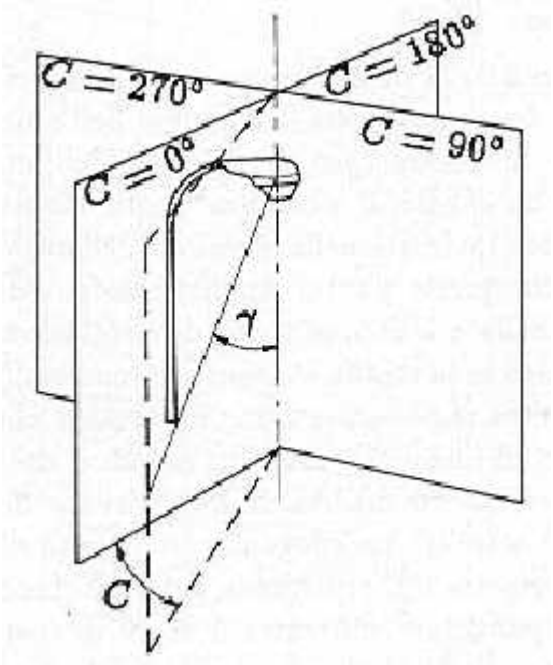


Figura 4-1 - Angoli C e γ nella rappresentazione *C/* γ.

La distribuzione di luce di un apparecchio di illuminazione viene ottenuta grazie al sistema ottico. Un riflettore, in genere, di alluminio, posto nella parte superiore dell'armatura riflette la luce emessa dalla lampada che esso intercetta. La distribuzione di intensità della luce riflessa nelle varie direzioni `e legata alla forma e alle caratteristiche di tale riflettore. Per modificare la distribuzione di intensità di quella parte della luce che, essendo stata emessa dalla lampada verso il basso, non si `e riflessa sul riflettore si usa talvolta un rifrattore posto in corrispondenza dell'apertura inferiore lasciata dal riflettore.

Qualità della luce

La qualità della luce viene valutata mediante la *resa cromatica*, *indice di resa dei colori*, la *temperatura di colore* e la *tonalità di luce*.
La resa dei colori o resa cromatica è una valutazione qualitativa sull'aspetto cromatico degli oggetti illuminati ed è pari a:

a) ottimo
b) buono
c) soddisfacente

L'indice di colore "Ra" permette di ottenere una valutazione oggettiva riguardo alla resa di colore della sorgente luminosa emittente.
L'indice Ra è posto pari a 100 quando la sorgente emittente la luce ha lo stesso effetto della sorgente luminosa di riferimento.
L'indice di resa cromatica è funzione indiretta della differenza di resa dei colori, cioè tanto minori sono i valori di Ra tanto più grande è la differenza nella resa dei colori.
Un indice sui 50 può essere accettato in zone industriali ma l'indice deve essere ben maggiore laddove si debbono distinguere od individuare degli oggetti o loro particolari.
La temperatura di colore, la cui unità di misura è il grado *Kelvin* (K), ha come riferimento l'emissione del corpo nero o la curva di *Plank*. La parte della radiazione visibile preponderante è funzione diretta della temperatura di colore "Tc", cioè tanto più grande è Tc tanto più si accentua la parte azzurra della radiazione, mentre per valori piccoli di Tc si accentua la parte rossa della radiazione visibile.
Ad esempio, la luce emessa da una lampada ad incandescenza ha Tc pari a circa 2.700 K, mentre la luce diurna a mezzogiorno presenta un valore di Tc pari a 6.000 K.
La tonalità di luce è funzione della temperatura di colore.
Si riportano alcune grandezze indicative:

- tono caldo < 3.300 K
- tono neutro < 3.300 - 5000 K
- tono bianchissimo 4.000 K
- luce diurna > 5.000 K

Ad esempio : una lampada agli alogenuri è contraddistinta dalla sigla 1A - Ra 90-100 - > 5000 K; 1A è il grado di resa dei colori, 90 - 100 rappresenta l'indice di resa dei colori, > 5.000 K è la temperatura di colore che da indirettamente la tonalità di luce, nel caso diurna.

4.1.3 Inquinamento Luminoso

L'inquinamento luminoso è definito come la rottura dell'equilibrio naturale luce/buio o giorno/notte ed è dovuto alla luce artificiale che è diretta verso la volta celeste dagli apparecchi di illuminazione per esterni e dalla riflessione del suolo. Un'analisi più approfondita porta alla luce anche altri elementi che in special modo influiscono direttamente sull'energia consumata per illuminare e di riflesso per inquinare.
La dispersione di luce nel cielo da parte di un impianto è dovuta a tre diversi fenomeni. Il primo è l'irraggiamento diretto in cielo dovuto in genere ad armature mal progettate o male installate, il secondo è la diffusione della luce emessa dalle lampade nel suo percorso fino alla superficie da illuminare ed il terzo è la riflessione e la diffusione da parte delle superfici illuminate.
Da un punto di vista legislativo La prima proposta di legge a livello nazionale risale al 1992, fu promossa da una società di astronomi ma non portò alla definizione di una legge. nella successiva legislatura venne presentata una nuova proposta, la n°751: misure urgenti in tema di risparmio energetico ad uso di illuminazione esterna e di lotta all'inquinamento luminoso, con un testo fortemente modificato rispetto alla stesura originaria. Tale proposta portò successivamente alla redazione della norma UNI 10819 che, di fatto, risulta inapplicabile in quanto prevede calcoli complessi per ogni singolo impianto e in alcuni casi permette un flusso verso l'alto del 23%. [13]
È a partire dal 1997, anno in cui è stata approvata la Legge della Regione Veneto n°22 inerente alle norme per la prevenzione dell'inquinamento luminoso, che nelle varie regioni d'Italia si stanno approvando numerose normative.
In Toscana (Legge n. 37/2000) è stata recepita la legge del veneto, ma manca di un regolamento di attuazione.
In riferimento a tale legge si specifica che una misura dell'inquinamento luminoso può effettuarsi mediante "il coefficiente medio di emissione superiore Rn % " , definito come la sommatoria dei flussi dispersi dei singoli corpi illuminanti e la sommatoria dei flussi luminosi emessi :

$$R_n = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} \Phi_i}{\sum_{i=1}^{n} \Phi_{it}} \right) \cdot \frac{1}{100}$$

dove :
n = numero dei corpi illuminanti;
Φ_i = flusso disperso dal singolo corpo illuminante;
Φ_{it} = flusso emesso dal singolo corpo illuminante.

Tanto più è elevato il valore di R_n , tanto maggiore è l'energia dispersa verso l'alto.
Nel caso di illuminazione mediante lampioni, il valore da rispettare di R_n varia in relazione alla tipologia di apparecchio utilizzato :

- schermati paralleli al terreno su palo diritto con vetro di protezione piano 0,1 – 0,3 %
- schermati inclinati di 5/10° su palo diritto con vetro di protezione piano 3 – 5 %
- a coppa sporgente paralleli al terreno su pali diritti 1- 3 %
- con parabola a coppa sporgente su palo curvo 10 – 15 %

4.2 APPARECCHI DI ILLUMINAZIONE E TIPI DI LAMPADE

4.2.1 Apparecchi Illuminanti

Un apparecchio elettrico di illuminazione è un trasduttore che trasforma l'energia elettrica assorbita in energia raggiante. La trasduzione è svolta dalla lampada ma l'apparecchio per lampade a scarica di gas, in genere, è composto dai seguenti componenti (la sequenza proposta è anche quella fisica di funzionamento):

- piastra accessori (reattore, accenditore, morsetteria, condensatore di rifasamento, fusibile, ecc…)
- portalampada
- lampada a scarica di gas (mercurio, alogenuri, sodio alta e bassa pressione)
- schermo riflettente brillantato
- coppa (in vetro o materiale plastico)

La lampada per accendersi e funzionare ha bisogno dell'accenditore e del reattore.
La lampada tramite la scarica dei gas trasforma parte l'energia elettrica in luce; la luce emessa dall'arco di scarica, viene riflessa, assorbita e rifratta dal bulbo della lampada; la parte rifratta a sua volta si divide in due parti: una che viene riflessa dallo schermo riflettente, l'altra che incide sulla coppa; la luce che arriva sulla coppa viene riflessa, assorbita e rifratta, solo la luce rifratta si diffonde all'esterno
(Figura. 4-2).

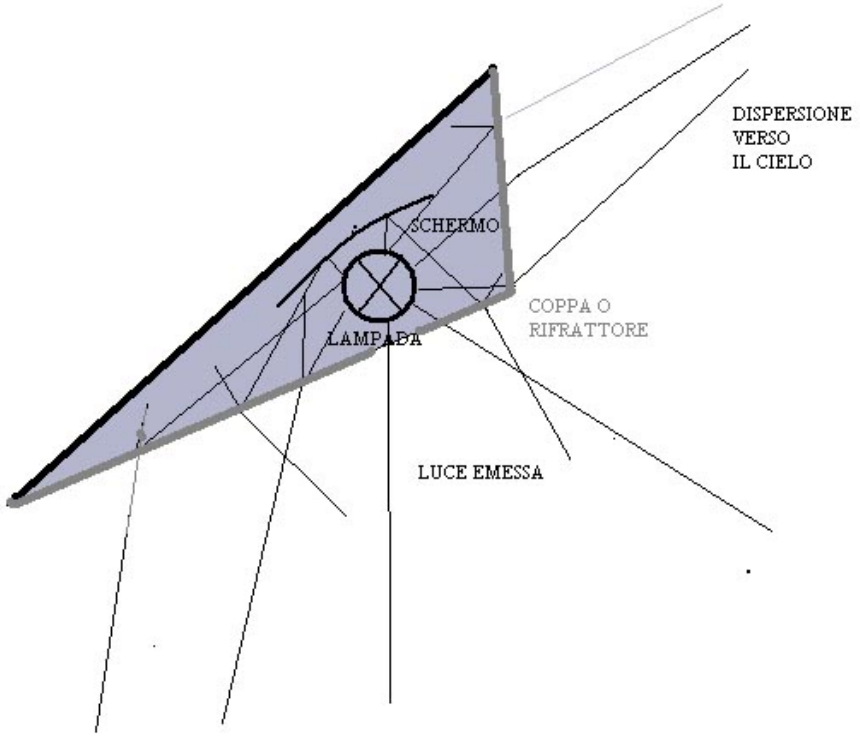


Figura 4 -2 – Raggi un generico apparecchio illuminante

4.2.2 Lampade

Esistono diversi tipi di lampade e la conoscenza delle loro caratteristiche, permette di avere un controllo migliore sulla distribuzione spaziale della luce.

Lampade ad incandescenza
Si basano sul fenomeno del riscaldamento prodotto da una corrente elettrica I che percorre un filamento di resistenza R. In pratica la corrente percorre un filamento di Tungsteno entro un ampolla di vetro sotto vuoto o in un atmosfera di gas inerti e rende tale filamento incandescente. L'emissione della luce segue in prima approssimazione la distribuzione detta di Corpo nero corrispondente alla temperatura T del filamento (in genere circa 2700°K) ed è continua in tutto lo spettro visibile.
Il colore delle lampade ad incandescenza `e in genere bianco caldo. La loro efficienza è assai modesta: in genere qualche decina di lumen/watt. Queste lampade sono state usate negli impianti stradali fino ad una trentina di anni fa ed oggi sono state in parte sostituite dalle lampade a scarica la cui emissione di luce `e prodotta da gas o vapori ionizzati da una corrente di elettroni e ioni che si sviluppa tra due elettrodi a cui `e applicata una differenza di potenziale. Le lampade a scarica sono più efficienti e di maggiore durata.

Lampade a vapori di mercurio
L'emissione luminosa delle lampade a vapori di mercurio (es. HQL) è dovuta ai vapori contenuti in un tubo di quarzo che vengono ionizzati dalla corrente di elettroni e ioni che si produce tra due elettrodi. Essa avviene prevalentemente nell'ultravioletto. L'ampolla esterna della lampada perciò è ricoperta internamente di polvere fluorescente, in genere vanadato di ittrio o alluminato di ittrio, che trasforma le radiazioni ultraviolette in radiazioni ripartite abbastanza uniformemente nello spettro visibile. Proprio per questo le lampade di questo tipo disturbano molto le osservazioni astronomiche e sono considerate estremamente inquinanti tanto che tutte le leggi e le ordinanze che si occupano di inquinamento luminoso ne vietano espressamente l'uso all'esterno. La International Astronomical Union nel Rapporto della Commissione 50 (La protezione dei siti osservativi esistenti e potenziali)(Smith 1979) sostiene che ogni sforzo deve essere fatto per limitare il loro uso futuro.
Queste lampade dominano l'inquinamento luminoso nella regione blu dello spettro mentre nel rosso il loro contributo è generalmente piccolo rispetto a quello delle lampade al sodio.
La discreta resa dei colori di queste lampade è controbilanciata da una scarsa efficienza. Attualmente stanno lentamente scomparendo.

Lampade agli Joduri metallici
L'introduzione di joduri metallici (sodio, tallio, indio, disprosio, olmio, cesio, tulio) oltre al mercurio nel precedente tipo di lampade aumenta un poco l'efficienza e migliora la resa dei colori (luce bianca solare). La luce è più bianca perchè queste sostanze alle alte temperature si scompongono e gli ioni metallici emettono luce nelle zone ove il vapore di mercurio non presenta righe di emissione. Il costo di queste lampade è elevato ma idonea per le intersezioni, meno adatte per i tratti rettilinei. Di queste lampade esistono diverse versioni commerciali (MHN, MHV, HPI, MHD, HQI-NDL, HQI-WDL) caratterizzate da diverse tonalità cromatiche.
Il loro uso è adatto, se non necessario, in quelle zone dove è richiesta una luce bianca.

Lampade al sodio a bassa pressione

Nelle lampade al sodio a bassa pressione (LPS) la scarica si innesca inizialmente in ambiente di gas neon. Quando la temperatura raggiunge i 200°C, il sodio, contenuto nella loro ampolla tubolare, evapora e inizia a ionizzarsi. Sono perciò necessari alcuni minuti (10-14) perchè la lampada sia a regime ma essa si riaccende subito in caso di spegnimento fortuito. L'emissione di luce è dovuta al sodio eccitato e perciò è limitata esclusivamente al doppietto del sodio a 5890-5896 Å, che cade nella zona ove l'occhio umano raggiunge la massima sensibilità, ed ai due doppietti a 5683-5688 ed 6154-6161 Å.

Per questo motivo queste lampade hanno la maggiore efficienza in assoluto. Queste lampade, spesso indicate con le sigle NA, SOX ed SOX-E, arrivano ad efficienze dell'ordine di 200 lm/W. Difficilmente le altre lampade potranno superare l'efficienza delle lampade al sodio a bassa pressione. Ne deriva che gli oneri d'esercizio sono i più bassi. La luce di queste lampade, però, è monocromatica giallo-arancio e non consente la percezione dei colori. Per questo motivo tali lampade sono impiegate generalmente in strade extraurbane, svincoli autostradali e zone industriali o periferiche. Per le caratteristiche della loro emissione sono altresì utilizzate in zone di nebbia. Sono disponibili generalmente fino a potenze di circa 200 W (almeno 30000 lm) corrispondenti a potenze di 300-400 W delle altre lampade.

Lampade al sodio ad alta pressione

Le lampade al sodio ad alta pressione (HPS) sfruttano il fatto che con una pressione maggiore degli atomi di sodio ed una temperatura di circa 700°C si ottiene una efficienza inferiore ma una distribuzione della luce pressoché continua (luce bianco-oro) che permette di distinguere i colori. Questo è dovuto al fenomeno dell'autoassorbimento per cui il vapore di sodio più freddo che si trova lontano dalla zona ove avviene la scarica assorbe parte delle radiazioni emesse dal vapore in prossimità della scarica e riemette l'energia assorbita in parte come calore e in parte come una moltitudine di righe di emissione che riempie lo spettro visibile. In corrispondenza del doppietto di emissione del sodio appare quindi un doppietto in assorbimento (autoinversione). Perciò le lampade al sodio ad alta pressione hanno un emissione molto larga tra 5400 e 6500 Å. Esse, tuttavia, disturbano poco nella zona sotto i 4500 Å, a parte una riga di emissione a 3302-3303 Å, e non molto nella zona tra i 4500 ed i 5400 Å. Tali lampade (perlomeno i tipi a pressione meno elevata) pur rendendo le osservazioni astronomiche spettroscopiche difficili nelle zone vicine al doppietto del sodio, contaminano in modo piuttosto modesto la banda fotometrica B. Quindi costituiscono un buon equilibrio tra potere inquinante
e possibilità di distinguere i colori nei casi in cui tale caratteristica è effettivamente necessaria.

Esistono diversi tipi commerciali di lampade al sodio ad alta pressione (identificate in genere con le sigle SON o NAV) che differiscono per la pressione. Essa determina la quantità di autoassorbimento e quindi la tonalità della luce che parte dal oro modelli standard, con pressioni del sodio di 10 kPa (kilopascal) ed elevata efficienza (anche 130 lm/W), e diventa sempre più bianca al crescere della pressione attraverso i modelli plus, super, confort e deluxe. Questi ultimi hanno pressioni dell'ordine di 40 kPa ma efficienze inferiori (fino a 95 lm/W). I modelli white (SDW) hanno, infine, una luce bianco- dorata, ottenuta con una pressione di 95 kPa, ma un efficienza assai scarsa (circa 50 lm/W). L'aggiunta di impurezze nel sodio permette di ottenere una luce più bianca, in quanto appaiono altre righe, ma aumenta notevolmente il loro potere inquinante (vedi HPI).

4.3 REQUISITI TECNICI E GEOMETRICI DI APPARECCHI ILLUMINANTI E LAMPADE

Per garantire i requisiti necessari ad un impianto di illuminazione, visti nei paragrafi precedenti, si deve garantire un'illuminazione adeguata delle zone necessarie e non disperdere flusso luminoso nelle zone che possono/devono rimanere in ombra.

4.3.1 Apparecchi

L'apparecchio illuminante, descritto precedentemente, dovrà essere montato su palo dritto parallelamente alla superficie da illuminare e si dovrà garantire una adeguata ed uniforme illuminazione nel piano verticale parallelo all'asse stradale e in quello ortogonale, utilizzando montature e materiali corretti.

Piano Verticale Parallelo all'asse stradale

La distribuzione di luce da parte dell'apparecchio nel piano verticale parallelo all'asse stradale dovrà "allargare" il fascio luminoso, ovvero presentare nel piano C = 0° - C = 180° intensità elevate in corrispondenza di un angolo γ piuttosto elevato.
In questo caso, il massimo dell'intensità luminosa arriva sulla strada con un angolo di incidenza (tra la direzione di provenienza del flusso incidente e la verticale alla superficie) molto elevato cosicché la strada riemette il massimo dell'intensità nella direzione dell'automobilista.
Un'altra ragione per cui è importante che l'apparecchio invii il massimo della luce ad angoli γ piuttosto grandi (nel piano C =0° - C =180°) è che l'apertura angolare del fascio dell'apparecchio condiziona la disposizione dei corpi illuminanti. Infatti la necessità di ottenere un'adeguata uniformità di luminanza impone un ben preciso rapporto tra l'interdistanza dei punti luce e l'altezza dei pali. Poiché il numero di punti luce influenza il costo di costruzione e di manutenzione dell'impianto, il desiderio di diminuire il costo di installazione e di manutenzione porta chi progetta l'impianto alla necessità di diminuire il numero di punti luce utilizzando apparecchi di illuminazione installati a maggior distanza tra loro, e quindi a maggiore altezza e aventi un più ampio angolo di apertura del fascio luminoso.

Piano Verticale Ortogonale all'asse stradale

Nel senso trasversale all'asse stradale (piano verticale C =90° - C = 270°) sarà importante rilevare che le maggiori intensità luminose si trovino verso il lato tra 0° e 90° , inoltre che l'angolo γ sia piuttosto ampio così da poter illuminare bene ed uniformemente tutta la superficie della strada da un bordo all'altro senza necessità di inclinare l'apparecchio o l'ottica stessa.
Si deve far sì che in senso trasversale la distribuzione di luce sia tale da interessare tutta la larghezza della strada con sufficiente intensità ma ridursi a zero rapidamente appena oltrepassato il bordo della strada stessa per evitare dispersione di luce. Talvolta la posizione della lampada nell'apparecchio è regolabile in modo da aggiustare l'angolo di emissione in funzione della larghezza della strada e dell'altezza di installazione.
Quindi dovrà esistere un angolo limite oltre il quale l'intensità emessa dal sistema ottico scenda bruscamente a zero; il valore ottimo di tale angolo viene generalmente considerato pari a 70° -75°.
Se oltre tale valore l'intensità non diminuisse notevolmente, oltre ad avere una perdita di flusso luminoso, si avrebbe abbagliamento per gli utenti stradali.

Apparecchi Asimmetrici

Gli apparecchi illuminanti che rispettano maggiormente tali condizioni sono apparecchi a parabola asimmetrica, la cui distribuzione dell'intensità luminosa consente di orientare sull'area che interessa la maggior parte di flusso di luce.
Le curve fotometriche di tali apparecchi presenteranno quindi una non simmetria della curva γ che dovrà essere orientata verso il lato stradale.

Vengono qui di seguito riportate due curve fotometriche degli apparecchi illuminanti presi in considerazione per il calcolo illuminotecnica delle rotatorie (Figura 4-3 e Figura 4-4 - l'andamento dell'angolo C è indicato in rosso, mentre in blu è rappresentato l'andamento dell'angolo γ -) :

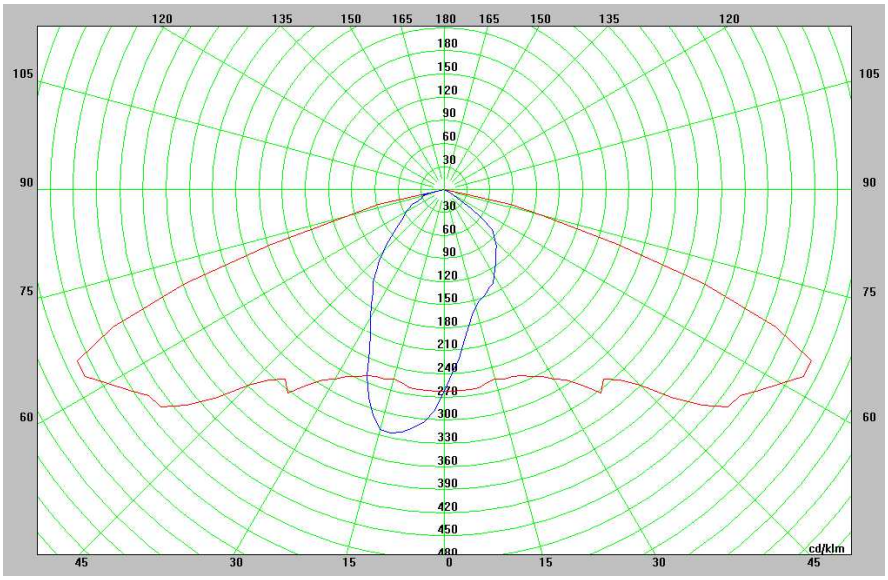


Figura 4-3 – Grechi Ellisse VL – 150W

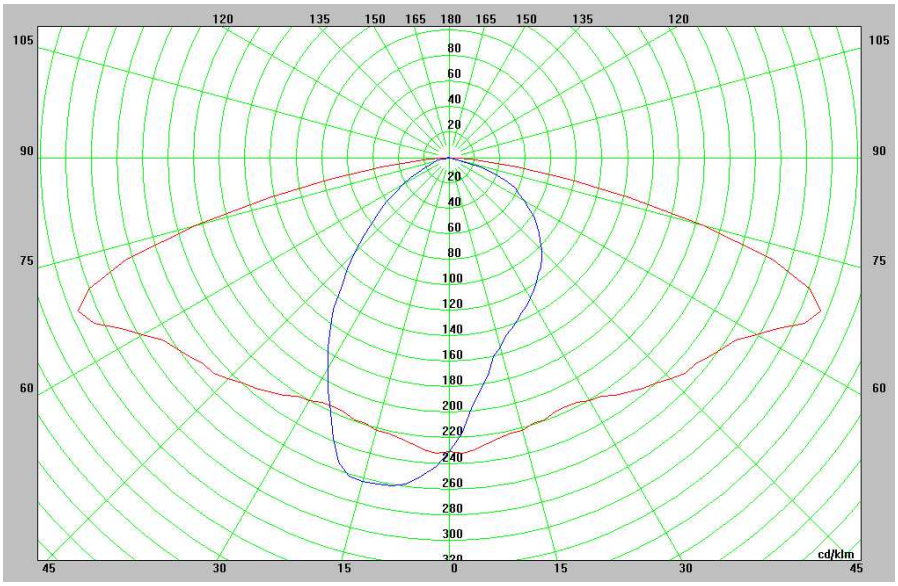


Figura 4-4 – Grechi Iperbole VL – 400W

Apparecchi totalmente schermati (apparecchi full-cut-off)

Per evitare quella parte di inquinamento luminoso prodotta dalla luce dispersa direttamente nel cielo dagli apparecchi stradali non c'è che una regola: adoperare apparecchi di illuminazione che una volta installati non emettano luce sopra un piano orizzontale passante per il centro della lampada. Questi apparecchi sono chiamati apparecchi totalmente schermati Essi sono anche chiamati fully shielded
(Tucson Code 1987) o full cut off.

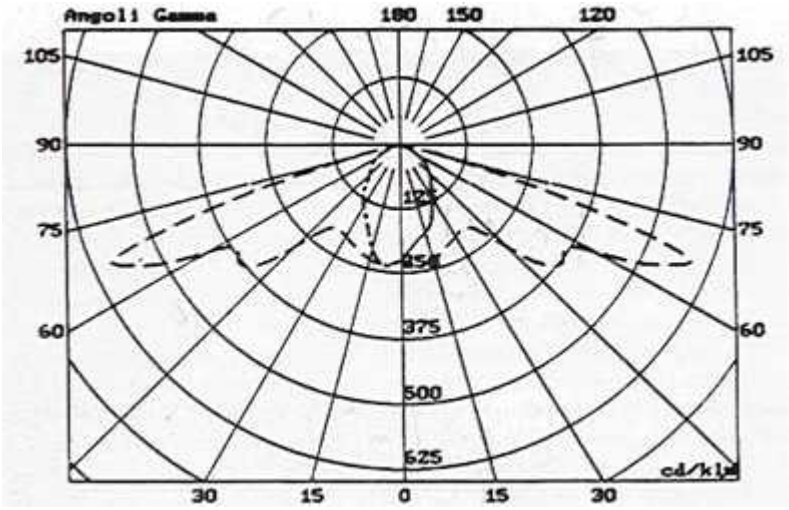


Figura 4-5 – Curve fotometriche di un apparecchio stradale totalmente schermato con vetro di protezione piano

Per evitare dispersione di luce sopra l'orizzonte inoltre risulta un'ottima soluzione il *vetro piano* con il massimo flusso emesso intorno ai 75°.
Per migliorare la leggibilità e la visibilità della rotatoria (e in generale di una intersezione), si dovranno scegliere lampade con una elevata resa cromatica, e differenziare il colore della luce per rendere di immediata identificazione la rotatoria.
Si adotteranno quindi lampada al sodio ad alta pressione nei bracci affluenti la rotatoria, con temperature di colore calde (K < 3000°), e lampada agli joduri metallici sulla rotatoria, caratterizzate, come detto, da temperature di colore più fredde (K > 4000°) e luce bianca.
Infine come vetro si adopereranno **vetri piani temperati**.

4.3.2 Lampade

Una volta stabilito il numero di sorgenti luminose e potenza nominale necessaria per un'adeguata illuminazione si dovranno valutare la resa cromatica, l'efficienza luminosa e la temperatura di colore di tali lampade.
Si utilizzeranno lampade le cui rese cromatica e l'indici di resa dei colori siano ottimi, inoltre si utilizzeranno lampade con la più alta efficienza luminosa possibile.
Nel caso di intersezioni stradali e quindi di rotatorie, dovendo sottolineare la presenza dell'intersezione stessa e quindi di una discontinuità del flusso veicolare si adoperano lampade a temperatura di colore inferiore ai 4000K nei rami affluenti la rotatoria e lampade con temperature prossime o maggiori di 4000K nella rotatoria stessa.
Si avrà quindi una luce bianca nella rotatoria, utilizzando lampade agli **ioduri metallici**, e luce giallo/arancio nei bracci affluenti sfruttando lampade al sodio ad alta pressione.

4.4 SPECIFICHE DELL'IMPIANTO ELETTRICO

Per l'alimentazione degli apparecchi di un impianto di pubblica illuminazione è adottata, nella quasi totalità delle applicazioni esistenti, la soluzione a tensione impressa (o in derivazione) in bassa tensione. Impianti a tensione impressa in media tensione ovvero a corrente impressa vengono considerati come alternativi ai primi nel caso di grandi installazioni, non trattate nel presente studio.
La distribuzione avviene con sistema TT, fase-neutro o fase-fase 230 V 50 Hz oppure trifase con neutro 230/400 V 50 Hz: l'alimentazione monofase è economicamente conveniente in impianti di potenza modesta (fino a 6 kW).

Il dimensionamento elettrico delle linee di alimentazione deve soddisfare ai seguenti requisiti:

- garantire l'alimentazione dei centri luminosi con una caduta di tensione totale inferiore al 5%, secondo la Norma CEI 64-7 (*dimensionamento in relazione alla caduta di tensione*) [14];

- garantire la protezione contro i cortocircuiti e contro i contatti indiretti in tutti i punti dell'impianto secondo la Norma CEI 64-8, "Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V c.a. e 1500 V c.c." (*dimensionamento in relazione alle correnti di cortocircuito*);

I criteri di verifica sono quelli tradizionali degli impianti in bassa tensione con le precisazioni che seguono.
Le lampade a scarica, quelle maggiormente utilizzate negli impianti in esame, costituiscono carichi di tipo non lineare, soggetti quindi all'assorbimento di correnti armoniche; la caduta di tensione di 3° armonica non è trascurabile per cui è necessario nell'esecuzione dei calcoli di dimensionamento considerare come caduta di tensione limite un valore inferiore al 5% (solitamente pari a 3.4 %).
Gli apparecchi d'illuminazione non sono soggetti a sovraccarico per cui non sarebbe necessario proteggere i circuiti che li alimentano contro questo evento. Tuttavia la Norma CEI 64-8 consiglia di proteggere ugualmente i circuiti per ottenere una maggiore sicurezza contro il cortocircuito a fine linea, che il dispositivo di protezione dal cortocircuito potrebbe non "riconoscere".

La protezione contro i contatti indiretti è ottenuta generalmente, con i criteri e le metodologie esposti nella normativa generale per gli impianti di bassa tensione, mediante i seguenti sistemi:

- interruzione automatica dell'alimentazione (messa a terra);
- utilizzo di componenti in classe d'isolamento II.

Sistema di distribuzione

Si adotta un sistema di distribuzione di prima categoria con punto collegato direttamente a terra e le masse dell'impianto collegate ad un impianto di terra elettricamente indipendente da quello del collegamento a terra del sistema di alimentazione (Figura 4-6) [12]

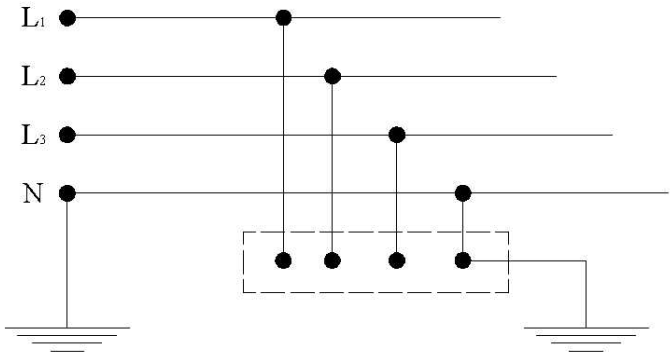


Figura 4-6 – Sistema TT

Gli impianti alimentati in ***serie*** presentano il vantaggio di avere tutte le lampade percorse dalla stessa corrente, quindi nelle condizioni di emettere il loro pieno flusso nominale e di poter illuminare strade molto lunghe con modeste sezioni di conduttore e una sola cabina di alimentazione. Gli svantaggi sono da ricercare nei pericoli presentati dalla elevata tensione del circuito, nelle speciali apparecchiature richieste per ottenere la corrente costante (trasformatori a bobina mobile o regolatori risonanti), nel non favorevole comportamento degli alimentatori in presenza di lampade a scarica, in particolare a vapore di sodio. Per tali motivi si usano sempre meno.
Gli impianti in ***derivazione*** sono, come detto, i più usati, e presentano il vantaggio di avere circuiti di utilizzazione in bassa tensione, con caratteristiche identiche a quelle dei circuiti di distribuzione normale. Si ha però lo svantaggio che tutte le lampade non emettono lo stesso flusso, in dipendenza della costante tensione nella alimentazione e, per strade molto lunghe, si va incontro a sezioni di conduttore rilevanti o all'esigenza di aumentare in numero delle cabine o ancora alla necessità di adoperare per l'alimentazione linee di media tensione.

Dimensionamento e verifica dei cavi

Il criterio adottato per un corretto dimensionamento della sezione dei cavi consiste nel verificare che la massima corrente prevista per le linee I_B (CORRENTE DI IMPIEGO), sia minore o uguale alla portata I_Z del cavo nelle peggiori condizioni di impiego previste.
Tale criterio è noto come CRITERIO TERMICO.[12]
Si dovrà avere quindi :

$$I_B \leq I_Z$$

dove :

$I_B = \frac{\sum n_i P_i}{E \cos\varphi}$ per linee monofasi

$I_B = \frac{\sum n_i P_i}{\sqrt{3}\, V \cos\varphi}$ per linee trifasi con carico lampade uniformemente ripartito tra le fasi

con :

P_i = Potenza unitaria [W] della i-esima tipologia di lampada impiegata. Nel caso di lampade a scarica tale P_i si ottiene moltiplicando la potenza nominale della lampada per un fattore 1,2 che tiene conto delle perdite di linea e degli accessori.

n_i = numero delle lampade alimentato dalla linea

E = tensioni di fase [V]

V = tensioni concatenate [V]

$\cos\varphi$ = fattore di potenza, generalmente posto uguale a 0,9 per lampade a scarica.

La sezione si ottiene da tabelle fornite dai costruttori di cavi tramite le quali trovare le portate I_Z , che corretta in base alle specifiche di posa, soddisfa la relazione $I_B \leq I_Z$ (Tabella 4-3).

Tipo e formazione del conduttore		Diametro del conduttore	Spessore medio isolante	Spessore medio guaina	Diametro esterno massimo	Peso indicativo del cavo	Resistenza a 20° C	Portate di corrente (A) con temperatura ambiente di				Resistenza con temperatura di funzionamento di 85 ° C		Reattanza a 50 Hz	Raggio minimo di curvatura
								30°C	30°C	20° C interrato		C.C.	C.A.		
mm^2		mm	mm	mm	mm	kg/km	Ω/km	in aria	in tubo	ρ=1	ρ=1,5	Ω/km	Ω/km	Ω/km	mm
1X	1,5	1,4	1	1,4	8,7	75	12,20	24	19,5	30	27	15,32	15,30	0,17	55
	2,5	1,8	1	1,4	9,1	90	7,56	33	26	39	34	9,49	9,50	0,15	60
	4	2,3	1	1,4	9,7	110	4,70	45	35	50	44	5,90	5,90	0,14	65
	6	2,8	1	1,4	10,2	140	3,11	58	46	62	54	3,90	3,90	0,13	70
1X	10	4	1	1,4	11,5	190	1,84	89	63	82	72	2,31	2,31	0,12	85
	16	5,1	1	1,4	12,6	260	1,16	107	85	105	92	1,46	1,46	0,11	100
	25	6,4	1,2	1,4	14,4	375	0,734	142	112	134	118	0,92	0,92	0,11	115
	35	7,3	1,2	1,4	15,4	470	0,529	175	138	160	141	0,66	0,66	0,10	125
	50	8,5	1,4	1,6	17,5	620	0,391	212		189	166	0,49	0,49	0,10	145
	70	10,2	1,4	1,8	19,7	850	0,270	270		230	203	0,34	0,34	0,10	155
	95	12	1,6	2	22,5	1150	0,195	327		275	242	0,24	0,25	0,09	180
	120	13,4	1,6	2	24	1400	0,154	379		312	275	0,19	0,20	0,09	205
	150	14,6	1,8	2	25,7	1700	0,126	435		348	306	0,16	0,16	0,09	220
	185	16,4	2	2	28	2100	0,100	496		394	346	0,13	0,13	0,09	240
	240	18,6	2,2	2	30,7	2700	0,0762	584		455	400	0,096	0,098	0,09	270
	300	21,1	2,4	2,2	34,2	3300	0,0607	665		512	450	0,076	0,079	0,09	300
	400	23,5	2,6	2,2	37,6	4200	0,0475	760		578	508	0,060	0,064	0,09	350
	500	26,5	3	2,2	41,7	5300	0,0369	865		653	574	0,046	0,051	0,09	390
	630	30,2	3,6	2,4	47,3	7000	0,0286	1000		736	647	0,036	0,042	0,09	450
2X	1,5	1,4	1	1,4	12,3	175	12,20	24	22	35	30	15,32	15,30	0,12	75
	2,5	1,8	1	1,4	13,2	210	7,56	33	30	45	39	9,49	9,50	0,11	80
	4	2,3	1	1,4	14,2	265	4,70	45	40	57	51	5,90	5,90	0,10	90
	6	2,8	1	1,6	15,7	350	3,11	58	52	72	63	3,90	3,90	0,10	100

Tabella 4-3 – Caratteristiche de cavi unipolari isolati in gomma G5 (Pirelli) per impianti esterni [12]

Verifica della massima caduta di tensione

Effettuata la scelta della sezione dei singoli tronchi di linea con il criterio termico, si procede alla verifica della massima caduta di tensione che, come detto, per gli impianti esterni non deve essere oltre il 5%.
Lo scema di calcolo adottato è basato sull'ipotesi (verificata nella pratica) di considerare il carico delle lampade come uniformemente distribuito sulla linea e quindi di operare con il carico pari a quello di tutte le lampade installate nel tronco posto a metà della lunghezza dello stesso e con un carico di estremità pari a quello di tutte le altre lampade a vale del tronco.
Le formule da applicare saranno diverse a seconda che si stia trattando tronchi di linea trifase o monofase; nel primo caso si avrà :

$$\Delta V_{jk} = \frac{1}{V \cos\varphi}(R_j \cos\varphi + X_j \operatorname{sen}\varphi)\left(P_j \frac{L}{2} + P_k L\right) \quad [\,V\,]$$

$$\Delta V_{jk}\,\% = (100 * \Delta V_{jk})/V$$

mentre nel secondo caso di linea monofase :

$$\Delta V_{jk} = \frac{1}{E \cos\varphi}(R_j \cos\varphi + X_j \operatorname{sen}\varphi)(P_j L + 2P_k L) \quad [\,V\,]$$

$$\Delta V_{jk}\,\% = (100 * \Delta V_{jk})/E$$

dove :

$P_j = n_i\ P_i$ = Potenze complessivamente assorbite dalle n_i lampade, di potenza unitaria P_i, uniformemente derivate lungo il tronco j-k;

P_k = Potenza complessiva assorbita da tutte le lampade presenti a valle del nodo k e da questo alimentate;

R_j , X_j = Resistenze e Reattanze per metro di cavo, ricavate dalla tabella dei costruttori, in funzione della sezione.

Anche in situazioni di non uniforme distribuzione delle lampade lungo il percorso è possibile individuare una suddivisione in tronchi privi di lampade ($P_j = 0$), detti tronchi di transito, ed in tronchi con ripartizione uniforme del carico sull'intera lunghezza.
In dipendenza della deformazione dell'onda di corrente, provocata dall'assorbimento di correnti non sinusoidali da parte delle lampade a scarica, il conduttore neutro è caratterizzato dalla presenza di una non trascurabile terza armonica che provoca un'ulteriore caduta di tensione.
E' consigliabile dunque fissare una massima caduta di tensione inferiore a quella prescritta dalle norme (un valore comunemente adottato è del 3%) ed utilizzare per il conduttore neutro sezioni uguali a quella dei conduttori in fase.[12]

CAPITOLO 5 - ILLUMINAZIONE DELLE ROTATORIE

Le intersezioni, siano esse a più livelli o a raso come le rotatorie, sono i punti maggiormente critici di una rete stradale e perciò possono avvantaggiarsi dei benefici indotti da una corretta illuminazione più ancora dei tronchi stradali rettilinei.
L'illuminazione deve infatti rivelare ai conducenti dei veicoli l'esistenza della intersezione stessa, le direzioni delle strade che vi confluiscono e si dipartono da essa, la posizione dei marciapiedi, la presenza di pedoni e altri utenti, le ostruzioni, il movimento di veicoli nelle vicinanze dell'area della intersezione.

5.1 SITUAZIONE NORMATIVA

In Italia non esiste una normativa indirizzata all'illuminazione delle rotatorie; vengono spesso richiamate le norme UNI 10819, la normativa CEI 64-7.
Come indicato nel capitolo precedente, l'unica norma tecnica vigente in materia di pubblica illuminazione (UNI 10439) tratta solo le strade rettilinee e con raggio di curvatura non minore di 200m, non è quindi applicabile ad aree critiche come le intersezioni.
Indicazioni in merito ai requisiti illuminotecnici per le intersezioni sono fornite nello studio a carattere prenormativo "Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali" [1] che si rifà alle indicazioni della pubblicazione numero 115/1995 della Commission International de l'Eclairage (CIE), "Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic" [3].
In merito alla scelta della tipologia di impianto più idonea in base al tipo di rotatoria, si trovano indicazioni piuttosto generiche nelle normative straniere :

- Francese
- Svizzera
- Americana (Florida, Kentucky, Oregon, Quebec)
- Inglese

Anche in queste normative non viene espresso un criterio delineato per tale scelta, vengono indicate preferenze sul tipo di impianto (centrale o periferico) da valutare però caso per caso in base ad esigenze funzionali ed estetiche.

5.2 REQUISITI DI CARATTERE ILLUMINOTECNICO

Anche nel caso delle intersezioni, il criterio posto alla base del dimensionamento degli impianti di illuminazione è comunque quello della luminanza.

Secondo la pubblicazione CIE 115/95, il livello di luminanza delle intersezioni dovrebbe essere di un grado più elevato di quello previsto per la strada più importante afferente.
La Tabella 5-1 riporta un'ipotesi di requisiti illuminotecnici per le intersezioni elaborata secondo tale criterio, coerente con la suddivisione in categorie illuminotecniche della Norma UNI 10439.

Strada più importante dell'intersezione	Requisiti illuminotecnici dell'intersezione		
	L_m (cd/m^2)	U_0 [%]	TI [%]
Autostrade extraurbane o urbane	2	0.4	10
Strade extraurbane principali	2	0.4	10
Strade extraurbane secondarie	2	0.4	10
Strade urbane di scorrimento veloce	2	0.4	10
Strade urbane di scorrimento	1.5	0.4	10
Strade urbane interquartiere	2	0.4	10
Strade urbane di quartiere	1.5	0.4	10
Strade extraurbane locali	1.5	0.4	10
Strade urbane locali interzonali	1	0.4	10
Strade urbane locali	0.75	0.4	15

Tabella 5-1 – Requisiti illuminotecnici per le intersezioni in funzione della strada affluente più importante [1]

Ove non sia applicabile il criterio della luminanza, ad esempio a causa delle ridotte distanze di osservazione, per l'impossibilità di definire i punti di osservazione o per difficoltà di calcolo, può essere utilizzato un criterio basato sull'illuminamento.

La pubblicazione CIE 115/95 propone una suddivisione delle intersezioni in cinque classi e definisce i relativi requisiti secondo quanto riportato nella Tabella 5-2, dove:

E (lx): minimo illuminamento medio mantenuto sull'intera superficie dell'intersezione;

Uo [%]: minimo rapporto di uniformità Emin/Emed sull'intera superficie del l'intersezione;

Ci : classi dell'illuminazione del tipo di intersezione.

Classe dell'intersezione	Requisiti illuminotecnici dell'intersezione	
	E (lx)	U_o [%]
C_0	50	0.40
C1	30	0.40
C_2	20	0.40
C_3	15	0.40
C_4	10	0.40
C_5	7.5	0.40

Tabella 5-2 – Requisiti Illuminotecnica in termini di illuminamento per le classi di intersezioni stradali [3]

L'attribuzione di una tipologia d'intersezione alle diverse classi può essere stabilita in funzione della strada più importante afferente all'intersezione stessa (Tabella 5-3), ovvero, per il caso delle rotatorie, secondo la classificazione della Tabella 5-4.

Strada più importante dell'intersezione	Classe
Strade ad alta velocità a due carreggiate	$C_0 - C_1$
Strade urbane di scorrimento	$C_1 - C_2$
Strade locali	$C_3 - C_4 - C_5$

Tabella 5-3 – Classi di intersezioni in funzione della strada afferente più importante

Tipo intersezione	Classe
Rotatoria complessa o grande	C_1
Rotatoria di medie dimensioni e complessità	C_2
Rotatoria semplice o piccola	C_3

Tabella 5-4 – Classi di intersezioni stradali in funzione del tipo di rotatoria

Il tipo e la disposizione dei centri luminosi devono essere scelti in modo da garantire ai conducenti la "guida visiva", ossia dare un'immagine immediatamente riconoscibile del percorso da seguire.

Nel caso delle rotatorie, la presenza di un illuminazione a geometria "centrale", segnala in modo efficace l'esistenza dell'intersezione e costituisce un elemento di discontinuità rispetto all'illuminazione dei bracci.

Nel caso di intersezioni tra strade illuminate e non, è opportuno estendere l'illuminazione oltre le aree critiche dell'intersezione stessa anche per le strade prive di illuminazione.
Ciò per tenere conto del fatto che il tempo di adattamento visivo nella transizione da zone illuminate e zone buie, durante il quale la visibilità si riduce, è molto superiore rispetto a quello della transizione inversa.
Affinché l'adattamento visivo abbia luogo, è quindi necessario prolungare l'impianto di illuminazione oltre l'intersezione per un tratto della strada uscente la cui lunghezza dipende dalla velocità dell'autoveicolo. Ad esempio se un'intersezione è illuminata a 2 cd/m^2 e se il livello di luminanza del tratto uscente è di 0.3 cd/m^2, il tempo di transizione è di circa 10 s. La lunghezza di tale tratto dovrà essere di circa 140 m, se la velocità di progetto della strada è di 50 km/h.

In presenza di intersezioni interessate da traffico misto occorre tenere conto della prescrizione della Norma UNI 10439 che indica nella misura di 5 m la fascia di pertinenza destinata al traffico pedonale, nella quale deve essere garantito un livello d'illuminamento medio non minore della metà di quello della fascia adiacente di 5 m, appartenente alla carreggiata, ed in generale curare la progettazione dell'impianto in modo da illuminare – con particolare attenzione alle superfici verticali – veicoli e pedoni nell'area dell'intersezione ed in quelle adiacenti.

5.3 CONFIGURAZIONE DI IMPIANTI

La disposizione dei centri luminosi di un impianto di pubblica illuminazione deve essere studiata in modo da soddisfare i relativi requisiti illuminotecnici, e allo stesso tempo non influire negativamente sulla leggibilità delle segnalazioni. Le variabili su cui il progettista può agire sono: la geometria d'installazione, l'altezza dei centri luminosi ed eventualmente lo sbraccio, l'interdistanza tra i centri, la potenza e tipo delle lampade,gli angoli di puntamento, ecc.
Le geometrie d'installazione per l'impianto a servizio di una rotatoria, con riferimento all'anello, possono essere classificate in due tipi:

- disposizione centrale con torre/i faro o lampione centrale con apparecchi montati (Figura 5-1);

- disposizione periferica con punti luce su palo (Figura 5-2).

In genere entrambe le soluzioni sono accettabili per ogni tipologia di rotatoria; la scelta va fatta in base ad esigenze economiche, energetiche, di semplicità di funzionamento e di esercizio dell'impianto.
La prima garantisce una buona visibilità dell'incrocio da lontano e una migliore visibilità della segnaletica direzionale ma pecca in accessibilità dell'isola per la manutenzione, soprattutto in caso di grandi altezze del palo centrale.
Per contro la disposizione periferica offre una più facile manutenzione ma una minor visibilità da lontano e a parità di caratteristiche tecniche, un maggior costo dovuto al numero maggiore di sostegni.

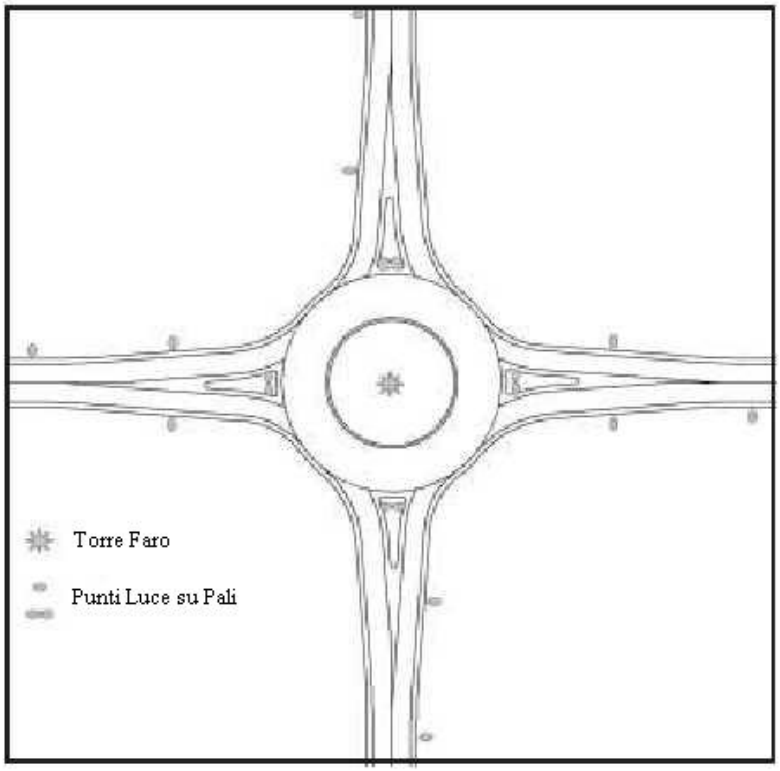


Figura 5-1 – Rotatoria Illuminata con disposizione centrale

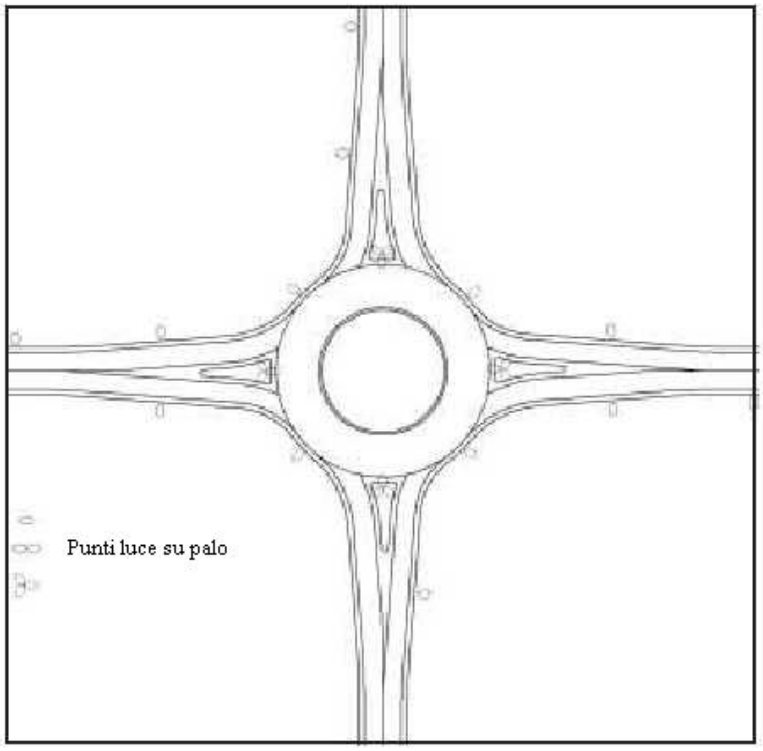


Figura 5-2 – Rotatoria Illuminata con disposizione periferica

Per quanto attiene la disposizione dei centri luminosi nei bracci della rotatoria, va osservato il criterio valido per i tratti in curva, secondo il quale l'interdistanza deve essere diminuita rispetto alla carreggiata rettilinea. Un valore comunemente adottato è:

$d_c = 0,75 * d$

dove "d" è l'interdistanza dei tratti in rettilineo e "d_c" quella dei tratti in curva.

Per quanto attiene la parte più propriamente impiantistica, l'illuminazione delle rotatorie ed in generale delle intersezioni non presenta problematiche particolari per cui valgono le considerazioni già esposte nelle pagine precedenti al paragrafo sulle specifiche dell'impianto elettrico.

CAPITOLO 6 - CRITERI DI SCELTA DELL' IMPIANTO

6.1 PREMESSA

Oggetto di tale studio è valutare la tipologia di impianto più idonea per rotatorie con raggio esterno [R_{est}] variabile dai 10m ai 19m, campo che, secondo la normativa Francese, abbraccia sia le mini-rotatorie, sia le rotatorie compatte con isola centrale semi sormontabile e non sormontabile.
In questo capitolo vengono descritte e analizzate le varie tipologie di installazioni, proponendo una soluzione per ogni diametro.
Nell'elaborazione dei dati si è osservato che oltre i 28m di diametro con potenze inferiori a 250 Watt per sorgente luminosa si ottengono luminanze inferiori a 1 cd/m^2; da questa dimensione in poi quindi, non sono state prese in considerazioni sorgenti con potenze da 150 Watt.
Le altezze delle sorgenti luminose sono state fatte variare dai 7m ai 14m; in rari casi è stato necessario valutare parametri illuminotecnici con altezze maggiori.
Si fa notare inoltre che nella scelta dell'impianto, nel caso delle rotatorie, non viene preso in considerazione l'indice di Uniformità Longitudinale U_l (utilizzato solo per strade rettilinee o con raggio di curvatura minore di 200m).
In accordo con la normativa francese, da un punto di vista geometrico, si segue questa nomenclatura:

Mini Rotatorie : D = 15m – 24m

Rotatorie Compatte con isola centrale semisormontabile D = 25m – 30m

Rotatorie Compatte con isola centrale non sormontabile D = 31m – 38m

6.2 RENDIMENTO FINALE ILLUMINOTECNICO NELL'ILLUMINAZIONE PER ESTERNI

Il rendimento finale è il rapporto fra l'energia assorbita dall'apparecchio di illuminazione e l'energia effettivamente utilizzata per illuminare l'area voluta. In genere sui cataloghi dei costruttori appare il valore del rendimento dell'apparecchio, cioè il rapporto fra l'energia emessa dall'apparecchio e l'energia ricevuta dalla lampada; tale rendimento, in genere, oscilla fra il 50% - 85%.
Il rendimento finale illuminotecnico, è diverso dal rendimento del solo apparecchio illuminante.
Si devono infatti prendere in considerazione le varie perdite relative dei vari componenti e la potenza risultante; prendendo ad esempio di riferimento un apparecchio con potenza di 100 W e lampada ai vapori di mercurio, si ha :

- *piastra* : perdite per effetto Joule ed addizionali si verificano nel reattore, nei condensatori, nei contatti. Queste perdite sono ridotte e nel caso specifico pari al 10%, cioè 10 W. La potenza rimanente sarà 90 W.

- *lampada*: è il componente dell'apparecchio che provoca la massima caduta del rendimento; in teoria una lampada dovrebbe emettere 621 lumen di flusso luminoso per ogni Watt impiegato, in realtà l'efficienza luminosa delle lampade è ridotta e va da 50 Lm/W per una lampada al mercurio a 180 Lm/W per una lampada al sodio a bassa pressione, rispettivamente circa il 10 e 30% del teorico.
  Nel caso preso in esempio, la lampada trasduce il 10% dei 90 W cioè 9 W che nel tempo determina l'energia assorbita (potenza per tempo); in uscita dalla lampada troviamo il flusso luminoso che è minore della potenza assorbita in quanto nel passaggio entrata/uscita ci sono le perdite, secondo una formula :

  $$Pu = P - Pp$$

  dove Pu è la potenza luminosa in uscita, cioè il flusso luminoso, P la potenza elettrica assorbita dalla lampada, Pp la potenza perduta e quindi non trasformata in energia raggiante. La potenza perduta è dovuta al processo di trasformazione della potenza elettrica in potenza raggiante a causa delle seguenti perdite: addizionali (esempio contatti), per effetto *Joule* (nelle lampade ad incandescenza tale effetto, riguardo al filamento, non costituisce solo una perdita ma bensì la base di funzionamento), per riflessione ed assorbimento della luce emessa da parte del bulbo in vetro che si trasforma in calore disperso dal bulbo stesso per conduzione verso l'esterno, interne per convenzione, per emissione nel campo dell'invisibile (raggi ultravioletti ed infrarossi), per una scarica non ideale dei gas, ecc.).

- *Coppa ed inclinazione*: la coppa prismata diffonde la luce verso l'emisfero superiore esterno ed il fenomeno, in genere, è aggravato dall'inclinazione dell'apparecchio rispetto al piano di calpestio, la potenza perduta è pari al 10% di quella emessa (Figura 6-1).

- *Aria*: una ridotta parte di luce viene deviata dalle polveri e dalle molecole d'acqua.

- *Suolo da non illuminare*: una parte della luce che arriva al suolo illumina un'area non destinata all'illuminazione. I fattori che contribuiscono a questa dispersione della luce sono l'errata progettazione o scelta dell'ottica, l'errata progettazione dell'impianto e l'installazione sbagliata (Figura 6-1).

- *Riflessione del suolo*: la riflessione del suolo in media si può assumere pari al 7% e quindi anch'essa è luce dispersa verso il cielo, anche se bisogna specificare che in special modo nei centri abitati, la riflessione è minore del 7%. Infatti, parte della luce riflessa, incontrando ostacoli come le superfici di palazzi o alberi, viene assorbita o riflessa contro altre superfici (Figura 6-1).

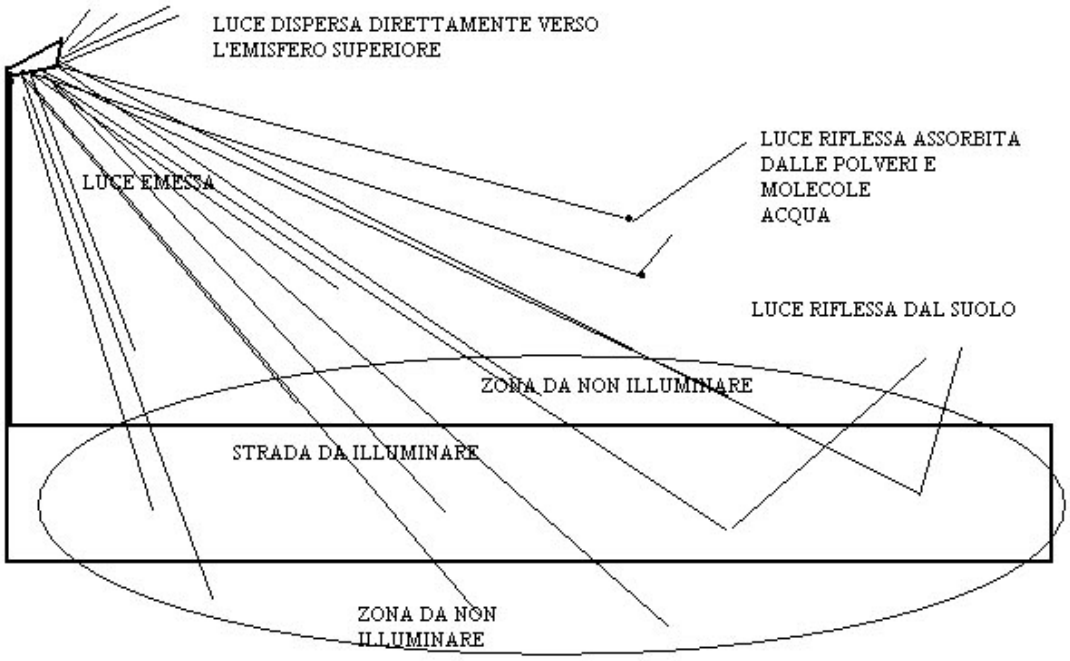


Figura 6 -1 – Dispersione della luce

In definitiva le perdite totali riducono la potenza tradotta in luce a meno del 9%, rendimento quindi minimo, antieconomico, e con un inquinamento luminoso.
Si deve quindi ricercare di aumentare il rendimento delle lampade, rispettando i requisiti visti nel capitolo 4, prestando attenzione dunque ad un alto rendimento dell'apparecchio illuminante e ad una sua ottimale installazione, alla zona effettivamente da illuminare, ad utilizzare riduttori di flusso luminoso per determinate ore della notte.

6.3 ANALISI DI UN IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE

Alla luce delle considerazioni sopra esposte e dei requisiti degli apparecchi illuminanti, trattati nel capitolo 4, le problematiche da tenere presente in una progettazione ed installazione di un impianto di illuminazione, possono essere così riassunte :

- *Rendimento finale.*
- *Rendimento delle lampade.*
- *Rendimento degli alimentatori;* assorbono circa il 20% della potenza della lampada. Gli alimentatori elettroni hanno un assorbimento pari a circa il 2% ma non ancora affidabili quanto quelli elettromagnetici.
- *Rendimento dell'apparecchi.*
- *Riflettività del riflettore.*
- *Indici di rifrazione dei vetri;* questi dovrebbero aumentare, e diminuire al tempo stesso gli indici di assorbimento e riflessione.
- *Forme del riflettore;* si deve ricercare una forma più direzionabile possibile.
- *Angoli di emissione;* cercare angoli di emissioni elevati per evitare di inclinate l'apparecchio, e nel contempo evitare un surriscaldamento e perdite dovute a flusso intrappolato all'interno dell'apparecchio.
- *Vetri;* si può pensare di sperimentare vetri con indici di rifrazione diversi lungo la loro superficie : variando l'indice di rifrazione, a parità di dimensioni dell'ottica, si posso ottenere angoli di emissione maggiori.
- *Dispersione oltre l'area da illuminare.*
- *Spettro di emissione;* se non c'è bisogno dell'intero spettro si può ricorrere alla luce gialla o arancione/rosa delle lampade al sodio.
- *Riduzione del flusso luminoso;* illuminare cioè, quando e dove serve.
- *Scelta dell'apparecchio e della lampada.*
- *Installazione dell'impianto.*

6.4 CALCOLO MECCANICO DEI SOSTEGNI

Una volta scelta l'altezza dei sostegni da adottare, e quindi note le caratteristiche geometriche e meccaniche sulla base delle tabelle fornite dai costruttori, occorre verificare la stabilità dei sostegni stessi.
Prima di procedere con le verifiche si sottolinea che quanto segue è valido per pali di altezza inferiore a 20m e con l'ipotesi che l'alimentazione avviene a mezzo di cavi sotterranei.
La normativa di riferimento è la UNI-EN 40/6.

Calcolo meccanico sostegni

Determinazione della Pressione del Vento

La pressione dinamica di calcolo q_h [N/m^2] viene calcolata sulla base della seguente espressione :

$$q_h = q_B \cdot \alpha \cdot \delta \cdot \beta \cdot k$$

- q_B è la pressione dinamica di base (pressione ad un'altezza di 10m sopra il livello del suolo) che si assume pari a 500 N/m^2 ;

- α è un coefficiente che tiene conto dell'altezza effettiva h del punto in cui si calcola la pressione.
  Espresso h in metri, si assume :
  $$\alpha = 1 + 0.02 \cdot (h - 10)$$

- δ è un coefficiente di riduzione che tiene conto del fatto che maggiore è l'altezza del palo minore è la probabilità che esso sia globalmente soggetto alla pressione massima presa come base di calcolo. Indicando con H l'altezza nominale [m] del palo, si pone :
  $$\delta = 1 - 0.01 \cdot H$$

- β è il coefficiente di maggiorazione dinamica che tiene conto delle oscillazioni provocate dalle raffiche di vento. E' funzione del periodo proprio T del primo modo di vibrare e dello smorzamento del sistema palo-apparecchio di illuminazione. Il calcolo di T [secondi] si effettua secondo due vie distinte a seconda che la sezione del palo sia cilindrica (o prismatica) a sezione costante oppure che sia troncoconica.

  Nel primo caso (sezione cilindrica costante) si ha :
  $$T = 1.79 \cdot H^2 \cdot \sqrt{\frac{p}{gEI}}$$

dove :

p = peso per unità di altezza [kg/m]

g = accelerazione di gravità [m/s^2]

E = modulo di elasticità [kg/m^2]

I = momento di Inerzia della sezione [m^4]

Nel secondo caso (sezione troncoconica) si utilizza la seguente espressione :

$$T = KH^2 \cdot \sqrt{\frac{p}{gEI}}$$

dove in questo caso :

p = peso per unità di altezza assumendo quale sezione trasversale del palo quella di base [kg/m]

I = momento di Inerzia della sezione [m^4]

K = coefficiente che tiene conto della sezione variabile ed è in funzione del rapporto H/L (L è la lunghezza totale del palo).

Il coefficiente K può esser determinato utilizzando il grafico seguente :

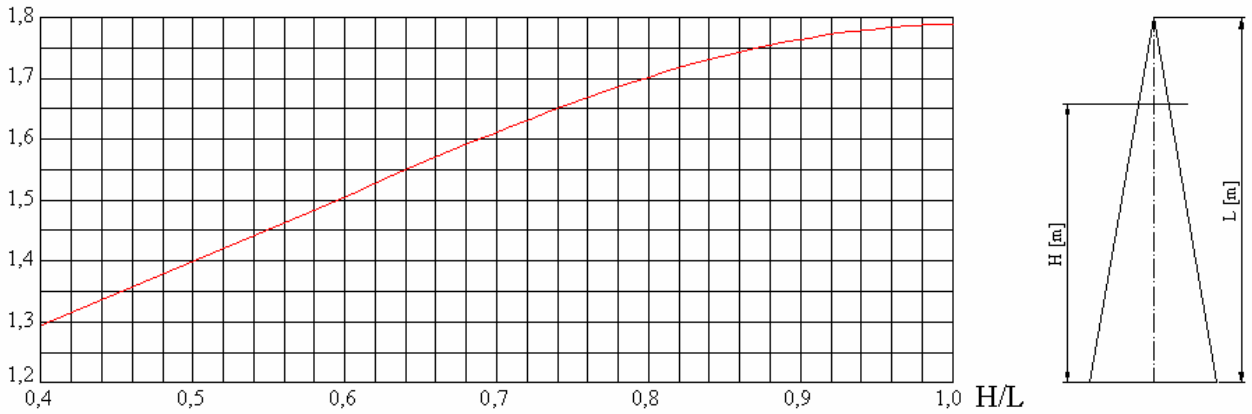


Figura 6-2 – Grafico per la determinazione di K [12]

Calcolato T, il valore di β si desume dal seguente grafico, riferito al metallo :

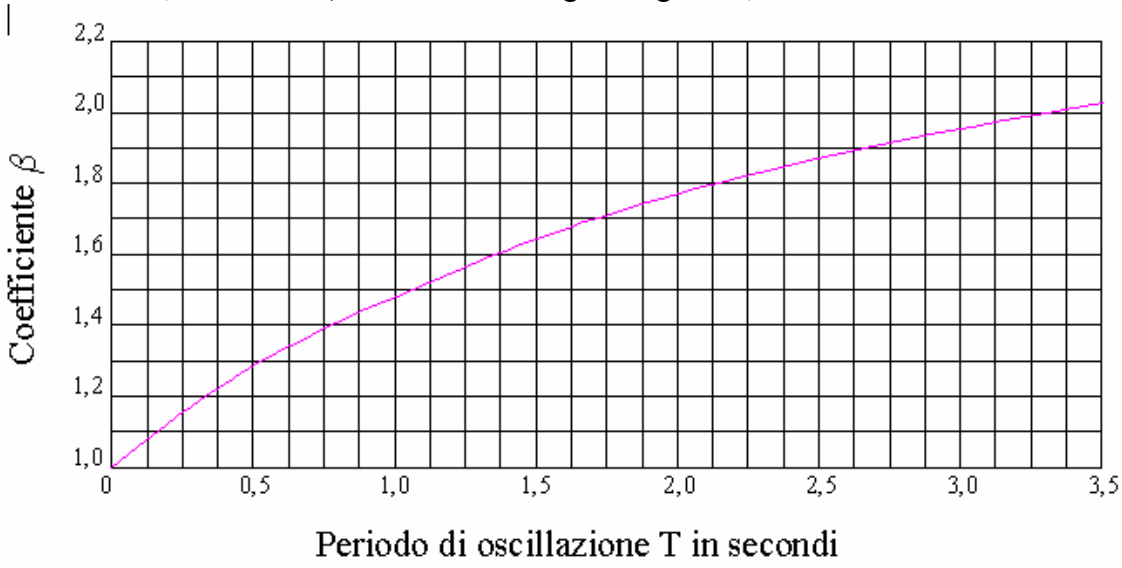


Figura 6-3 – Grafico per la determinazione di β [12]

- Infine **k** è il coefficiente di ventosità; si tratta di un fattore di correzione che tiene conto della natura del luogo della messa in opera del palo.

Forze dovute all'azione del vento

Per il calcolo delle forze dovute all'azione del vento il fusto viene suddiviso, verticalmente, in un numero discreto "n" di elementi. Per l'i-esimo di questi (i = 1,2,…n) la forza orizzontale F_{ci} [N], considerata agente in corrispondenza del baricentro dell'elemento stesso, si ricava come :

$$F_{ci} = A_{ci} \cdot c_i \cdot q_{hi}$$

dove :

A_{ci} è l'area, in m^2, della proiezione della superficie investita dal vento sul piano ortogonale alla direzione di questo (piano verticale);

c_i è il coefficiente di forma dell'elemento considerato;

q_{hi} è la pressione dinamica di calcolo in corrispondenza del baricentro dell'elemento considerato.

Per sezioni circolari e ottagonali il coefficiente di forma si ricava sulla base del grafico di figura 6-4 in funzione del parametro R_e :

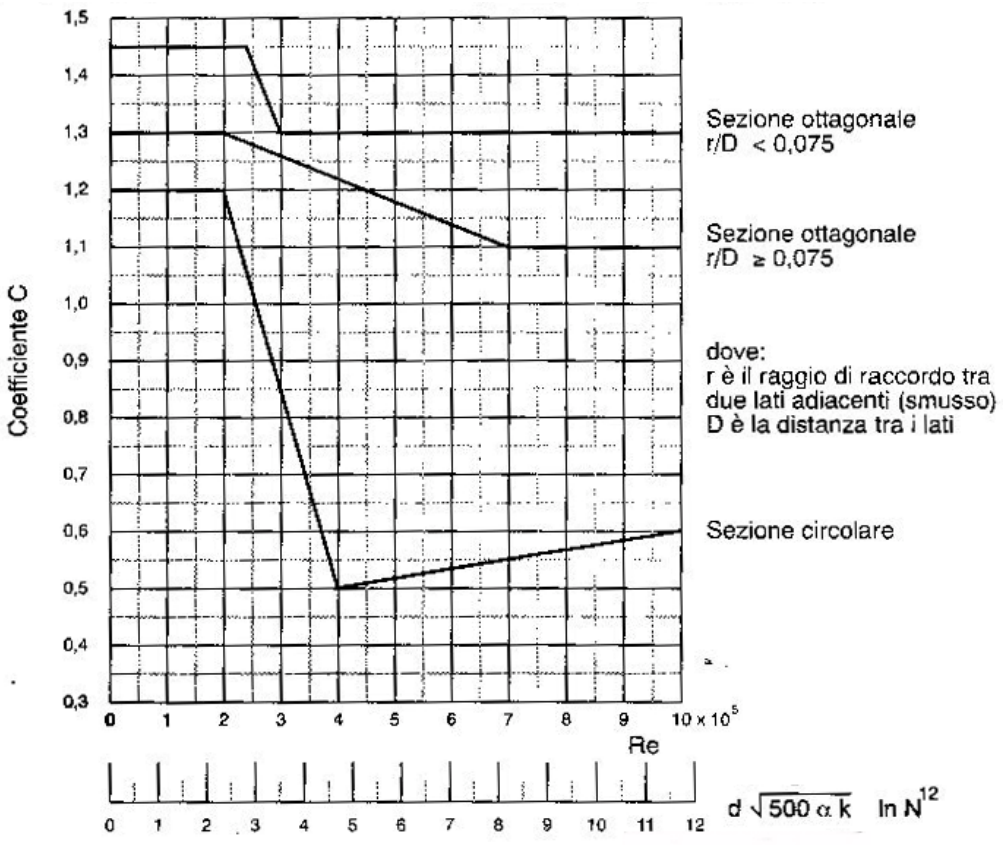


Figura 6-4 – Fattori di forma per pali a sezione circolare e ottagonale

R_e tiene conto della velocità del vento V [m/s], del diametro d [m] e della viscosità cinematica dell'aria ν [m^2/s] a 20°C :

$$R_e = V \cdot \frac{d}{\nu}$$

dove si assume :

$$V = 1.28 \cdot \sqrt{\frac{q_h}{\delta \cdot \beta}} \quad [m/s]$$

$$\nu = 15.1 \cdot 10^{-6} \quad [m^2/s]$$

Per gli apparecchi di illuminazione il valore della forza F_a [N] dovuta alla pressione del vento si ricava con l'espressione :

$$F_a = A_a \cdot c_a \cdot q_{ha}$$

dove :

A_a è l'area della proiezione dell'apparecchio di illuminazione sul piano normale alla direzione del vento [m^2] ;

c_a è il coefficiente di forma;

q_{ha} è la pressione dinamica di calcolo in corrispondenza del baricentro geometrico dell'apparecchio.

Verifica della sezione di incastro

Utilizzando le forze del vento calcolate, il peso proprio dell'apparecchio e del palo (forniti dai costruttori) si possono determinare le caratteristiche della sollecitazione sul palo dovute alla distribuzione di tali forze.
Il palo viene schematizzato come una trave perfettamente incastrata al suolo e il braccio come una mensola incastrata al palo.
Le sezioni da verificare, in genere, in questo schema sono quella di incastro al suolo, quelle ridotte da eventuali aperture e nella sezione di attacco del braccio al palo.
Il momento flettente massimo M_v [Nm] dovuto all'azione del vento vale :

$$M_v = \sum_i F_{ci} \cdot h_{ci} + \sum_j F_{bj} \cdot h_{bj} + F_a \cdot H$$

dove i simboli Fci, F_{bi} e Fa hanno il significato visto precedentemente, mentre h_{ci} e h_{bj} rappresentano l'altezza dal suolo, in metri, del baricentro dell'i-esimo elemento del fusto e del j-esimo elemento del braccio; H rappresenta l'altezza del sostegno, in metri.

Le forze dovute al peso proprio del braccio e dell'apparecchio di illuminazione provocano alla base del palo un momento flettente M_p [Nm] dato da :

$$M_p = 9.81 \cdot \left(P_b \cdot d_b + P_a \cdot d_a\right)$$

dove:

P_b [Kg] è il peso del braccio considerato applicato nel baricentro di questo, situato a distanza d_b [m] dall'asse del palo;
P_a [Kg] è il peso dell'apparecchio illuminante considerato applicato nel baricentro di questo, situato a distanza d_a [m] dall'asse del palo.

L'ipotesi più gravosa ai fini della sicurezza consiste nel supporre complanari i due momenti, per cui il momento risultante all'incastro, nel caso di verifica alle tensioni ammissibili, sarà uguale alla somma dei suddetti momenti.
Le verifiche da effettuare a questo punto sono le note verifiche della scienza delle costruzioni, dopo aver individuato nella sezione i punti maggiormente sollecitati.
Si fa notare che nel caso si utilizzino apparecchi di illuminazione asimmetrici, il palo sarà soggetto ad un momento torcente che dà luogo ad una tensione calcolabile con la nota formula di Bredt.

Verifica di stabilità delle fondazioni

Si fa riferimento a blocchi di fondazione parallelepipeda, di dimensioni a • b ed altezza c, con una piastra metallica di appoggio.
Il momento ribaltante vale :

$$M_{ri} = \frac{\left[\frac{M_v}{H}\cdot(H + c) + M_p\right]}{9.81} \qquad [Kg\,m]$$

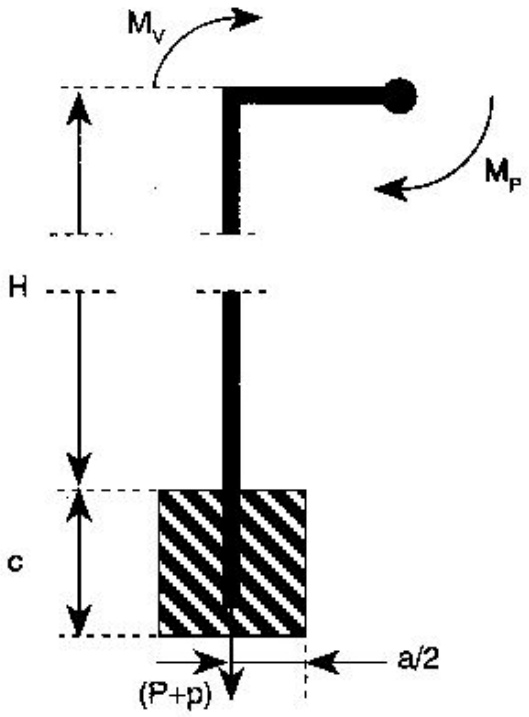


Figura 6-5 – Verifica a stabilità della fondazione

mentre il momento resistente nell'ipotesi che si possa tener conto dall'azione del terreno circostante vale :

$$M_{re} = 1100\cdot b\cdot c^3 + 0.85\cdot(P + p)\cdot\frac{a}{2} \qquad [Kg\,m]$$

Nel caso non si possa tener conto del contributo del terreno nella formula precedente si dovrà eliminare il termine 1100 b c^3.
In questa formula si è assunto :

P = peso in Kg del blocco di fondazione con 2200 peso specifico del CLS
p = peso in Kg del palo e dell'apparecchio illuminante.

Nel caso in cui il palo sia ancorato ad un supporto rigido mediante piastra di appoggio e tirafondi, si dovrà inoltre proceder con una verifica di questi considerandoli soggetti prevalentemente a sforzo normale.
Lo sforzo normale a cui è soggetto ciascun tirafondo, indicando con t [mm] la distanza tra gli assi dei tirafondi stessi, sarà :

$$N_t = 10^3 \cdot \frac{M_{max}}{2t} \qquad [N]$$

dove M_{max} è il momento massimo flettente che si ha alla base del palo.

Si effettua anche una verifica allo sfilamento dei tirafondi tesi controllando che la lunghezza della parte di tirafondo annegata sia maggiore di quella limite, ovvero della lunghezza minima di ancoraggio.

6.5 SCELTA DELL'IMPIANTO : PROPOSTE OPERATIVE

6.5.1 Criterio di scelta

Per ogni diametro vengono ritenute possibili tutte quelle soluzioni che presentano valori illuminotecnici rispettanti i vincoli imposti dalle normative.
Il primo passo è quello di individuare tra le soluzioni possibili, per entrambe le tipologie di impianto (centrale e periferica), l'installazione ottimale, prendendo in considerazione i seguenti elementi :

- il costo delle lampade;
- le loro efficienze luminose;
- la loro durata;
- il costo dei sostegni;
- il costo degli apparecchi;
- le spese di esercizio (manutenzione e ricambio).

Ciò porta a scegliere installazioni con :

- il minor numero di sorgenti luminose;
- la più bassa potenza necessaria;
- la minore altezza dei sostegni.

Il passo successivo è quello di confrontare tra loro le installazioni delle due diverse tipologie di impiantistica.
Quindi si seguono di nuovo le indicazioni sopra elencate.
Per un confronto diretto delle possibili installazioni in una rotatoria, sono stati costruiti grafici (riportati più avanti nel paragrafo) che mettono in relazione le variabili del problema al variare del diametro esterno della rotatoria :

- ✓ numero di sorgenti luminose,
- ✓ potenza in Watt dell'impianto,
- ✓ altezza degli apparecchi,
- ✓ installazione periferica o centrale.

Le sorgenti luminose sono tutte lampade agli ioduri metallici dello stesso modello, così come lo sono gli apparecchi illuminanti e i sostegni; per ogni potenza nominale delle lampade, dunque, il costo, l'efficienza e la durata saranno le medesime.

Si riportano le principali caratteristiche delle lampade a Ioduri Metallici utilizzate :

Potenza [Watt]	Flusso [lm]	Grado rc	Kelvin	Lumen/Watt	Durata [h]
150	11250	1B	4200	75	6000
250	20000	1B	4200	80	6000
400	38000	1B	4200	95	6000

e degli apparecchi illuminanti si riportano le loro curve fotometriche :

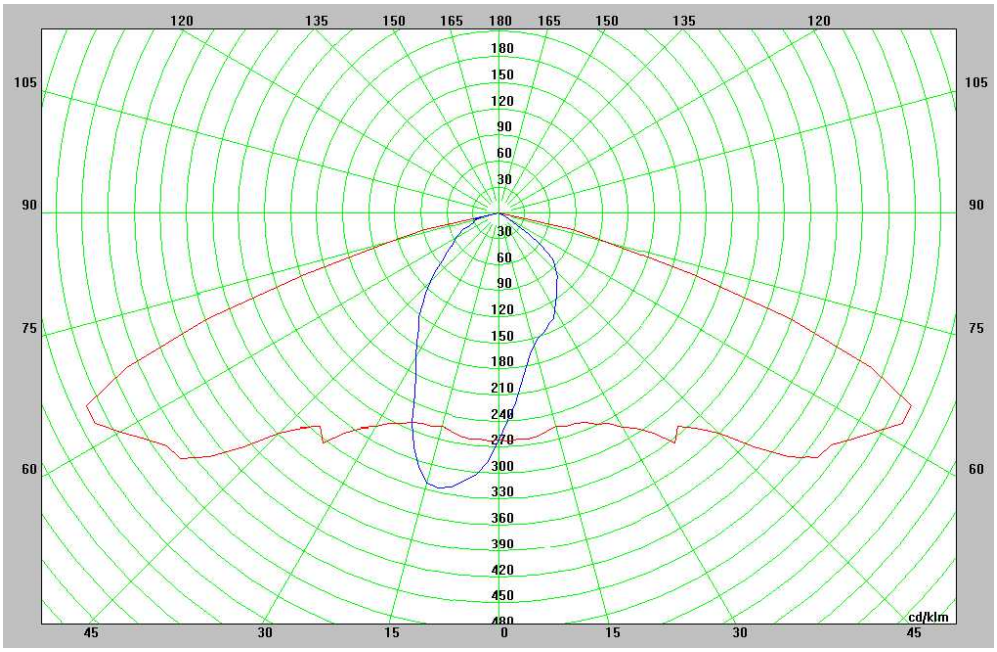


Figura 6-6 – Grechi Ellisse VL 150 Watt

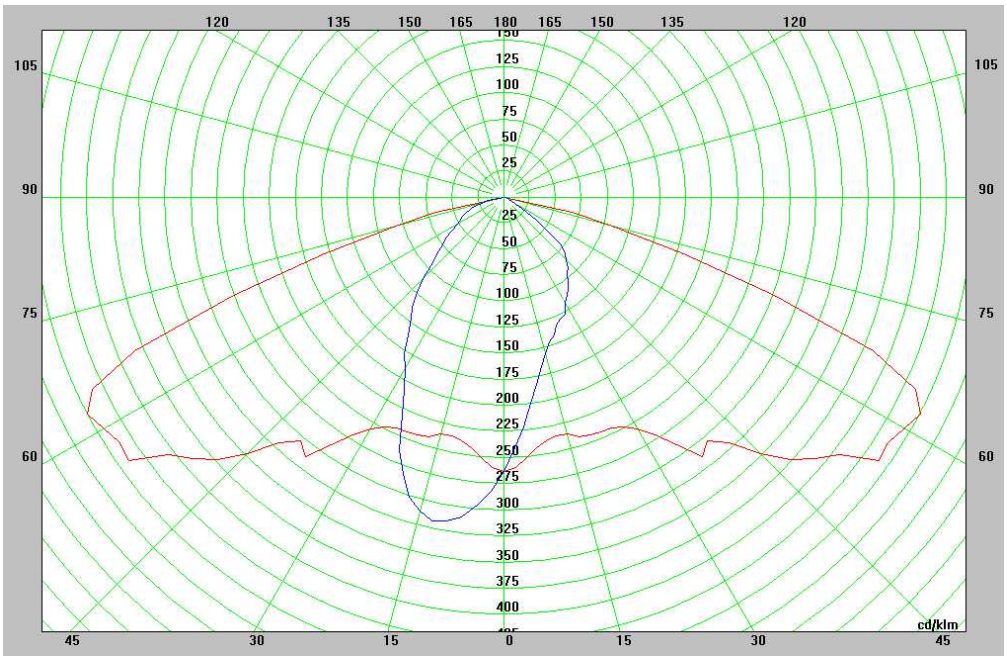


Figura 6-7 – Grechi Ellisse VL 250 Watt

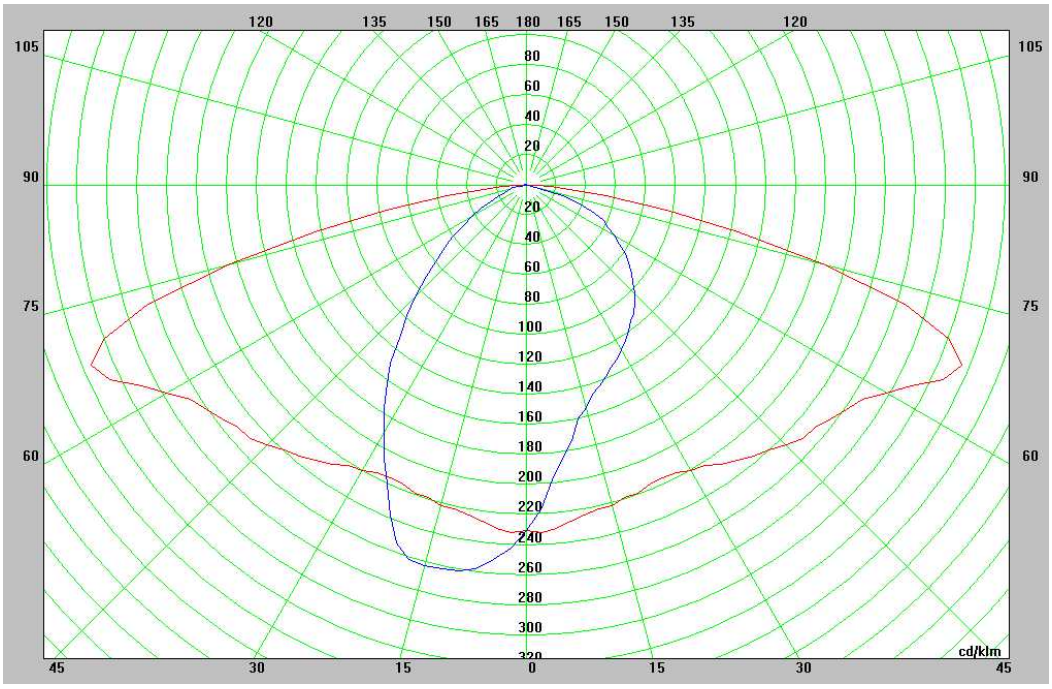


Figura 6-8 – Grechi Iperbole VL 400 Watt

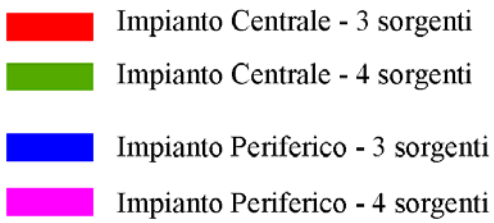
Dove in rosso è indicato l'andamento dell'angolo C, mentre in blu è rappresentato l'andamento dell'angolo γ.

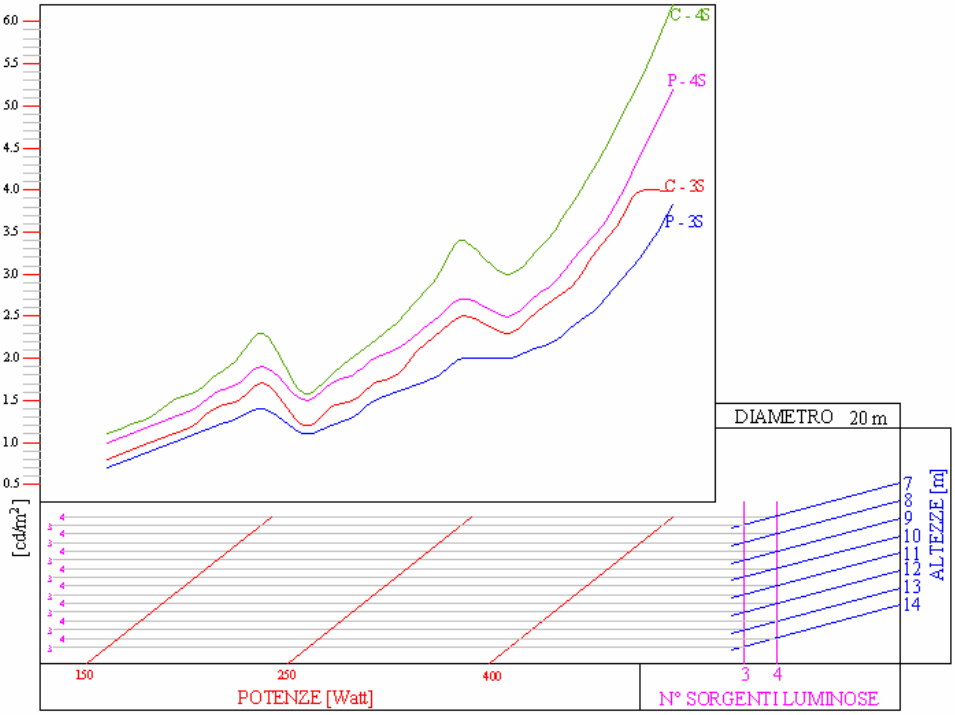
Criteri di calcolo

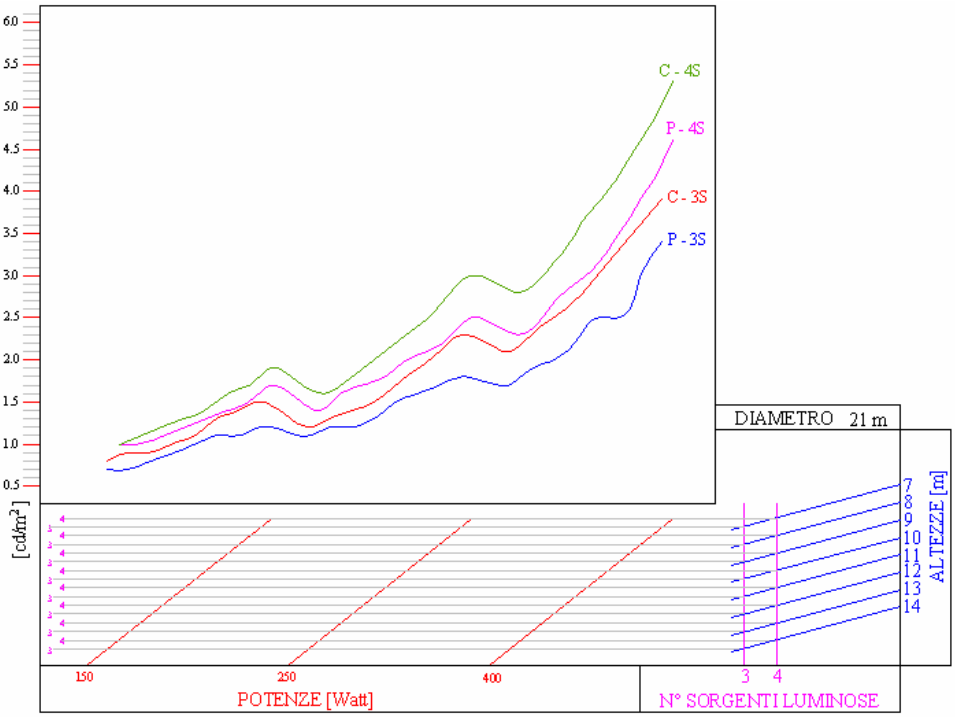
Come già detto nei precedenti capitoli, non esistendo una normativa precisa in campo di illuminazione delle rotatorie, ci si basa sulle normative italiane (UNI 10439 e "Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali") e sulle indicazioni francesi 115/1995 della CIE.
Per il dimensionamento dell'impianto di illuminazione si può seguire un criterio di Luminanza o di Illuminamento.
Le citate norme suggeriscono, nel caso di dimensionamento secondo un criterio della luminanza di classificare la rotatoria in base alla strada affluente più importante, mentre suddividono le rotatorie in 3 classi a seconda della loro dimensione ed importanza (vedi tabella 5-4).
Nel presente capitolo si è cercato di tenere conto di tale situazione normativa indicando il campo di applicazione della rotatoria (urbano o extraurbano) considerando sia l'importanza e la dimensione della rotatoria stessa sia il tipo di strada affluente.
In tal modo si è potuto studiare l'impianto di illuminazione sia valutando i valori minimi della luminanza media sia di quelli dell'illuminamento medio.

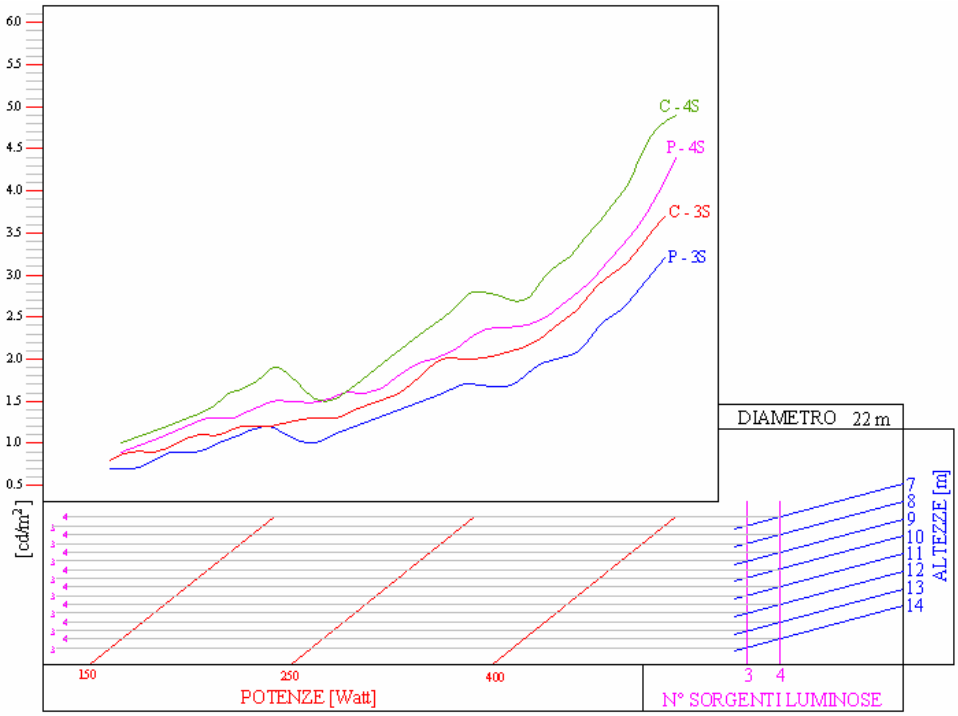
6.5.2 Grafici

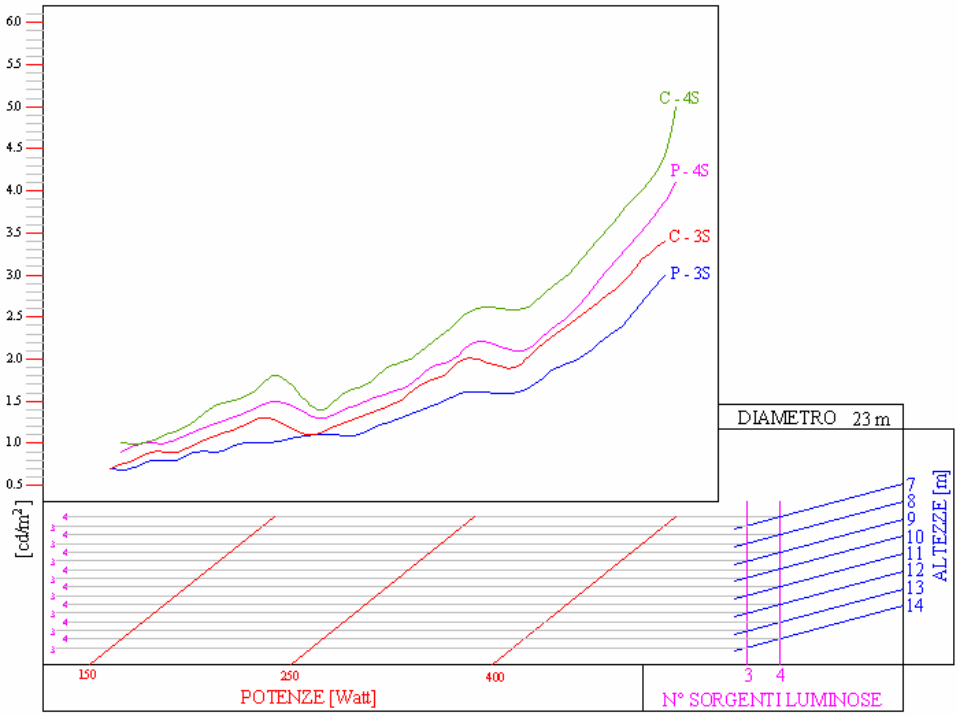
Per ogni diametro si riportano le varie tipologie di impianto a confronto e la legenda per la loro lettura :

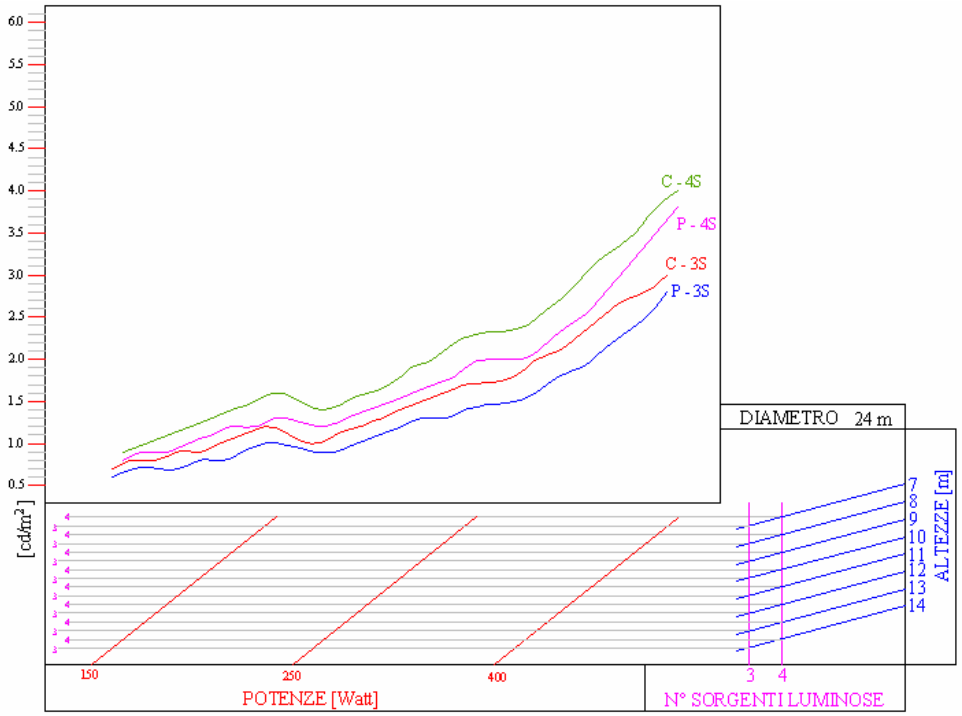


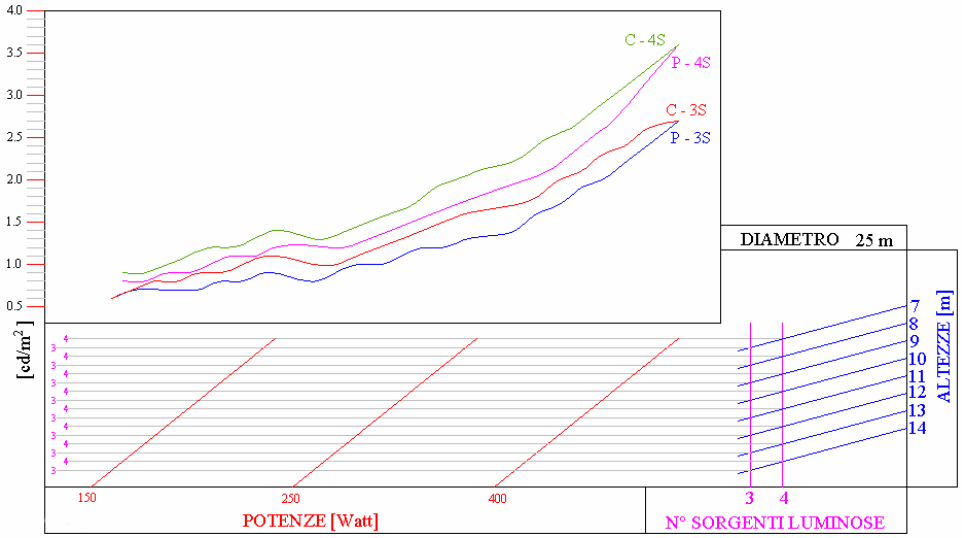


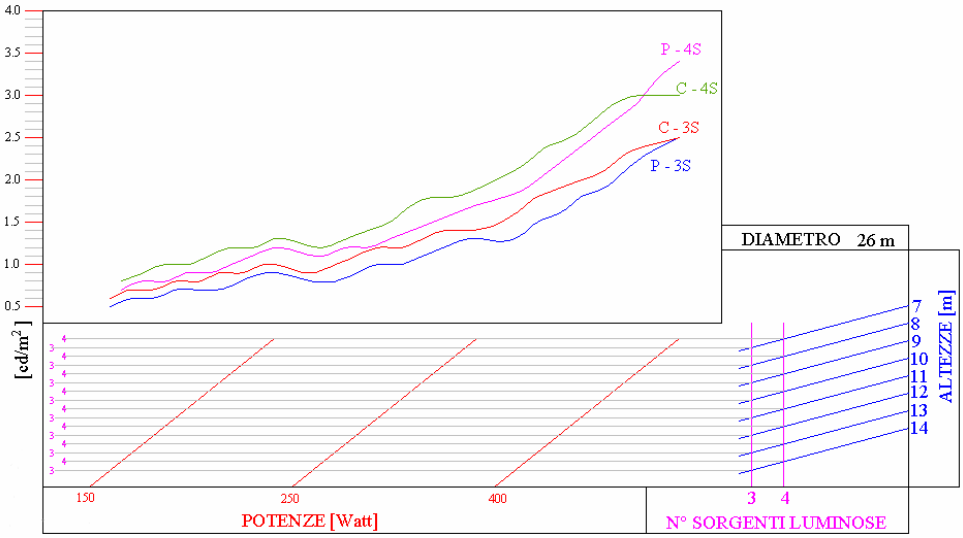


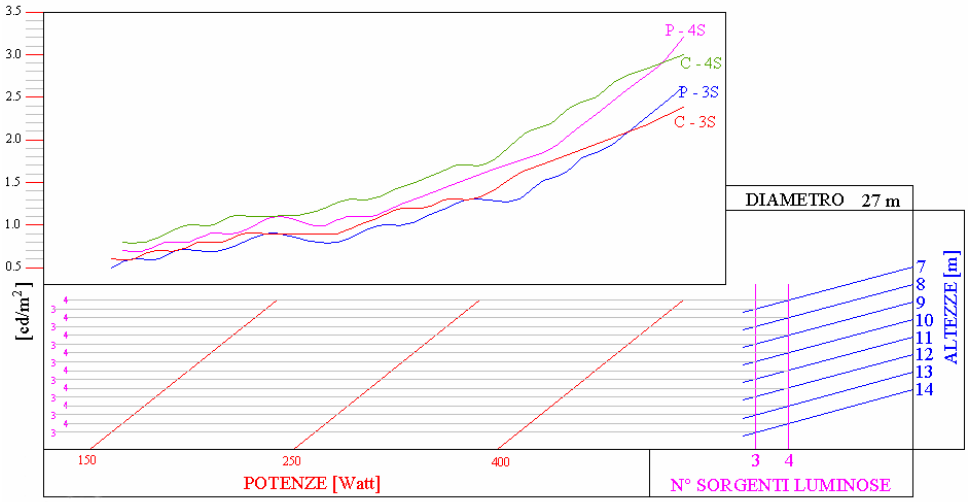

C - 4S
P - 4S
C - 3S
P - 3S
DIAMETRO 22 m
[cd/m²]
ALTEZZE [m]
7
8
9
10
11
12
13
14
150
250
400
POTENZE [Watt]
3
4
N° SORGENTI LUMINOSE

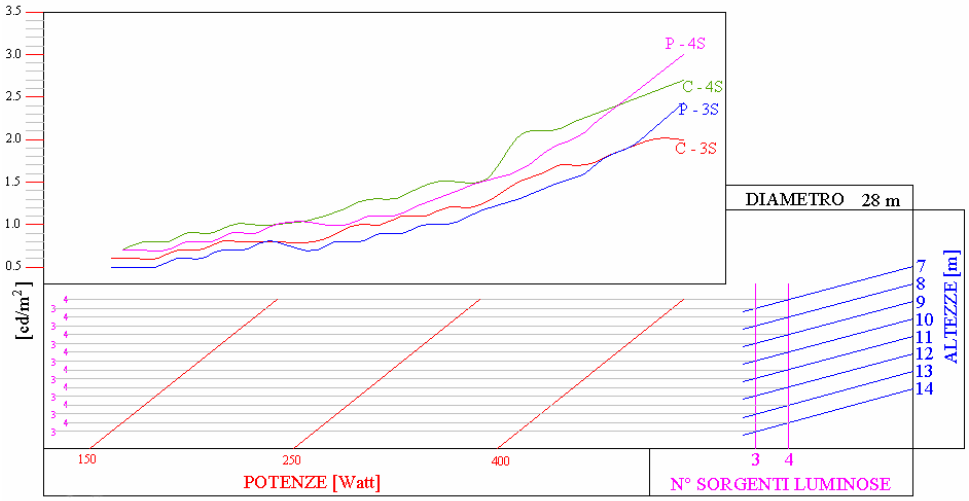

C - 4S
P - 4S
C - 3S
P - 3S
DIAMETRO 23 m
[cd/m²]
ALTEZZE [m]
7
8
9
10
11
12
13
14
150
250
400
POTENZE [Watt]
3
4
N° SORGENTI LUMINOSE

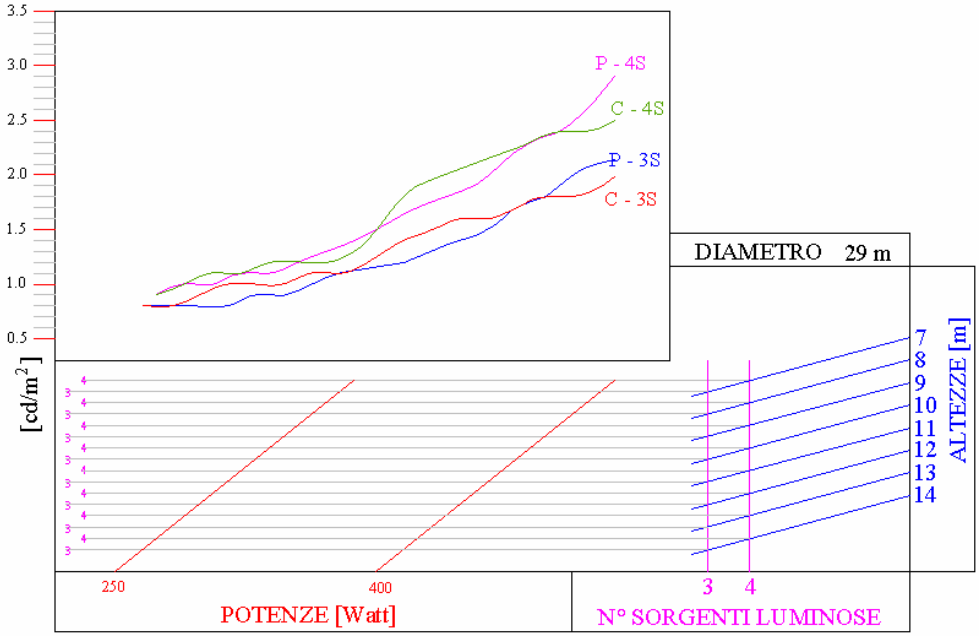

C - 4S
P - 4S
C - 3S
P - 3S
DIAMETRO 24 m
[cd/m²]
ALTEZZE [m]
7
8
9
10
11
12
13
14
150
250
400
POTENZE [Watt]
3
4
N° SORGENTI LUMINOSE

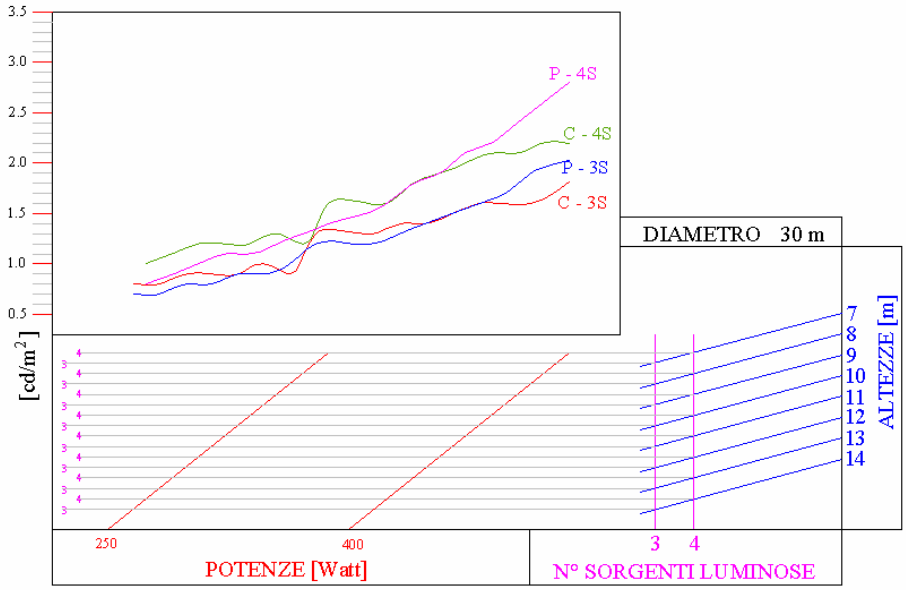

C - 4S
P - 4S
C - 3S
P - 3S
DIAMETRO 25 m
[cd/m²]
ALTEZZE [m]
7
8
9
10
11
12
13
14
150
250
400
POTENZE [Watt]
3
4
N° SORGENTI LUMINOSE

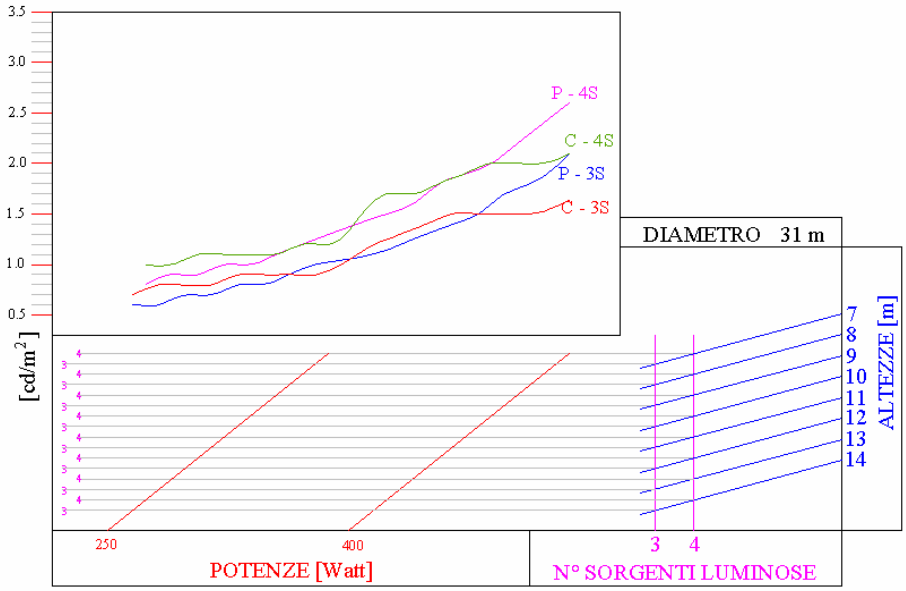

P - 4S
C - 4S
C - 3S
P - 3S
DIAMETRO 26 m
[cd/m²]
ALTEZZE [m]
7
8
9
10
11
12
13
14
150
250
400
POTENZE [Watt]
3
4
N° SORGENTI LUMINOSE

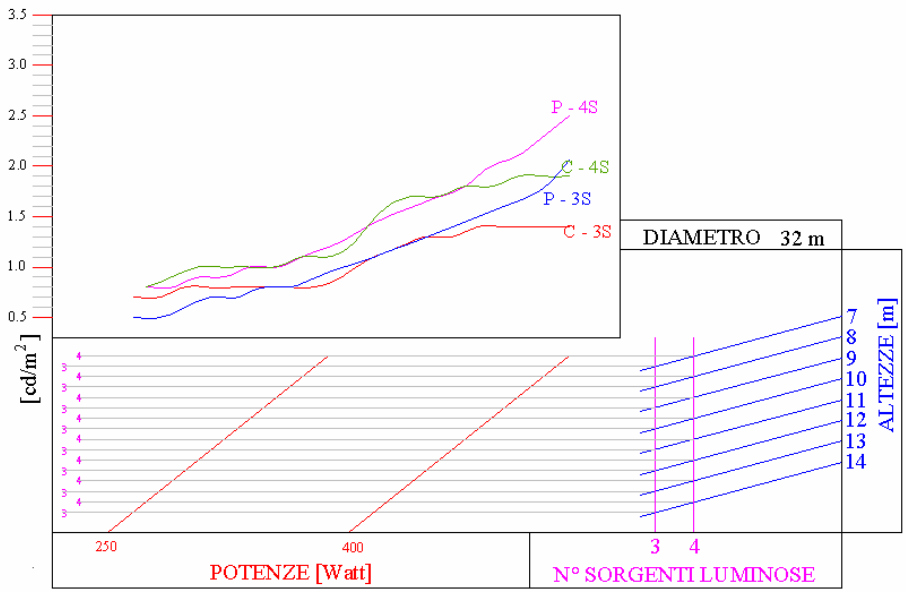

P - 4S
C - 4S
P - 3S
C - 3S
DIAMETRO 27 m
[cd/m²]
ALTEZZE [m]
7
8
9
10
11
12
13
14
150
250
400
POTENZE [Watt]
3
4
N° SORGENTI LUMINOSE

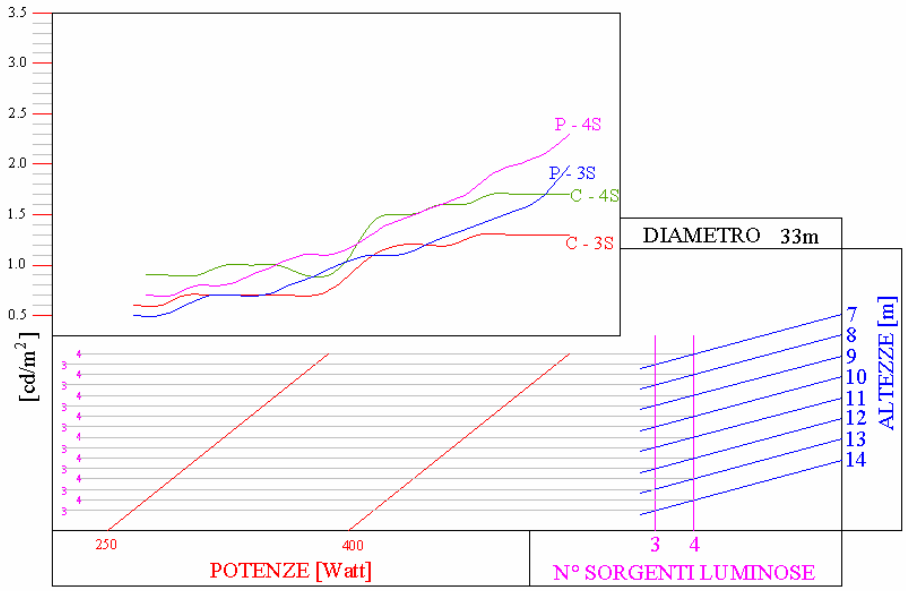

P - 4S
C - 4S
P - 3S
C - 3S
DIAMETRO 28 m
[cd/m²]
ALTEZZE [m]
7
8
9
10
11
12
13
14
150
250
400
POTENZE [Watt]
3
4
N° SORGENTI LUMINOSE

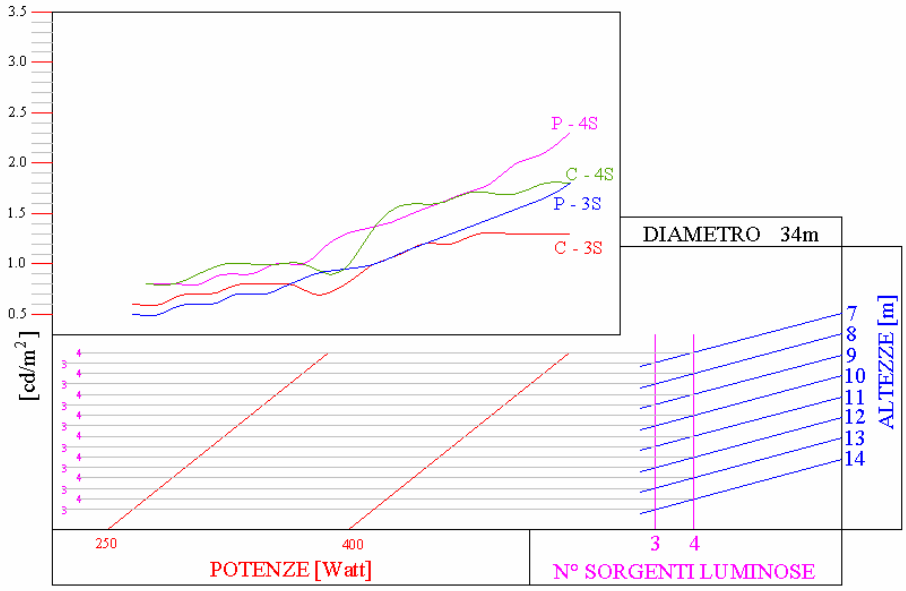

P - 4S
C - 4S
P - 3S
C - 3S
DIAMETRO 29 m
[cd/m²]
ALTEZZE [m]
7
8
9
10
11
12
13
14
250
400
POTENZE [Watt]
3
4
N° SORGENTI LUMINOSE

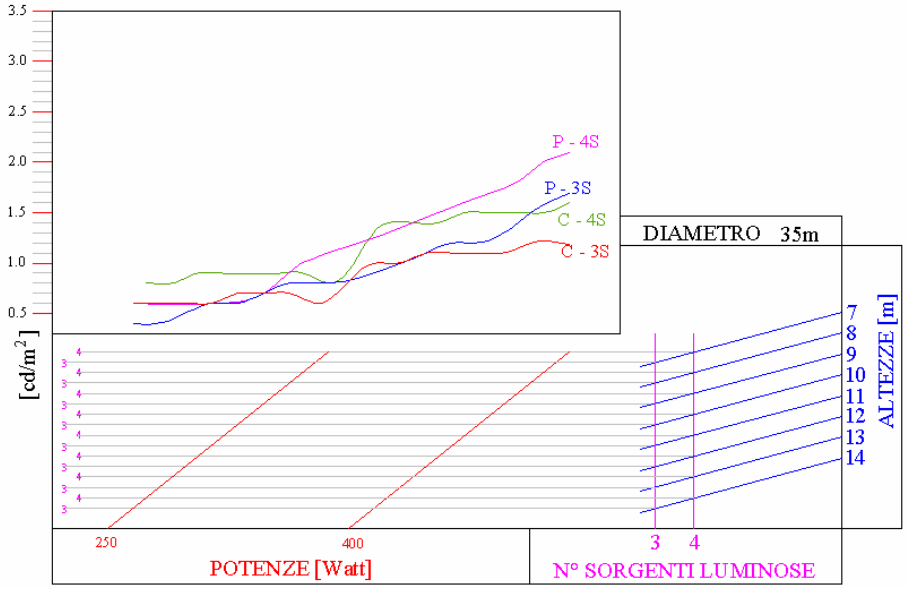

3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
[cd/m²]
P - 4S
C - 4S
P - 3S
C - 3S
DIAMETRO 30 m
7
8
9
10
11
12
13
14
ALTEZZE [m]
250
400
POTENZE [Watt]
3
4
N° SORGENTI LUMINOSE

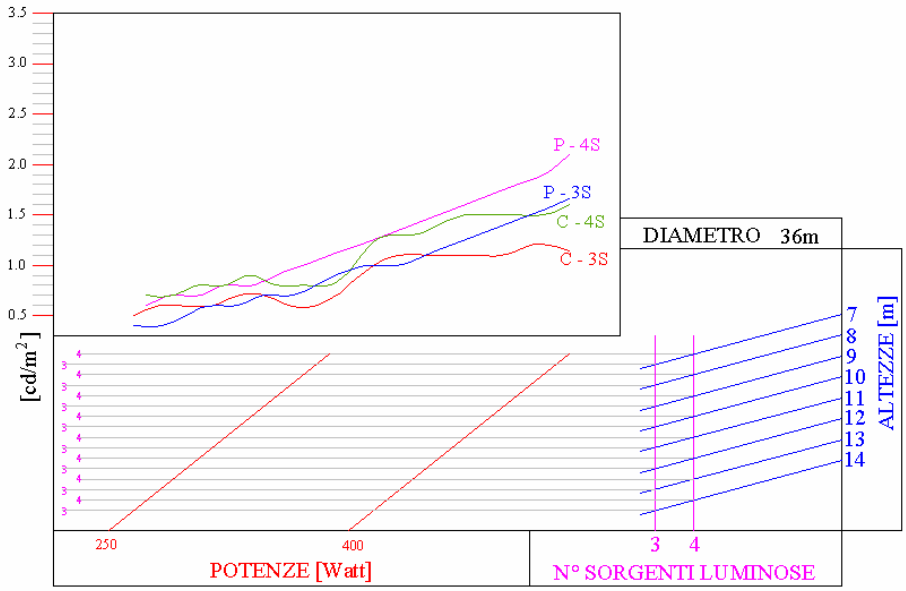

3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
[cd/m²]
P - 4S
C - 4S
P - 3S
C - 3S
DIAMETRO 31 m
7
8
9
10
11
12
13
14
ALTEZZE [m]
250
400
POTENZE [Watt]
3
4
N° SORGENTI LUMINOSE

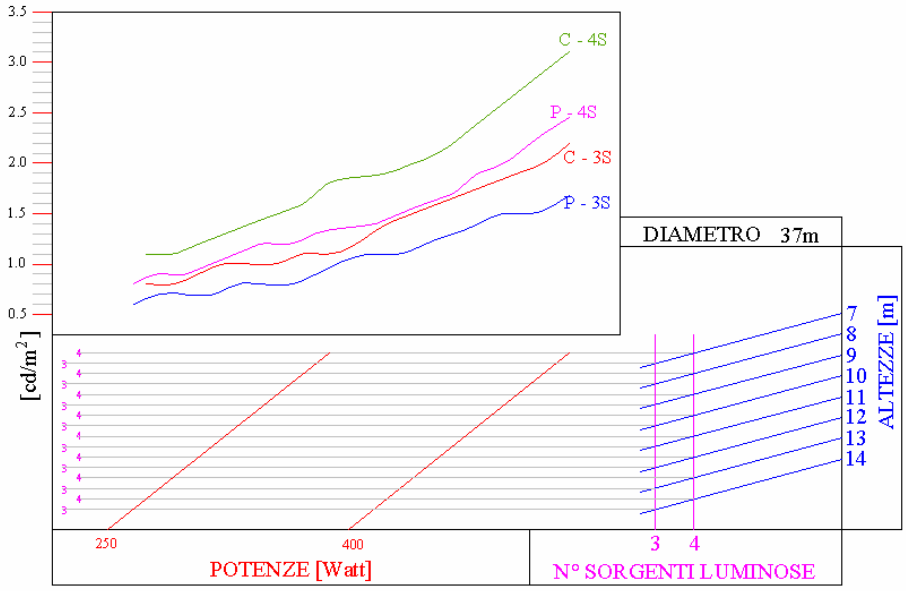

3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
[cd/m²]
P - 4S
C - 4S
P - 3S
C - 3S
DIAMETRO 32 m
7
8
9
10
11
12
13
14
ALTEZZE [m]
250
400
POTENZE [Watt]
3
4
N° SORGENTI LUMINOSE

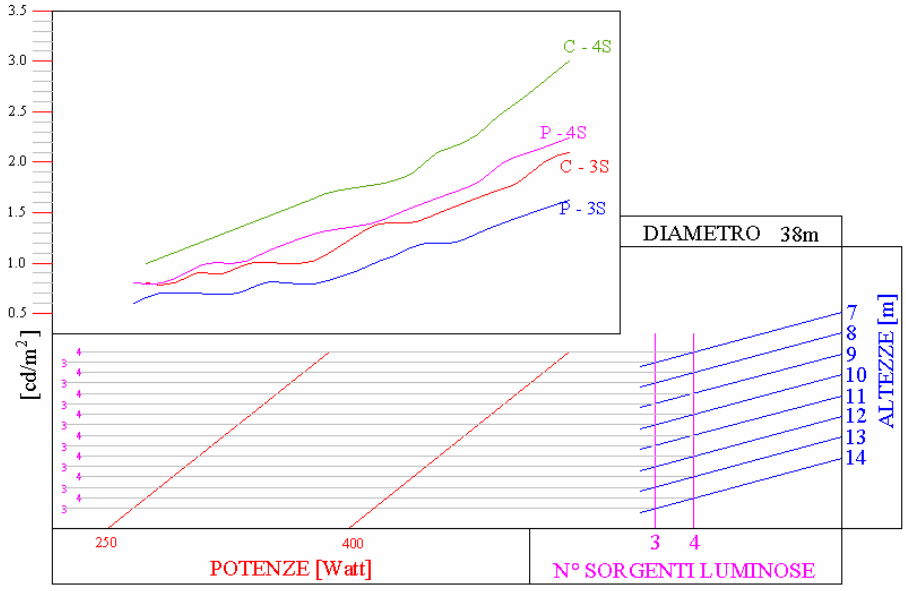

3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
[cd/m²]
P - 4S
P - 3S
C - 4S
C - 3S
DIAMETRO 33m
7
8
9
10
11
12
13
14
ALTEZZE [m]
250
400
POTENZE [Watt]
3
4
N° SORGENTI LUMINOSE


3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
[cd/m²]
P - 4S
C - 4S
P - 3S
C - 3S
DIAMETRO 34m
7
8
9
10
11
12
13
14
ALTEZZE [m]
250
400
POTENZE [Watt]
3
4
N° SORGENTI LUMINOSE


3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
[cd/m²]
P - 4S
P - 3S
C - 4S
C - 3S
DIAMETRO 35m
7
8
9
10
11
12
13
14
ALTEZZE [m]
250
400
POTENZE [Watt]
3
4
N° SORGENTI LUMINOSE


3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
[cd/m²]
P - 4S
P - 3S
C - 4S
C - 3S
DIAMETRO 36m
7
8
9
10
11
12
13
14
ALTEZZE [m]
250
400
POTENZE [Watt]
3
4
N° SORGENTI LUMINOSE


3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
[cd/m²]
C - 4S
P - 4S
C - 3S
P - 3S
DIAMETRO 37m
7
8
9
10
11
12
13
14
ALTEZZE [m]
250
400
POTENZE [Watt]
3
4
N° SORGENTI LUMINOSE


3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
1.0
0.5
[cd/m²]
C - 4S
P - 4S
C - 3S
P - 3S
DIAMETRO 38m
7
8
9
10
11
12
13
14
ALTEZZE [m]
250
400
POTENZE [Watt]
3
4
N° SORGENTI LUMINOSE

Una prima lettura di tali grafici mostra che un impianto centrale con le medesime caratteristiche di un impianto periferico, garantisce, nella maggioranza dei casi, una luminanza maggiore.
Tale situazione non si presenta però per diametri maggiori di 30m con luminanza elevate quali ad esempio 2,0 cd/m^2 ; in tale circostanza un'istallazione centrale non riesce a raggiungere (a parità di potenza nominale) i valori di luminanza raggiunti da un impianto periferico dalle medesime caratteristiche tecnico-elettriche.
La scelta della tipologia di installazione però non può prescindere da altre considerazioni di carattere non solo illuminotecnica : si dovrà tenere presente anche il campo di applicazione della rotatoria (ad es. urbano o extraurbano), l'aspetto economico di installazione e manutenzione dell'impianto e gli aspetti prestazionali dell'impianto stesso sia in termini geometrici, visivi ed estetici come arredo urbano.

6.5.3 Analisi dei costi

I prezzi degli apparecchi,lampade e sostegni sono stati ricavati facendo una media dei prezzi resi noti dai vari costruttori (valori monetari anno 2004):

Altezza Pali [m]	Costo Pali [€]	Potenza Lampade [Watt]	Costo Lampade [€]	Costo Apparecchi [€]	Costo Installazione Periferica [€]		Costo Installazione Centrale [€]	
					3 Sorgenti	4 Sorgenti	3 Sorgenti	4 Sorgenti
7	442,60	150	24,48	286,90	2262	3016	1377	1688
		250	19,89	300,83	2290	3053	1405	1725
		400	20,04	417,30	2640	3520	1755	2192
8	462,23	150	24,48	286,90	2321	3094	1396	1708
		250	19,89	300,83	2349	3132	1424	1745
		400	20,04	417,30	2699	3598	1774	2212
9	494,77	150	24,48	286,90	2418	3225	1429	1740
		250	19,89	300,83	2446	3262	1457	1778
		400	20,04	417,30	2796	3728	1807	2244
10	514,91	150	24,48	286,90	2479	3305	1449	1760
		250	19,89	300,83	2507	3343	1477	1798
		400	20,04	417,30	2857	3809	1827	2264
11	544,12	150	24,48	286,90	2567	3422	1478	1790
		250	19,89	300,83	2595	3459	1506	1827
		400	20,04	417,30	2944	3926	1856	2293
12	576,15	150	24,48	286,90	2663	3550	1510	1822
		250	19,89	300,83	2691	3587	1538	1859
		400	20,04	417,30	3040	4054	1888	2326
13	601,20	150	24,48	286,90	2738	3650	1535	1847
		250	19,89	300,83	2766	3688	1563	1884
		400	20,04	417,30	3116	4154	1913	2351
14	645,14	150	24,48	286,90	2870	3826	1579	1891
		250	19,89	300,83	2898	3863	1607	1928
		400	20,04	417,30	3247	4330	1957	2395
15	670,45	150	24,48	286,90	2945	3927	1605	1916
		250	19,89	300,83	2974	3965	1633	1953
		400	20,04	417,30	3323	4431	1982	2420
16	690,3	150	24,48	286,90	3005	4007	1624	1936
		250	19,89	300,83	3033	4044	1652	1973
		400	20,04	417,30	3383	4511	2002	2440
17	714,54	150	24,48	286,90	3078	4104	1649	1960
		250	19,89	300,83	3106	4141	1677	1997
		400	20,04	417,30	3456	4608	2027	2464
18	743,19	150	24,48	286,90	3164	4218	1677	1989
		250	19,89	300,83	3192	4256	1705	2026
		400	20,04	417,30	3542	4722	2055	2493

Le altre spese di installazione, stesura e cablaggio dei cavi, scavo dei pozzetti, manodopera, accessori vari per l'impianto elettrico non hanno significative variazioni nel campo di dimensioni delle rotatorie considerate, e sono state quindi considerate costanti.
I prezzi sopra riportati, dei vari tipi di impianto, indicano che l'installazione periferica ha un maggiore costo iniziale.

Per un'analisi dei costi si deve però considerare anche l'effetto protratto nel tempo della manutenzione dell'impianto.
Si considera la sola manutenzione ordinaria che consiste nella pulizia degli apparecchi e nella sostituzione delle lampade portate a fine vita.
Il tempo necessario per tale operazione (comprensiva anche del posizionamento dell'operatore col cestello in prossimità dell'apparecchio) viene considerato costante per entrambe le tipologie; l'intervento però, nel complesso, sarà più lungo per un impianto periferico dovendosi spostare da una sorgente luminosa all'altra lungo l'anello della rotatoria.
Anche se tali operazioni di manutenzione vengono effettuate nelle ore di morbida, quando cioè si presentano condizioni di traffico più agevoli, si avranno comunque dei rallentamenti o ritardi del flusso veicolare causati dalla presenza nella rotatoria dei veicoli adibiti alla manutenzione stessa.
Questi ultimi influiscono in modo diverso sulla circolazione in rotatoria :

- nell'impianto periferico ci si posiziona in prossimità del perimetro esterno della rotatoria, sormontando in alcuni casi il marciapiede o, se possibile, in spazi esterni. Considerando che la traiettoria dei veicoli generalmente tende a rimanere tangente l'isola centrale, tale posizione di manutenzione non rallenta molto il flusso veicolare.

- in un impianto centrale si parcheggia a ridosso dell'isola, occupando quindi anche parte dell'anello della rotatoria. Tale posizione, proprio per le traiettorie dei veicoli, rallenta in modo significativo il flusso veicolare.

I rallentamenti incidono su quello che si può definire un ***costo sociale***, monetizzabile ipotizzando un valore monetario ai minuti spesi dall'utenza durante le operazioni di manutenzione.

Si può dunque definire un costo di manutenzione come :

$$C_m = n \cdot T_1 \cdot S \cdot C_s$$

dove :

C_m = Costo di manutenzione ordinaria [€/anno]

n = numero di interventi in un anno [1/anno]

T_1 = Tempo necessario per l'intervento [min]

S = Spesa al minuto del personale ed attrezzature [€/min]

Si valuta il tempo T_1 come :

$$T_1 = n_l \cdot t_o + (n_l - 1) \cdot t_{trasf}$$

dove n_l rappresenta il numero di lampade, t_o il tempo di pulizia di un apparecchio e sostituzione della lampada (costante), t_{trasf} il tempo necessario all'operatore per spostarsi da una sorgente luminosa alla successiva (come detto sarà maggiore nell'installazione periferica).

Per il costo sociale si ipotizza un calcolo del tipo :

$$C_s = t_{rit} \cdot V_{mon} \cdot n_{veic}$$

indicando con :

t_{rit} = frazione di T_1 che incide sul ritardo dei veicoli; tale frazione, per i motivi detti in precedenza sarà diversa per le due tipologie di impianto.

V_{mon} = Valore monetario di un minuto di ritardo per veicolo

n_{veic} = numero di veicoli che subiscono rallentamenti durante il tempo T_1. Si ottiene dalle indagini di traffico, nel momento di "morbida".

Il costo, nel tempo, sarà dato da :

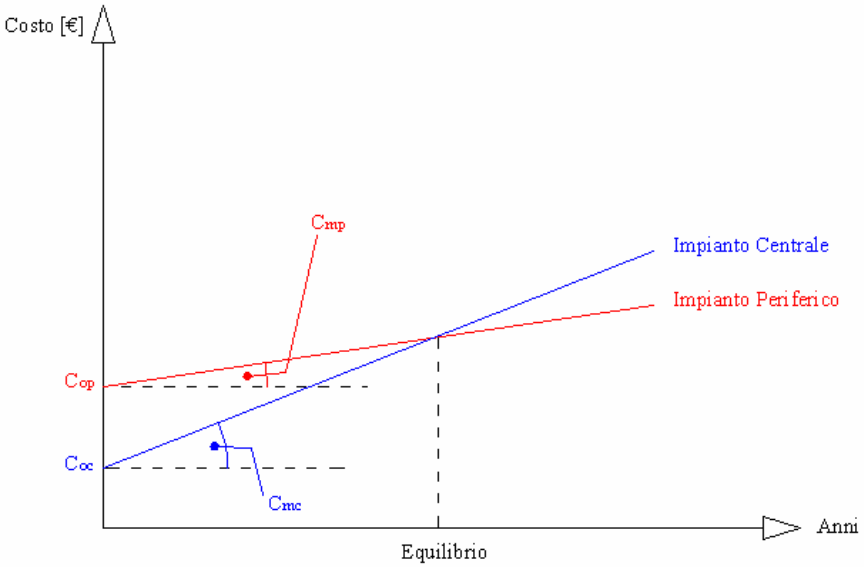
$$C = C_o + n \cdot C_m$$

con :

n = anni

C_o = Costo iniziale

In questo modo si potrà valutare l'influenza nel tempo della manutenzione delle due tipologie di impianto.
L'equazione del costo rappresenta una retta e calcolandolo sia per l'impianto di tipo centrale sia di tipo periferico, nel piano cartesiano si ha un andamento del tipo :



Il costo di manutenzione rappresenta dunque il loro coefficiente angolare, e il punto di intersezione indica la situazione di equilibrio dei due impianti in termini di costo/anno, oltre e prima del quale è preferibile un'installazione piuttosto dell'altra; è quindi il numero di anni necessario per ammortizzare la spesa iniziale di ciascun impianto.

Esempio – Rotatoria in campo urbano, diametro esterno 30m

Come evidenziato nei successivi paragrafi, per una rotatoria i ambito urbano, di diametro esterno pari a 30m, si può optare per un impianto periferico con 4 sorgenti luminose da 250 Watt ciascuna, disposte ad un'altezza di 11m, o un impianto centrale di pari potenza e numero di sorgenti, ma posizionate ad un'altezza di 12m.
Dal precedente prospetto dei prezzi si ha, indicativamente (valori monetari anno 2004) :

C_{oc} = 1827 costo iniziale materiali per l'impianto centrale

C_{op} = 3459 costo iniziale materiali per l'impianto centrale

Il numero di interventi in anno sarà dato da rapporto tra le ore di funzionamento della lampada e quelle della durata della sua vita (fornita dal produttore e pari a 6000 ore); le ore di funzionamento sono quelle notturne, valutate pari a :

Ore annue notturne prima di mezzanotte = 2007

Ore annue notturne dopo la mezzanotte = 2130

per un totale di 4197 ore annue. Si avranno così circa 7 interventi ogni 10 anni (4197/6000 = 0.7 interventi in un anno).
Si ipotizza un tempo t_o di circa 10 minuti per entrambe le tipologie, mentre adottiamo t_{trasf} pari a 5 minuti per l'impianto centrale e di 15 minuti per quello periferico.
Con tali valori, utilizzando la formula precedente per il calcolo di T_1 si ottiene :

T_{1C} = 58 min per il centrale

T_{1P} = 79 min per il periferico.

I rispettivi tempi di ritardo t_{rit} si pongono uguale ai 3/4 di T_{1C} per il centrale e ai 2/5 di T_{1P} per il periferico, ottenendo :

t_{ritC} = 43.5 minuti

t_{ritP} = 31.6 minuti

Il numero di veicoli interessati viene preso uguale a 500, mentre il valore monetario di attesa si considera sia di 0.05 € /minuti /veicoli, quindi (V_{mon} = 0.05 n_{veic} = 500) :

C_{sc} = 1087.5 Centrale

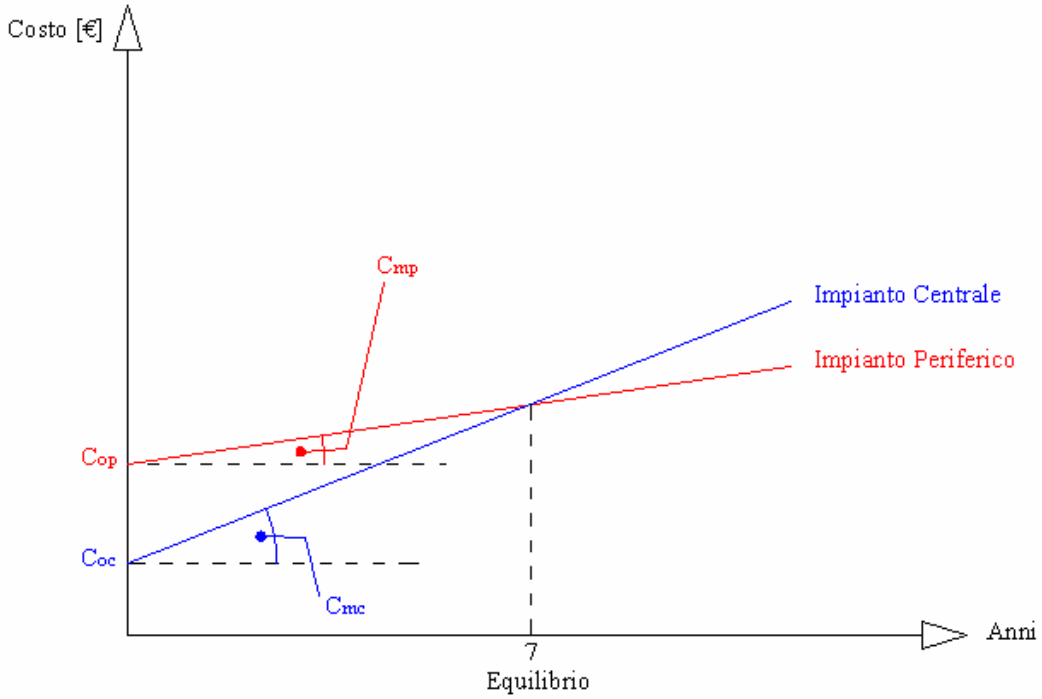
C_{sp} = 790 Periferico

Considerando una spesa al minuto del personale ed attrezzature pari a 0.5 €/minuto si ottiene un costo di manutenzione in 10 anni:

C_{mc} = 22076 € per il centrale

C_{mp} = 21843 € per il periferico

Riportandoci su un piano Costi / Anni si osserva che si ha equilibrio dopo 7 anni :



In base quindi alla vita utile prevista e voluta dell'intero impianto si terrà conto del costo di manutenzione per indirizzarci su una tipologia di impianto.

6.5.4 Minirotatorie D = 20m – 24m

Come accennato nei paragrafi precedenti, non si è potuto prescindere dal fatto di potersi trovare in ambito urbano o extraurbano.
In area urbana vengono generalmente progettate rotatorie con raggio esterno massimo di 12m, con isola centrale sormontabile.
Queste vengono classificate come *minirotatorie*, installate solo in area urbana, con limite di velocità di 50 Km/h, dove si ha una percentuale di mezzi pesanti ridotta (max 5%); nella loro realizzazione si dovrà prevedere un'isola centrale **visibile**, utilizzando vernice bianca retroriflettente e una marcatura perimetrale discontinua.
In tale ambito la rotatoria si inserisce sia come intersezione a raso sia come arredo urbano, il cui scopo è si di facilitare i cambi di direzione e limitare la velocità dei veicoli ma anche di valorizzare l'ambiente in cui viene installata.
Quindi non è richiesta una eccessiva illuminazione della superficie stradale ed è preferibile un impianto di illuminazione periferico che lasci libera l'area centrale per eventuali arredi urbani estetici e permettendo un'eventuale utilizzo di tale impianto anche per un percorso pedonale esterno alla rotatoria stessa, e hanno, come mostrato nel paragrafo precedente vantaggi di manutenzione.
Le piccole dimensioni della rotatoria, inoltre, suggeriscono che lasciando libera l'area centrale si facilita l'eventuale transito di mezzi pesanti.

Da un punto di vista illuminotecnico, seguendo le indicazioni della norma UNI 10439 (Tabelle 4-1 e 4-2) e quelle della normativa CIE 115/95 (Tabelle 5-1,5-2,5-3 e 5-4) si può considerare una luminanza minima pari a 1 cd/m^2 ,un'uniformità di luminanza Uo pari a 0.4 e classificando queste intersezioni di classe C_3 , un illuminamento medio compreso tra i 15lx e i 20lx .

Vengono qui riportate le soluzioni possibili per diametri compresi tra i 20m e 24m :

Diametro [m]	Tipologia Impianto	Potenza [Watt]	Numero Sorgenti Luminose	H [m]	Uo	Lm [cd/m^2]	E [lx]
20	P	150	3	10	0,45	1,1	26
20	P	150	4	13	0,6	1,1	26
21	P	150	3	10	0,4	1,0	24
21	P	150	4	12	0,55	1,1	28
22	P	150	3	9	0,4	1,0	23
22	P	150	4	12	0,55	1,1	27
23	P	250	3	12	0,45	1,1	28
23	P	150	4	11	0,55	1,1	26
24	P	250	3	11	0,45	1,1	27

Da un punto di vista economico, come visto nei precedenti paragrafi, è preferibile aumentare la potenza dell'impianto e quindi i Watt di ogni singola lampada, prima di passare ad un numero maggiore di sorgenti luminose.

Ciò porta a scegliere, per questo tipo di rotatorie, le seguenti configurazioni :

Diametro [m]	Tipologia Impianto	Potenza [Watt]	Numero Sorgenti Luminose	H [m]	Uo	Lm [cd/m^2]	E [lx]
20	P	150	3	10	0,45	1,1	26
21	P	150	3	10	0,40	1,0	24
22	P	150	3	9	0,40	1,0	23
23	P	250	3	12	0,45	1,1	28
24	P	250	3	11	0,45	1,1	27

La disposizione dei centri luminosi dovrà essere tale che da “coprire” l’intera superficie stradale.
Le sorgenti luminose si dovranno trovare sul perimetro esterno della rotatoria; i pali quindi avranno uno sbraccio tale da favorire questa sistemazione senza essere di ostacolo ad eventuali marciapiedi o percorsi pedonali esterni la rotatoria.
Utilizzando apparecchi che presentano elevate intensità luminose ad angoli intorno ai 65° - 73°, la superficie stradale risulta completamente illuminata.

Gli apparecchi inoltre andranno posizionati favorendo la migliore visibilità in prossimità delle entrate, saranno quindi installati alla destra delle corsie di entrata, facendo attenzione a non creare zone d’ombra proprio in prossimità di queste (Figura 6-9).

Figura 6 -9 – Prospettiva - Posizione della sorgente luminosa

6.5.5 Rotatorie Compatte con isola centrale semisormontabile D = 25m – 30m

Il campo di applicazione di tali rotatorie può essere sia urbano che extraurbano.
Nel primo caso si dovranno rispettare i parametri già trattati per le minirotaorie (luminanza minima pari a 1 cd/m^2, uniformità di luminanza Uo pari a 0,4 e illuminamento medio compreso tra i 15lx e i 20lx).
Nel caso di ambito extraurbano la luminanza minimima dovrà essere 1,5 cd/m^2 , l'uniformità di luminanza da garantire è ancora 0,4 mentre l'intersezione viene classificata di classe C_1- C_2 , comportando un illuminamento medio compreso tra i 20lx e i 30lx.

Campo Urbano

Si riportano le possibili soluzioni con luminanza media di 1,0 / 1,1 cd/m^2 :

Diametro [m]	Tipologia Impianto	Potenza [Watt]	Numero Sorgenti Luminose	H [m]	Uo	Lm [cd/m^2]	E [lx]
25	P	250	3	11	0,40	1,0	25
25	P	150	4	10	0,40	1,0	23
25	C	250	3	12	0,45	1,1	31
25	C	150	4	11	0,45	1,1	29
26	P	250	3	10	0,40	1,0	24
26	P	150	4	9	0,40	1,0	23
26	C	250	3	12	0,40	1,1	29
26	C	150	4	11	0,40	1,0	28
27	P	250	4	12	0,55	1,1	28
27	C	250	3	12	0,40	1,0	27
27	C	250	4	15	0,60	1,1	31
28	P	250	4	11	0,45	1,1	27
28	C	250	3	12	0,40	1,0	26
28	C	400	3	18	0,60	1,1	33
28	C	150	4	9	0,40	1,0	26
28	C	250	4	14	0,55	1,1	31
29	P	400	3	15	0,55	1,1	29
29	P	250	4	10	0,45	1,1	27
29	C	400	3	18	0,55	1,1	31
29	C	250	4	13	0,50	1,1	31
30	P	250	4	11	0,45	1,1	25
30	C	400	3	17	0,55	1,1	31
30	C	250	4	12	0,50	1,1	30

Si osserva che dal diametro di 28m iniziano a presentarsi soluzioni con lampade da 400 Watt, che nel caso dei diametri 29m e 30m risultano essere le soluzioni ottimali.
Per i diametri di 25m e 26m, le tipologie di impianto presentano simili caratteristiche illuminotecniche : con una installazione centrale si ottengono valori più alti di illuminamento di 4 ÷ 6 lx e una luminanza minima maggiore del 10%.
La soluzione centrale è più economica in quanto si ha risparmio sul numero di sostegni.
Per diametri maggiori si osserva che, oltre al numero di sostegni, una illuminazione periferica richiede anche potenze maggiori.

Seguendo quindi le indicazioni dei primi paragrafi si hanno le seguenti configurazioni di impianti :

Diametro [m]	Tipologia Impianto	Potenza [Watt]	Numero Sorgenti Luminose	H [m]	Uo	Lm [cd/m^2]	E [lx]
25	C	250	3	12	0,45	1,1	31
26	C	250	3	12	0,40	1,1	29
27	C	250	3	12	0,40	1,0	27
28	C	250	3	12	0,40	1,0	26
29	C	250	4	13	0,50	1,1	31
30	C	250	4	12	0,45	1,1	30

Si visualizza di seguito una ricostruzione di un impianto di illuminazione centrale installato su una rotatoria di diametro esterno di 28m in campo urbano.

Figura 6 -10 – Vista Prospettica – Campo Urbano, installazione centrale con 3 sorgenti.

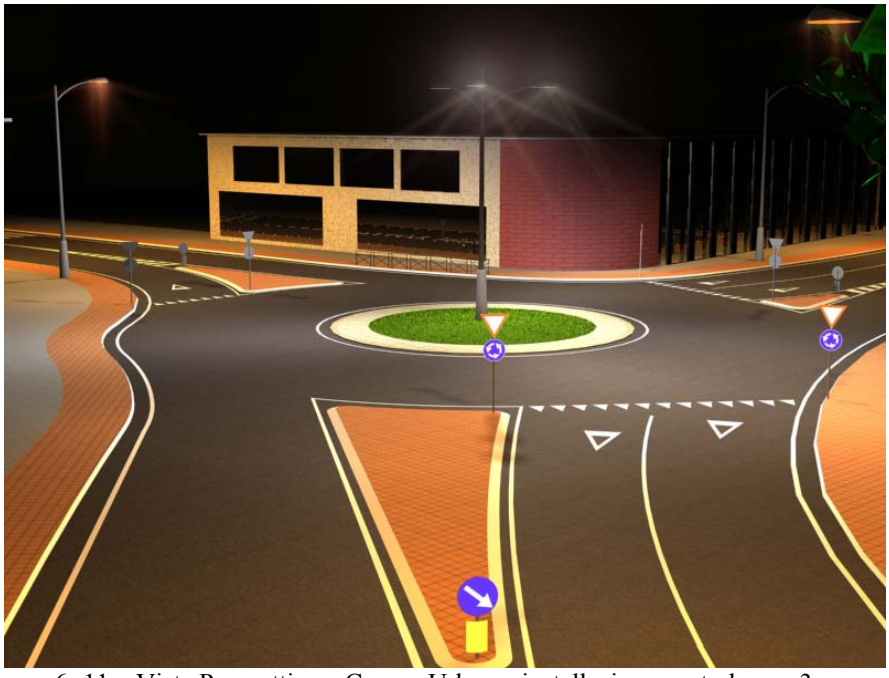


Figura 6 -11 – Vista Prospettica – Campo Urbano, installazione centrale con 3 sorgenti.

Campo Extraurbano

Si riportano le possibili soluzioni con luminanza media di 1,5 / 1,6 cd/m^2 :

Diametro [m]	Tipologia Impianto	Potenza [Watt]	Numero Sorgenti Luminose	H [m]	Uo	Lm [cd/m^2]	E [lx]
25	P	400	3	13	0,5	1,6	40
25	P	250	4	10	0,4	1,5	34
25	C	250	4	12	0,47	1,5	41
26	P	400	3	13	0,5	1,5	38
26	P	250	4	9	0,4	1,5	34
26	C	250	4	11	0,4	1,5	42
27	P	400	3	12	0,4	1,6	38
27	C	400	4	15	0,45	1,5	42
27	C	250	4	10	0,4	1,5	40
28	P	400	3	12	0,47	1,5	37
28	C	400	3	14	0,47	1,5	41
29	P	400	3	11	0,47	1,5	37
29	C	400	3	13	0,47	1,5	40
30	P	400	3	11	0,4	1,5	35
30	P	400	4	15	0,67	1,5	38
30	C	400	3	11	0,4	1,5	39
30	C	400	4	15	0,67	1,5	45

Si sottolinea che a parità di Uniformità di luminanza e di potenza impiegata, l'impianto periferico richiede altezze delle sorgenti luminose più basse e presentano un illuminamento inferiore rispetto ad una illuminazione centrale.
Come specificato nella UNI 10439 l'angolo di visuale da prendere in considerazione per l'abbagliamento fisiologico è pari a 20°gradi : altezze minori delle sorgenti aumentano la possibilità che la sorgente stessa rientri in tale campo visivo anche in prossimità della rotatoria, elevando il rischio di abbagliamento.

Quindi, seguendo ancora una linea economica e considerando quanto appena detto, l'installazione centrale risulta anche in questo caso la più idonea :

Diametro [m]	Tipologia Impianto	Potenza [Watt]	Numero Sorgenti Luminose	H [m]	Uo	Lm [cd/m^2]	E [lx]
25	C	250	4	12	0,47	1,5	41
26	C	250	4	11	0,40	1,5	42
27	C	250	4	10	0,40	1,5	40
28	C	400	3	14	0,47	1,5	41
29	C	400	3	13	0,47	1,5	40
30	C	400	3	11	0,40	1,5	39

6.5.6 Rotatorie Compatte con isola centrale non sormontabile D = 31m – 38m

Considerando un installazione in zona extraurbana, osservando le stesse normative dei casi precedenti, l'intersezione viene ancora classificata di classe C_1- C_2; si cercano dunque soluzioni che garantiscano una luminanza di 1,5 cd/m^2, una uniformità di 0,4 e un illuminamento medio compreso tra i 20lx e i 30lx.
Come fatto precedentemente si riportano le possibili soluzioni :

Diametro [m]	Tipologia Impianto	Potenza [Watt]	Numero Sorgenti Luminose	H [m]	Uo	Lm [cd/m^2]	E [lx]
31	P	400	3	10	0,50	1,5	36
31	P	400	4	14	0,67	1,5	38
31	C	400	3	11	0,40	1,5	37
31	C	400	4	16	0,67	1,5	42
32	P	400	4	14	0,60	1,5	36
32	C	400	4	14	0,63	1,6	43
32	C	400	4	15	0,67	1,5	41
33	P	400	4	13	0,60	1,5	36
33	C	400	4	13	0,60	1,5	41
34	P	400	4	13	0,53	1,5	35
34	C	400	4	13	0,56	1,6	41
35	P	400	4	12	0,53	1,5	35
35	C	400	4	da 7 a 11	da 0,47 a 0,53	1,5	da 33 a 37
36	P	400	4	12	0,47	1,5	34
36	C	400	4	da 7 a 11	da 0,4 a 0,54	1,5	da 32 a 36
37	P	400	4	13	0,47	1,5	32
37	C	400	4	17	0,47	1,5	42
38	P	400	4	12	0,47	1,5	32
38	C	400	4	17	0,47	1,5	41

Valgono anche in questo caso le considerazioni fatte per le rotatorie di diametro compreso tra i 25m e i 30m ; si osserva infatti che un impianto periferico necessita di altezze minori per avere la medesima luminanza media.
Le installazioni ottimali risultano :

Diametro [m]	Tipologia Impianto	Potenza [Watt]	Numero Sorgenti Luminose	H [m]	Uo	Lm [cd/m^2]	E [lx]
31	C	400	3	11	0,40	1,5	37
32	C	400	4	14	0,63	1,6	43
33	C	400	4	12	0,60	1,6	41
34	C	400	4	12	0,56	1,6	41
35	C	400	4	11	0,53	1,5	37
36	C	400	4	11	0,53	1,5	36
37	P	400	4	13	0,47	1,5	32
38	P	400	4	12	0,47	1,5	32

6.6 INSTALLAZIONI PER LUMINANZE E ILLUMINAMENTI MAGGIORI

Seguendo la suddivisione effettuata nelle UNI 10439, si possono presentare casi in cui sia necessaria un'illuminazione maggiore, sia in ambito urbano che extraurbano, data l'importanza delle strade affluenti la rotatoria e quindi della rotatoria stessa.
Si possono quindi prevedere impianti con potenze maggiori, seguendo le linee delineate nei paragrafi precedenti.
Secondo la classificazione fatta precedentemente per le rotatorie, e adottando come parametro qualitativo il valore della Luminanza media sulla superficie stradale, si studiano installazioni che garantiscono una luminanza pari a 1,5 ÷ 2,0 cd/m^2 anche per le minirotatorie e installazioni con luminanza pari a 2,0 cd/m^2 per le rotatorie compatte con isola centrale semisormontabile e non sormontabile.

Minirotatorie con 1,5 cd/m^2

Con le medesime osservazioni fatte nel paragrafo 6.5.4, si opterà per impianti di tipo periferico, il cui numero di sorgenti potrà essere scelto in funzione del numero idi bracci affluenti.
Di seguito si riportano le soluzioni con impianti di tipo periferico e centrale, estrapolate dall'allegato C.

Diametro [m]	Tipologia Impianto	Potenza [Watt]	Numero Sorgenti Luminose	H [m]	Uo	Lm [cd/m^2]	E [lx]
20	P	250	3	11	0,47	1,5	36
	P	150	4	9,5	0,44	1,5	36
	P	250	4	14	0,67	1,5	39
	C	250	3	12	0,47	1,5	43
	C	150	4	11	0,53	1,5	41
	C	250	4	15	0,70	1,5	46
21	P	250	3	10	0,40	1,5	35
	P	150	4	8	0,40	1,5	35
	P	250	4	13,5	0,60	1,5	25
	C	250	3	11	0,40	1,5	43
	C	150	4	9,5	0,41	1,5	41
	C	250	4	15	0,64	1,5	45
22	P	250	3	9	0,40	1,5	35
	P	150	4	8	0,40	1,5	33
	P	250	4	13	0,60	1,5	37
	C	250	3	11	0,40	1,5	41
	C	150	4	9,5	0,40	1,5	41
	C	250	4	14	0,56	1,5	43
23	P	250	4	12	0,53	1,5	37
	C	250	4	13,5	0,58	1,5	42
24	P	400	3	14	0,60	1,5	39
	P	250	4	11	0,47	1,5	36
	C	250	4	13	0,53	1,5	41

Si ipotizzano quindi come ottimali le installazioni :

Diametro [m]	Tipologia Impianto	Potenza [Watt]	Numero Sorgenti Luminose	H [m]	Uo	Lm [cd/m^2]	E [lx]
20	P	250	3	11	0,47	1,5	36
	P	150	4	9,5	0,44	1,5	36
21	P	250	3	10	0,40	1,5	35
	P	150	4	8	0,40	1,5	35
22	P	250	3	9	0,40	1,5	35
	P	150	4	8	0,40	1,5	33
23	P	250	4	12	0,53	1,5	37
24	P	400	3	14	0,60	1,5	39
	P	250	4	11	0,47	1,5	36

Minirotatorie con 2,0 cd/m^2

Diametro [m]	Tipologia Impianto	Potenza [Watt]	Numero Sorgenti Luminose	H [m]	Uo	Lm [cd/m^2]	E [lx]
20	P	400	3	14	0,50	2,0	50
	P	250	4	11	0,55	2,0	48
	C	250	4	12	0,60	2,0	57
21	P	400	3	12	0,55	2,0	52
	P	250	4	10	0,45	2,0	47
	C	250	4	10,5	0,46	2,0	60
22	P	400	3	12	0,50	2,0	50
	P	250	4	9	0,45	2,0	46
	C	400	3	14	0,50	2,0	58
	C	250	4	11	0,50	2,0	55
23	P	400	3	11	0,45	2,0	50
	C	400	3	13,5	0,50	2,0	57
	C	250	4	10	0,40	2,0	56
24	P	400	3	10,5	0,47	2,0	49
	P	400	4	14	0,70	2,0	52
	C	400	3	13	0,45	2,0	55

Anche in questo caso, preferendo un'istallazione di tipo periferico si considerano adeguati gli impianti caratterizzati da :

Diametro [m]	Tipologia Impianto	Potenza [Watt]	Numero Sorgenti Luminose	H [m]	Uo	Lm [cd/m^2]	E [lx]
20	P	400	3	14	0,50	2,0	50
	P	250	4	11	0,55	2,0	48
21	P	400	3	12	0,55	2,0	52
	P	250	4	10	0,45	2,0	47
22	P	400	3	12	0,50	2,0	50
	P	250	4	9	0,45	2,0	46
23	P	400	3	11	0,45	2,0	50
	C	400	3	13,5	0,50	2,0	57
24	P	400	3	10,5	0,47	2,0	49
	P	400	4	14	0,70	2,0	52

Rotatorie Compatte con isola centrale semisormontabile con 2,0 cd/m^2

Diametro [m]	Tipologia Impianto	Potenza [Watt]	Numero Sorgenti Luminose	H [m]	Uo	Lm [cd/m^2]	E [lx]
25	P	400	3	10	0,45	2,0	48
	P	400	4	14	0,65	2,0	49
	C	400	3	12	0,55	2,0	55
26	P	400	3	9,5	0,41	2,0	47
	P	400	4	13,5	0,60	2,0	51
	C	400	3	11	0,40	2,0	54
27	P	400	4	12,5	0,62	2,0	49
	C	400	3	10	0,40	2,0	52
	C	400	4	15	0,60	2,0	56
28	P	400	4	12	0,60	2,0	48
	C	400	4	15	0,62	2,0	55
29	P	400	4	11,5	0,57	2,0	47
	C	400	4	13	0,60	2,0	54
30	P	400	3	11,5	0,52	2,0	46
	C	400	4	11	0,55	2,0	52

In accordo con le considerazioni fatte nei precedenti paragrafi , le scelte migliori risultano :

Diametro [m]	Tipologia Impianto	Potenza [Watt]	Numero Sorgenti Luminose	H [m]	Uo	Lm [cd/m^2]	E [lx]
25	C	400	3	12	0,55	2,0	55
26	C	400	3	11	0,40	2,0	54
27	C	400	4	15	0,60	2,0	56
28	C	400	4	15	0,62	2,0	55
29	C	400	4	13	0,60	2,0	54
30	P	400	3	11,5	0,52	2,0	46
	C	400	4	11	0,55	2,0	52

Rotatorie Compatte con isola centrale non sormontabile con 2,0 cd/m^2

Diametro [m]	Tipologia Impianto	Potenza [Watt]	Numero Sorgenti Luminose	H [m]	Uo	Lm [cd/m^2]	E [lx]
31	P	400	4	10	0,50	2,0	47
	C	400	4	8 – 10	0,50-0,55	2,0	49-50
32	P	400	4	10	0,45	2,0	45
33	P	400	4	9	0,40	2,0	45

Per diametri maggiori ai 33m occorrono potenze maggiori dei 400 Watt nominali utilizzati in questo studio.
Si osserva che con le potenze utilizzate, oltre i 30m di diametro esterno, l'impianto centrale non è più in grado di fornire valori dei parametri illuminotecnici conformi alle normative.
Dunque, non passando a potenze maggiori, quali ad esempio 600 Watt, l'impianto periferico si configura come la scelta migliore. Ciò era già stato messo in evidenza con i grafici del paragrafo 6.5.2

6.7 RIEPILOGO

I risultati ottenuti per ciascun tipo di rotatoria, nei paragrafi precedenti, si riportano in un grafico Diametri – Prestazioni/Costi.
Per quanto riguarda i costi si intende sia i costi iniziali di installazione, sia quelli di esercizio e manutenzione.
Per prestazioni dell'impianto si intendono qualità dell'impianto da un punto di vista Illuminotecnico quali :

- Luminanza media della superficie stradale,
- Uniformità di Luminanza,
- Illuminamento della superficie;

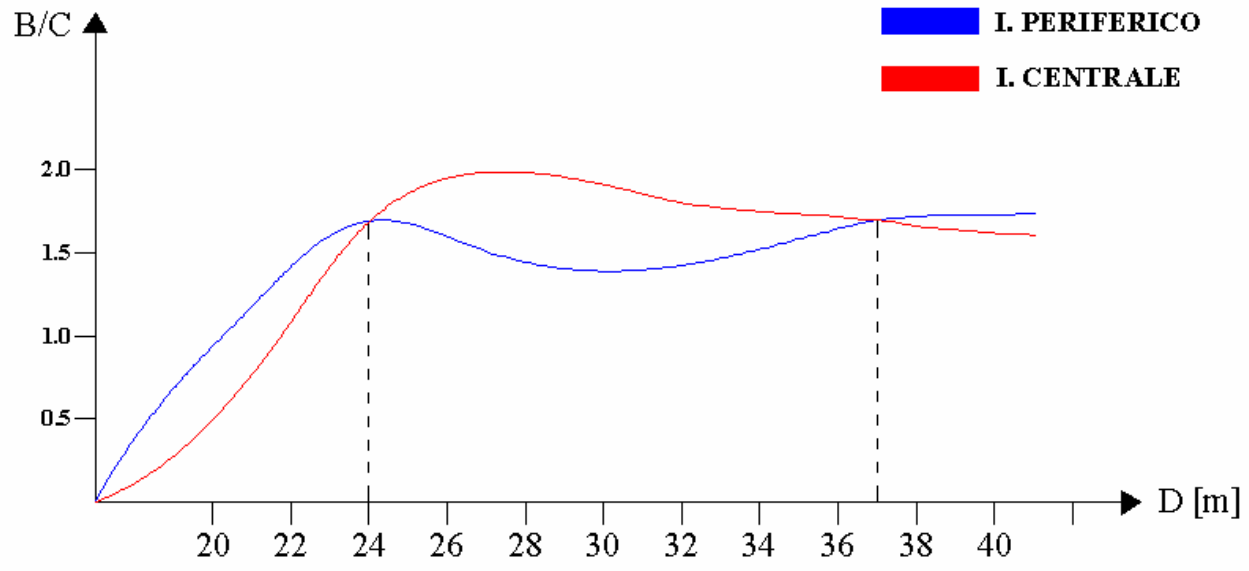
da un punto di vista Geometrico – Visivo :

- Percezione di una rotatoria, evidenziare cioè la discontinuità del percorso lineare,
- Ottima visibilità, leggibilità della rotatoria;

e infine da un punto di vista di Arredo Urbano :

- Area centrale ben illuminata,
- Illuminare eventuali arredi urbani e percorsi pedonali.

Nel grafico si evidenzia che ad un valore maggiore del rapporto P/C corrisponde la scelta ottimale dell'impianto :



Una lettura dettagliata dei vari impianti di illuminazione al variare del diametro e del campo di applicazione della rotatoria (urbano – extraurbano), si ha nella tabella seguente :

Diametro [m]	Tipologia Impianto	Potenza [Watt]	Numero Sorgenti Luminose	H [m]	Uo	Lm [cd/m^2]	E [lx]	
20	P	150	3	10	0,45	1,1	26	*Campo Urbano*
21	P	150	3	10	0,40	1,1	24	
22	P	150	3	9	0,40	1,1	23	
23	P	250	3	12	0,45	1,1	28	
24	P	250	3	11	0,45	1,1	27	
25	C	250	3	12	0,45	1,1	31	*Campo Urbano*
26	C	250	3	12	0,40	1,1	29	
27	C	250	3	12	0,40	1.1	27	
28	C	250	3	12	0,40	1,1	26	
29	C	250	4	13	0,50	1,1	31	
30	C	250	4	12	0,45	1,1	30	
25	C	250	4	12	0,47	1,5	41	*Campo Extraurbano*
26	C	250	4	11	0,40	1,5	42	
27	C	250	4	10	0,40	1,5	40	
28	C	400	3	14	0,47	1,5	41	
29	C	400	3	13	0,47	1,5	40	
30	C	400	3	11	0,40	1,5	39	
31	C	400	3	11	0,40	1,5	37	*Campo Extraurbano*
32	C	400	4	14	0,63	1,6	43	
33	C	400	4	12	0,60	1,6	41	
34	C	400	4	12	0,56	1,6	41	
35	C	400	4	11	0,53	1,5	37	
36	C	400	4	11	0,53	1,5	36	
37	P	400	4	13	0,47	1,5	32	
38	P	400	4	12	0,47	1,5	32	

Analoghi risultati si hanno anche nel caso si presenti la necessità di avere luminanza e illuminamenti maggiori di 1,0 ÷ 1,5 cd/m^2 sia in campo urbano che extraurbano.
In tale situazione però si è osservato come, oltre i 30m di diametro esterno, l'impianto centrale non riesca a raggiungere le luminanza richieste a meno di non passare a potenze superiori ai 400 Watt per lampada; si comprime quindi il campo di applicazione dell'installazione centrale.

CAPITOLO 7 - CASO DI ESEMPIO : La rotatoria a Lucca , Nodo 5 : intersezione Via Civitali - Viale Marti - Viale Batoni

7.1 DESCRIZIONE DELLA ROTATORIA

La rotatoria si trova a Lucca, nodo 5 del PRG, all'intersezione di Via M. Civitali, Viale P. Batoni e Viale A. Marti.
L'intersezione presa in esame è in zona urbana, con due vie (V. Civitali e V. Batoni) facenti parte della circonvallazione della città, con volumi di traffico sostenuti soprattutto nelle ore di punta del mattino e della sera (8:00-8:15 ; 19:00- 19:15).
La rotatoria ha un diametro esterno di 28m, e come si osserva in figura 7-1 è a tre rami.
In figura viene riportata la planimetria della rotatoria allo stato attuale con numerazione progressiva delle vie affluenti la rotatoria stessa
Si rimanda all'Allegato E per le planimetrie quotate.

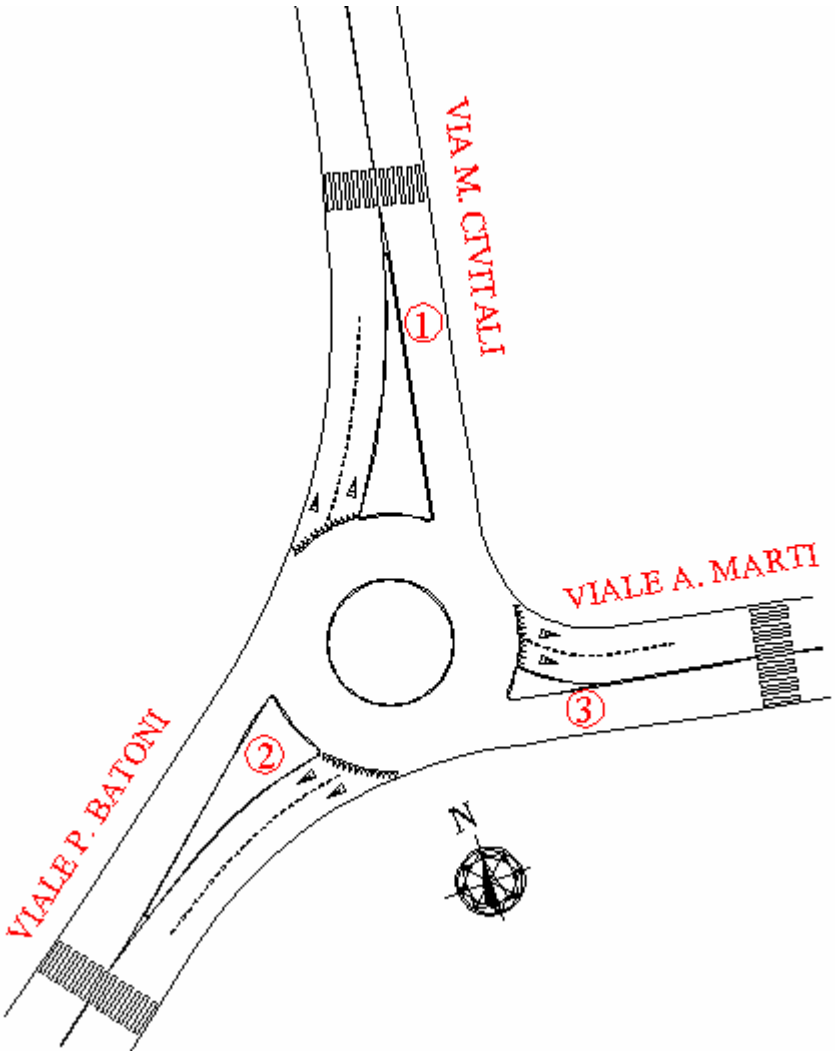


Figura 7-1 – Planimetria della rotatoria

La rotatoria presenta problemi per quanto riguarda la deflessione delle traiettorie (CAP 2 par. 2-2); il flusso veicolare proveniente da 1 (Via Civitali) e diretto in 2 (Viale Batoni) non subisce la dovuta deflessione della traiettoria, prerogativa delle rotatorie, permettendo velocità sostenute anche durante l'attraversamento del nodo.

Per quanto riguarda le dimensioni delle entrate e delle uscite, si osservano entrate a due corsie larghe 6m e uscite ad una corsia di larghezza 5m.
Infine la rotatoria non presenta una fascia sormontabile di 1 ÷ 1,5 m che circondi l'isola centrale.

7.2 MODIFICA ELEMENTI GEOMETRICI DELLA ROTATORIA

Come accennato nel paragrafo precedente, il problema principale da affrontare è quello di ottenere una maggior sicurezza nell'attraversamento della rotatoria da parte del flusso veicolare 1 → 2.
In tale ottica si provvede a modificare l'entrata del ramo 1, portandola ad una sola corsia in entrata di larghezza 4m; ciò permette di avere uno spostamento dell'asse della corsia rispetto all'isola centrale, aumentando la deflessione della traiettoria dei veicoli, quindi una diminuzione di velocità e dunque una maggior sicurezza della rotatoria stessa.
Le altre entrate vengono lasciate a due corsie, portando però la loro larghezza a 7,5m.
Infine è necessaria una fascia sormontabile di 1,5m intorno all'isola centrale.
In figura 7-2 si riporta la planimetria della rotatoria modificata secondo la norma.
Si rimanda, anche in questo caso, all'Allegato E per le planimetrie quotate.

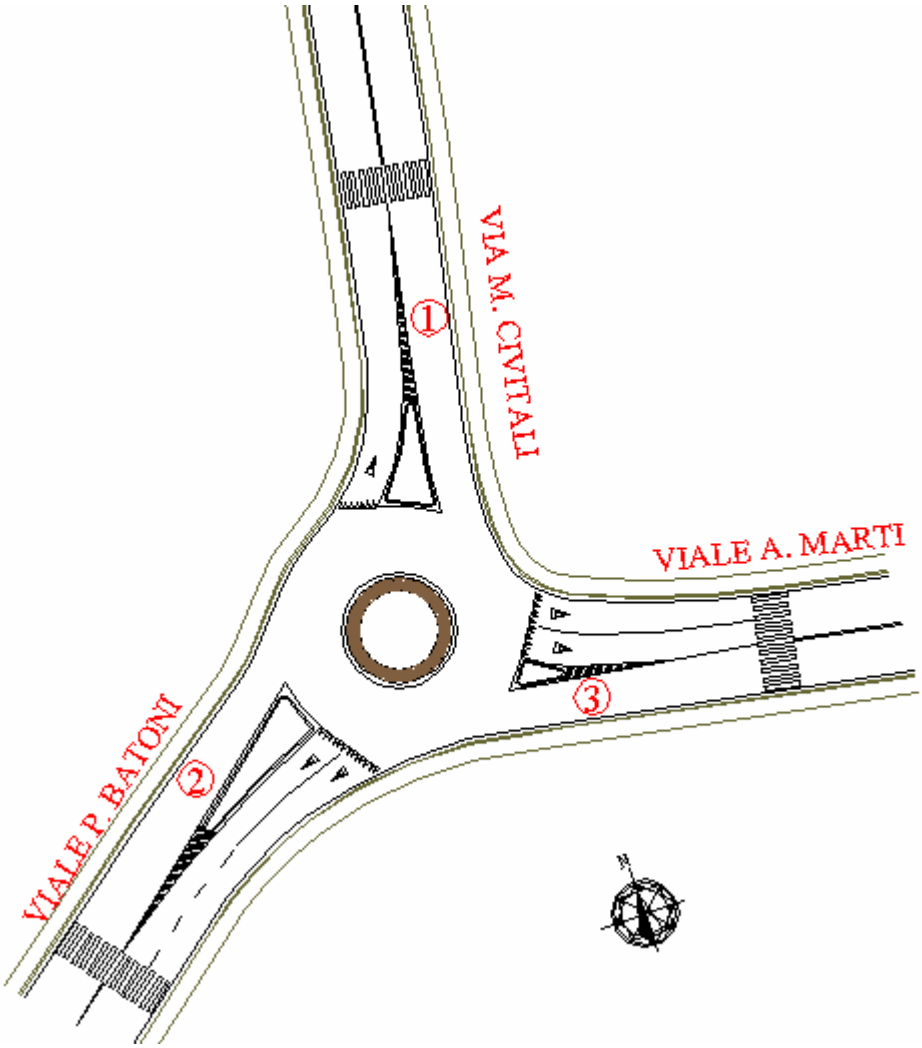


Figura 7-2 – Planimetria della rotatoria a norma

7.3 ANALISI DELL' IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE PRESENTE

La soluzione adottata per l'illuminazione, Figura 7-3 e 7-4, è di difficile classificazione in quanto non rientra nel caso di illuminazione periferica, né centrale.

Figura 7-3 – Illuminazione Rotatoria

Figura 7-4 – Architettura dei sostegni

7.3.1 Caratteristiche Tecniche ed Illuminotecniche

Come mostrato nelle immagini precedenti il sistema utilizza tre sorgenti luminose. Queste sono poste ad un'altezza di 9,70m e sono caratterizzate da una potenza nominale di 400 Watt.

Lampade

Nella tabella 7-1 sono riportate le caratteristiche tecniche ed elettriche della lampada utilizzata :

HIT 400W/HOR/EURO/4K

Lamp Type	SINGLE ENDED METAL HALIDE
Control Gear	MERCURY BALLAST + IGNITOR
Performance Data	
Light Output (Lumens @ 100 Hrs.)	36000 V / 32400 H
Lamp Lumens Per Watt	90
Rated Life (Hrs. @ 10 Hr. / Start)	15000 V / 11250 H
Correlated Colour Temperature K	4000
Chromaticity (CIE -X,Y)	.385 .390
Colour Rendering Index (CRI) or (Ra)	65
Typical Warm Up Time (Minutes)	3-5
Typical Hot Restart Time (Minutes)	10-15
Burning Position	UNIVERSAL
Physical Data / Requirements	
Base Designation	E40/45
Bulb Designation	T46
Bulb Diameter	46 mm
Max. Overall Length	285 mm
Light Centre Length	175 mm
Effective Arc Length	35.4 mm
Max. Base Temperature (°C)	250
Max. Bulb Temperature (°C)	500
Luminaire Type	ENCLOSED
Socket Pulse Rating (KV)	4
Electrical Data / Requirements	
IEC Standard	-
Lamp Wattage	400
Operating Voltage	135
Operating Current (Amps)	3.2
Min. Open Circuit Voltage (RMS)	198
Min. Starting Pulse (Peak V)	600
Min. Pulse Width at 540 (microseconds)	260
Min. Pulse Rate Per Cycle	1
Pulse Position (Electrical Degrees)	60-90

Tabella 7-1 – Caratteristiche tecniche-elettriche lampada HIT 400W/HOR/EURO/4K.

La lampada è caratterizzata da un flusso di 36000 lm, un rendimento lm/W di 90, una temperatura di colore di 4000 K e un indice di resa cromatica R_a di 65.
Come evidenziato nel Capitolo 4 è corretta la scelta della temperatura di colore di 4000 K, una luce quindi bianca che dovrebbe differenziarsi da quella utilizzata nei rami della rotatoria.
In figura 7-5 si può notare la differenza cromatica tra le luci giallo-arancio, installate su un ramo della rotatoria, e le luci bianco-azzurro della rotatoria.

Figura 7-5 – Colori differenti delle luci utilizzate.

Sostegni

I tre apparecchi di illuminazione sono sorretti da un sistema illuminante architettonico composto da tre unità di supporto coniche curve a raggio continuo, di acciaio calmato del tipo S 275jr-en 10025-95, ottenute mediante laminazione a caldo (700°) e successivamente zincate a caldo secondo la UNI-EN 40/4.
I tre sostegni utilizzano il medesimo plinto di fondazione, utilizzato anche dal totem decorativo centrale (vedi disegno in figura 7-7), e hanno le seguenti caratteristiche dimensionali :

- diametro di base : ⌀152 , sp. 4mm
- diametro di sommità : ⌀70 , sp. 4mm
- altezza della fonte luminosa : 9700mm
- infissione nel plinto : 800mm
- profilo di curvatura : (vedi disegno in figura 7-6)

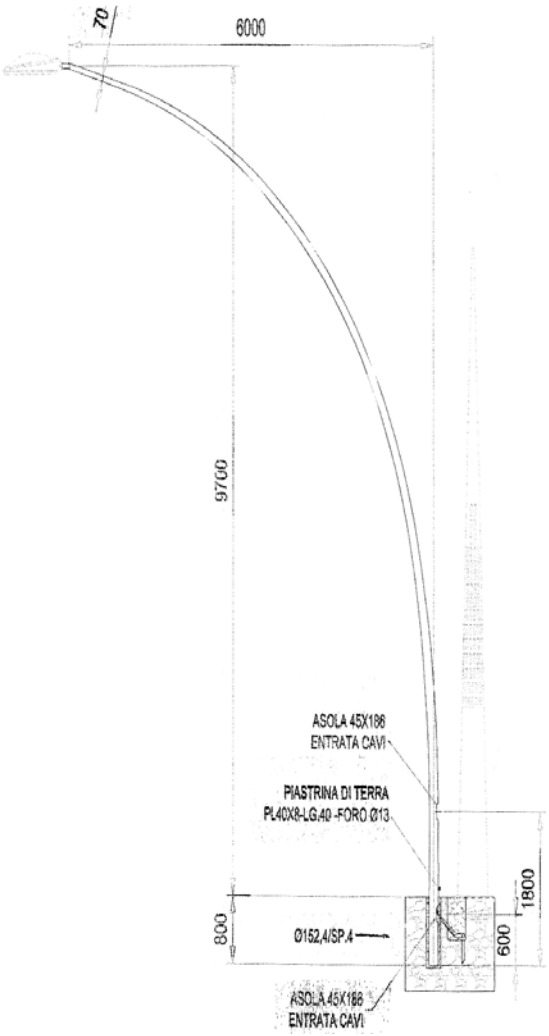


Figura 7-6 – Unità di supporto conica curva Profilo di curvatura.

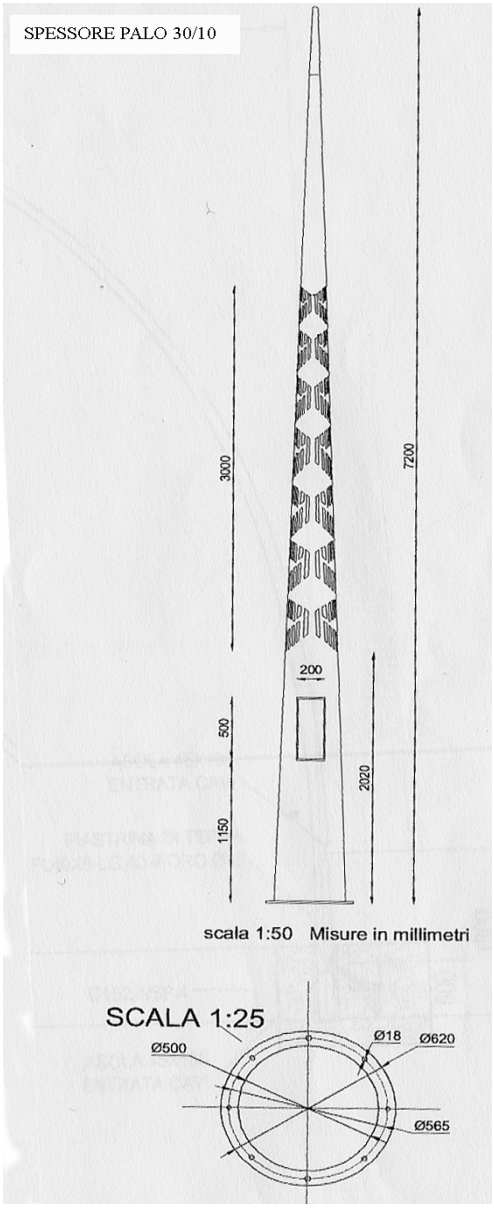


Figura 7-7– Unità decorativa centrale – Totem.

L'unità conica decorativa centrale (Totem), è realizzata mediante processo di piegatura e successiva saldatura longitudinale, ottenuta da lamiera di acciaio del tipo P11 5867-78 zincata a caldo uni-en 40/4, conforme alle seguenti specifiche dimensionali qualitative :

- sezione poligonale /rotonda
- profilo tronco conico
- diametro di base 500mm
- diametro di sommità max. 37mm
- lunghezza totale 7600mm
- ancoraggio alla fondazione mediante flangia di base e 8 tirafondi M6x 600mm
- finestratura multipla con altezza 120mm a partire da 2200mm dalla base, con schermo in metacrilato interno di varie colorazioni, con proiettore stagno interno montato da lampada a vapori di alogenuri metallici da 150W.

Apparecchi di Illuminazione

L'apparecchio di illuminazione è conforme alle normative CEI.
Presenta un grado di protezione IP65 vano ottico e IP43 vano ausiliario, è costruito in fusione d'alluminio UNI EN 1706 ed è composto da (vedi figura 7-8) :

- Un corpo superiore di forma ovale (A) in fusione di alluminio.
- Un telaio inferiore (B) in fusione di alluminio. Il telaio è unito al corpo ad un'estremità da due cerniere d'acciaio inox e all'altra da una vite manovrabile per mezzo di una normale chiave fissa.
- Uno schermo (C) in vetro temperato.
- Un riflettore (D) di alluminio anodizzato, con una forma tale da realizzare una distribuzione del flusso luminoso di tipo asimmetrico, prevalentemente trasversale.
- Un riflettore (E) in acciaio zincato e verniciato bianco, con funzione di sorreggere l'ottica stradale.
- Una piastra (F) in acciaio zincato sulla quale è fissato il gruppo di alimentazione (G)
- Portalampada E27 o E40
- Viti in acciaio inox.

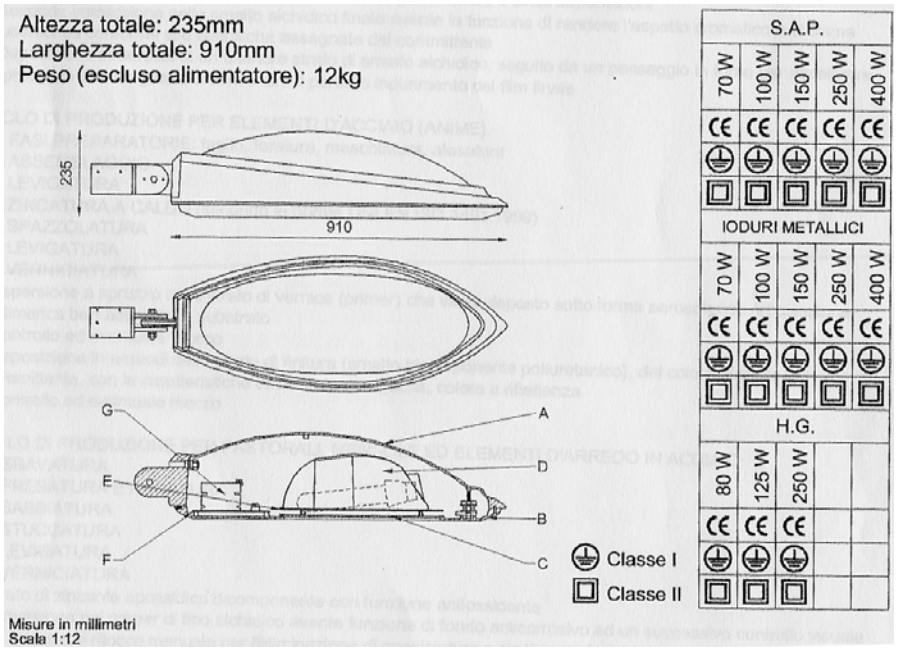


Figura 7-8– Apparecchio Illuminante Caratteristiche Tecniche - Geometriche

Il fissaggio dell'apparecchio al palo avviene mediante uno snodo regolabile predisposto per un innesto di diametro 60mm.

7.3.2 Qualità dell'impianto

Come parametri di qualità dell'impianto si prendono in considerazione l'**Illuminamento E**, la **Luminanza media L**, l'**Uniformità di Luminanza Uo** della superficie stradale e l'inquinamento luminoso definito dal rapporto **Rn**.

L'impianto di illuminazione in questione è caratterizzato dai seguenti valori :

Parametri	Medio	Minimo	Min/Medio
Illuminamento E	27 lux	8 lux	0,30
Luminanza L	1,1 cd/m^2	0,3 cd/m2	0,27
Rapporto Rn	0,00%		

La rotatoria è un ambito urbano quindi è accettabile il valore dell'illuminamento E, mentre non è altrettanto sufficiente e non conforme alle normative, il valore dell'uniformità di luminanza Uo che risulta essere 0,3 (minimo Uo = 0,4).
Come mostrato in figura 7-4 l'illuminazione non sottolinea sufficientemente la presenza della rotatoria, rendendo quindi di difficile e lenta lettura la presenza stessa di un'intersezione.
Inoltre il valore di luminanza di tale impianto, pur rispettando i minimi di normativa in ambito urbano, si ritiene conveniente mantenerlo a valori maggiori, prevedendo una sua diminuzione iniziale causata da una mancata pulizia degli apparecchi.
Si sottolinea, infine, che tali valori sono ottenuti con una soluzione di tre lampade agli ioduri metallici ciascuna da 400W e 40000lm.

7.4 PROPOSTA DI IMPIANTO

Quanto visto nel capitolo 4, circa le possibili soluzioni per diametro di rotatoria, ci indica, come un impianto alternativo da 1,0 - 1,1 cd/m^2 si possa ottenere con le seguenti installazioni :

Diametro [m]	Tipologia Impianto	Potenza [Watt]	Numero Sorgenti Luminose	H [m]	Uo	Lm [cd/m^2]	E [lx]
28	C	250	3	12	0,40	1,0	26
28	C	150	4	9	0,40	1,0	26
28	C	250	4	14	0,55	1,1	31

mentre volendo una luminanza maggiore, proprio per prevenire una sua diminuzione iniziale causata da una mancata pulizia degli apparecchi, si possono prendere in considerazione le seguenti installazioni con luminanze pari a 1,3-1,5 cd/m^2 :

Diametro [m]	Tipologia Impianto	Potenza [Watt]	Numero Sorgenti Luminose	H [m]	Uo	Lm [cd/m^2]	E [lx]
28	C	400	3	14	0,47	1,5	41
28	C	400	3	15	0,54	1,3	38

Si osserva che tutte le proposte presentano una adeguata uniformità di luminanza, mantenendo gli altri parametri conformi alle normative.
Quindi lasciando invariate le caratteristiche tecniche dell'impianto, ovvero numero di sorgenti e potenza nominale di ciascuna lampada, con un'installazione di tipo centrale, si può garantire una luminanza ed un illuminamento elevati ed ottenere un'uniformità di luminanza adeguata.
Scelte di carattere economico possono orientarci su impianti di potenza minore e con valori dei parametri illuminotecnici inferiori ma sempre conformi alle normative, risultando valido quindi un impianto caratterizzato da :

Diametro [m]	Tipologia Impianto	Potenza [Watt]	Numero Sorgenti Luminose	H [m]	Uo	Lm [cd/m^2]	E [lx]
28	C	250	3	12	0,40	1,1	26

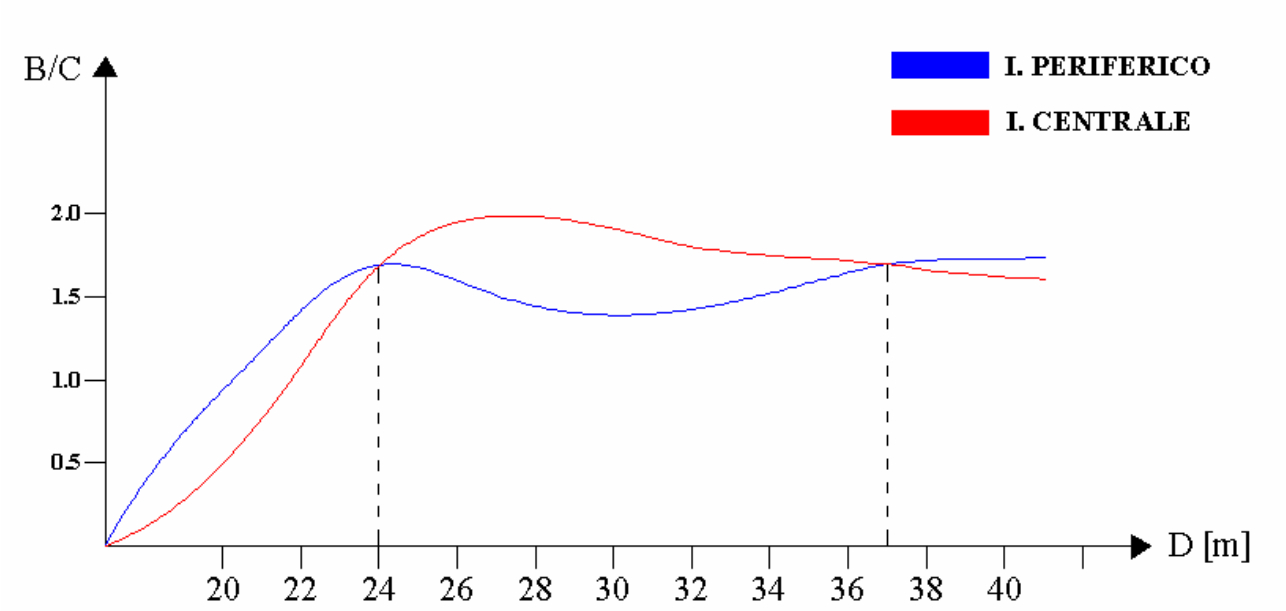
CONCLUSIONI

Come visto nei capitoli precedenti la scelta di un tipo di installazione piuttosto di un altro, deve prendere in considerazione numerose variabili che influiscono nel problema più o meno significativamente a seconda dei punti vista progettuali.
Si deve cioè tenere conto dei parametri illuminotecnici più importanti, quali la luminanza media, l'uniformità di luminanza e l'illuminamento della superficie stradale, ma anche degli aspetti geometrici e visivi, quali un'altezza delle sorgenti proporzionata alle esigenze e al contesto della rotatoria, un'identificazione immediata e semplice della presenza della rotatoria stessa, e ancora della funzione di arredo urbano svolta dalla rotatoria e dal suo impianto di illuminazione.
Inoltre, e sicuramente non meno importante, devono essere valutati i costi, sia quelli iniziali sia quelli di esercizio e manutenzione; in tale contesto si dovranno conoscere le specifiche tecniche dell'impianto, quali la potenza, le modalità di alimentazione elettrica e i vari accessori per un funzionamento ottimale dell'impianto stesso.

Lo scopo di questo studio è stato quello di trovare un criterio di scelta della tipologia di illuminazione da installare.
Nel campo delle rotatorie prese in considerazione (minorotatorie e rotatorie compatte), sono stati studiati i parametri illuminotecnici, geometrici ed elettrici per ogni diametro, riportando su abachi le loro variazioni e relazioni col tipo di impianto.
Sono state così evidenziate le possibilità impiantistiche per ogni diametro, suggerendo poi la scelta ottimale secondo considerazioni illuminotecniche, geometriche, elettriche, estetiche ed economiche, giungendo ad una conclusione qui riportata per ogni rotatoria :

Diametro [m]	**Tipologia Impianto**	**Potenza [Watt]**	**Numero Sorgenti Luminose**	**H [m]**	**Uo**	**Lm [cd/m^2]**	**E [lx]**	
20	P	150	3	10	0,45	1,1	26	***Campo Urbano***
21	P	150	3	10	0,40	1,1	24	
22	P	150	3	9	0,40	1,1	23	
23	P	250	3	12	0,45	1,1	28	
24	P	250	3	11	0,45	1,1	27	
25	C	250	3	12	0,45	1,1	31	***Campo Urbano***
26	C	250	3	12	0,40	1,1	29	
27	C	250	3	12	0,40	1.1	27	
28	C	250	3	12	0,40	1,1	26	
29	C	250	4	13	0,50	1,1	31	
30	C	250	4	12	0,45	1,1	30	
25	C	250	4	12	0,47	1,5	41	***Campo Extraurbano***
26	C	250	4	11	0,40	1,5	42	
27	C	250	4	10	0,40	1,5	40	
28	C	400	3	14	0,47	1,5	41	
29	C	400	3	13	0,47	1,5	40	
30	C	400	3	11	0,40	1,5	39	
31	C	400	3	11	0,40	1,5	37	***Campo Extraurbano***
32	C	400	4	14	0,63	1,6	43	
33	C	400	4	12	0,60	1,6	41	
34	C	400	4	12	0,56	1,6	41	
35	C	400	4	11	0,53	1,5	37	
36	C	400	4	11	0,53	1,5	36	
37	P	400	4	13	0,47	1,5	32	
38	P	400	4	12	0,47	1,5	32	

Infine tali scelte sono state riportate su un grafico per un'immediata lettura :



dove il rapporto adimensionale P/C (prestazioni/costi), rappresenta una sintesi degli aspetti illuminotecnici, geometrici, estetici ed economici di un impianto di illuminazione.
Con *costi* si intendono sia i costi iniziali di installazione, sia quelli di esercizio e manutenzione, mentre con *prestazioni* si tiene conto delle qualità dell'impianto da un punto di vista Illuminotecnico quali :

- Luminanza media della superficie stradale,
- Uniformità di Luminanza,
- Illuminamento della superficie;

da un punto di vista Geometrico – Visivo :

- Percezione di una rotatoria, evidenziare cioè la discontinuità del percorso lineare,
- Ottima visibilità, leggibilità della rotatoria;

e infine da un punto di vista di Arredo Urbano :

- Area centrale ben illuminata,
- Illuminare eventuali arredi urbani e percorsi pedonali.

Analoghi risultati si hanno anche nel caso si presenti la necessità di avere luminanza e illuminamenti maggiori di 1,0 ÷ 1,5 cd/m^2 sia in campo urbano che extraurbano.
In tale situazione però si è osservato come, oltre i 30m di diametro esterno, l'impianto centrale non riesca a raggiungere le luminanza richieste a meno di non passare a potenze superiori ai 400 Watt per lampada; si comprime quindi il campo di applicazione dell'installazione centrale.

BIBLIOGRAFIA

[1] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Ispettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale (2001) - Studio a carattere prenormativo:
Norme sulle caratteristiche funzionali e geometriche delle intersezioni stradali,10 Settembre 2001.

[2] Norma UNI 10439, *Requisiti illuminotecnici delle strade con traffico motorizzato,* (Seconda Edizione Luglio 2001).

[3] Pubblicazione numero 115/1995 della Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), *Recommendations for the lighting of roads for motor and pedestrian traffic.*

[4] Antonio Pratelli, Dispense del corso di Teoria e Tecnica della Circolazione : *Progetto delle intersezioni a rotatoria*, (Edizione Marzo 2001).

[5] D.L. 285-1992 (1992), *Nuovo Codice della strada*, Gazzetta ufficiale del 18/5/1992 e successive modifiche.

[6] DPR 16 Dicembre 1992 n. 495, *Regolamento di esecuzione ed attuazione del Codice della strada*, Gazzetta ufficiale del 28/12/1992 e successive modifiche.

[7] G. Di Giampietro, *La progettazione delle rotonde e delle intersezioni, con attenzione a sicurezza, efficienza e rispetto ambientale* – Dossier n. 7, 2001, Politecnico di Milano, DITec, 2001.

[8] Certu: *Guide carrefours urbains*, Gennaio 1999

[9] L. Polo, F. Bertan, V. Giambruni, *Manuale per la progettazione dei sistemi di sicurezza stradale e di moderazione del traffico,* Regione del Veneto, 2000.

[10] Ing. Pierluigi Corazza, *Linee guida per la progettazione e verifica delle intersezioni a rotatorie*.

[11] Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, D.M. 5 Novembre 2001 -*Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade, 2001*.

[12] V. Cataliotti, G. Morana, *Impianti elettrici di illuminazione,* Ed. Promotec

[13] Norma UNI 10819, *Luce ed Illuminazione – Impianti di illuminazione esterna - Requisiti per la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso.*

[14] Norma CEI 64-7, *Impianti elettrici di illuminazione pubblica.*

Siti internet e materiale on line

http://www.webstrade.it/

http://digilander.libero.it/illuminazioneesterna/indexTECNICO.htm

http://manuals.dot.state.tx.us

http://www.lightingacademy.org

http://www.oxytech.it

http://www.vialattea.net/cielobuio

http://debora.pd.astro.it/cinzano/libro

http://www.grechi.com

http://www.martinilight.com

http://www.neri.biz/

http://www.osram.it

http://www.venturelighting.com/

http://www.schreder.it

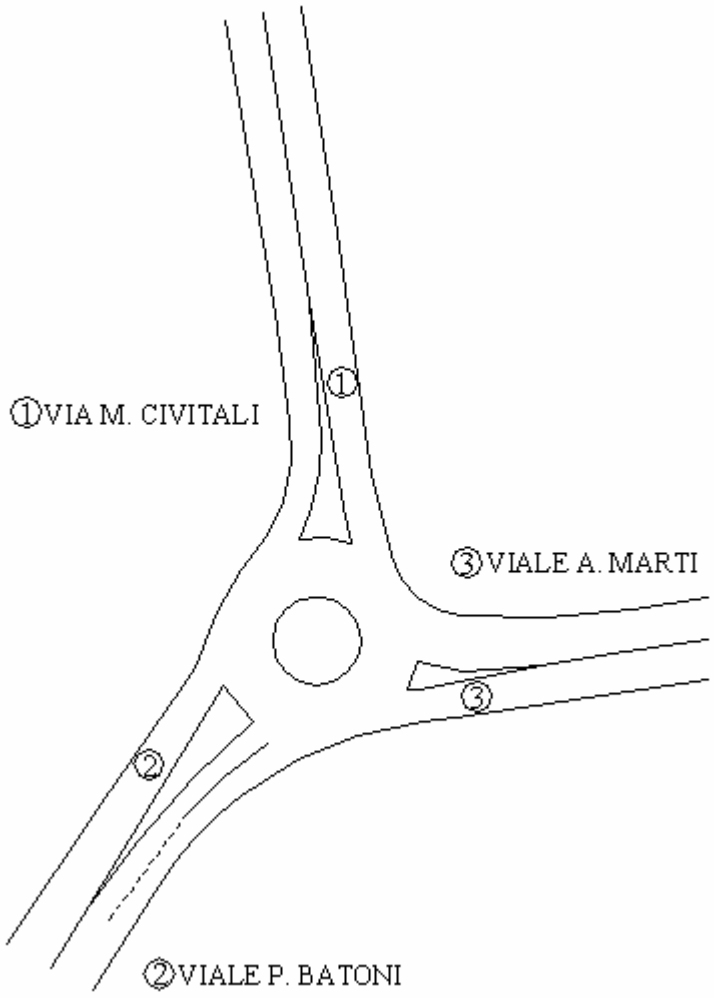
http://www.aecilluminazione.it

http://www.uai.it/com_lum/articoli/ articolo di Carlo Rossi

ALLEGATO A

Elaborazioni grafiche 3D mediante 3D Studio Max

Nel capitolo 7 è stato analizzato l'impianto di illuminazione della rotatoria a Lucca presente nell'intersezione tra Via Civitali, Viale Marti e Viale Batoni.
E' stato inoltre proposto un impianto alternativo di cui sono state realizzate elaborazioni 3D, per visualizzarne il risultato.
Si riporta anche uno schema della rotatoria con le indicazioni delle strade affluenti :



A -1 - Schema Rotatoria e strade affluenti

A-2 – Vista dall'alto

A-3 – Ramo 1 – Ingresso

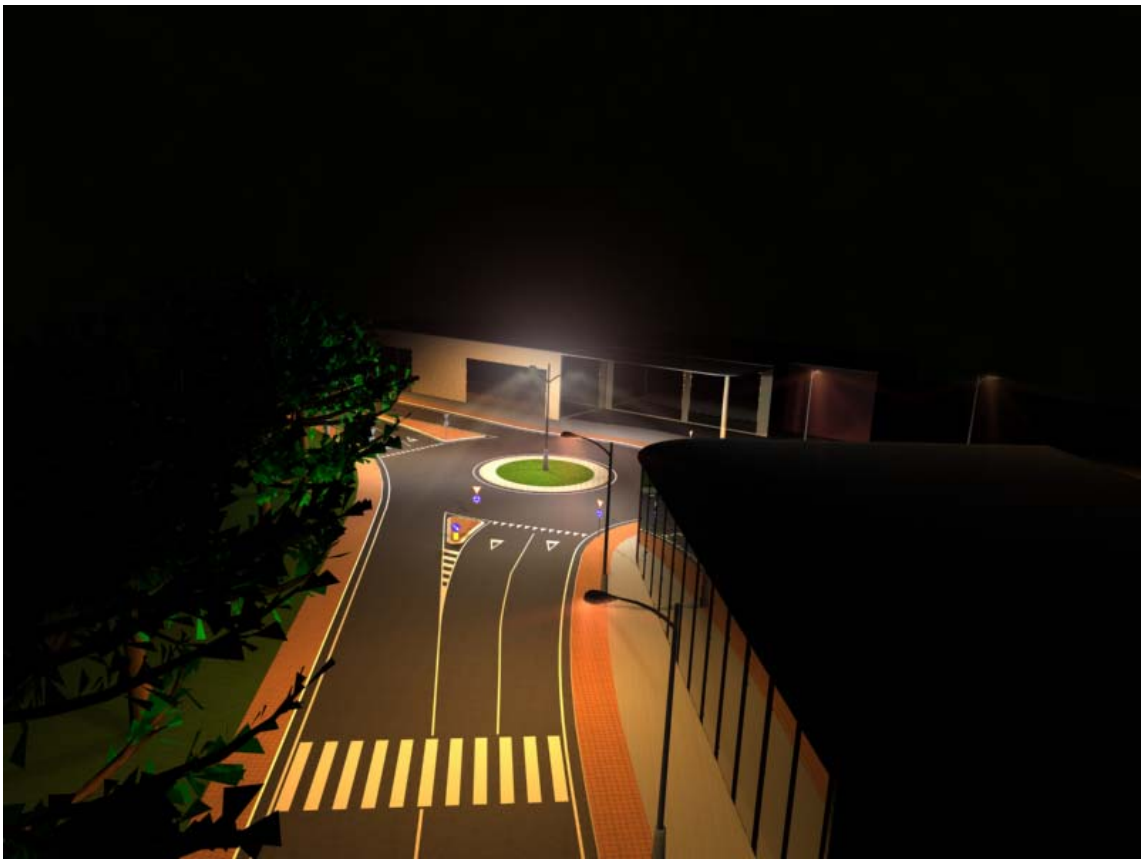
A – 4 – Ramo 1 – Prospettiva

A – 5 – Ramo 2 - Ingresso

A – 6 – Ramo 2 – Prospettiva

A – 7 – Ramo 3 – Ingresso

A – 8 – Ramo 3 – Prospettiva



A – 9 – Ramo 3 – Prospettiva

A – 10 – Veduta d’insieme

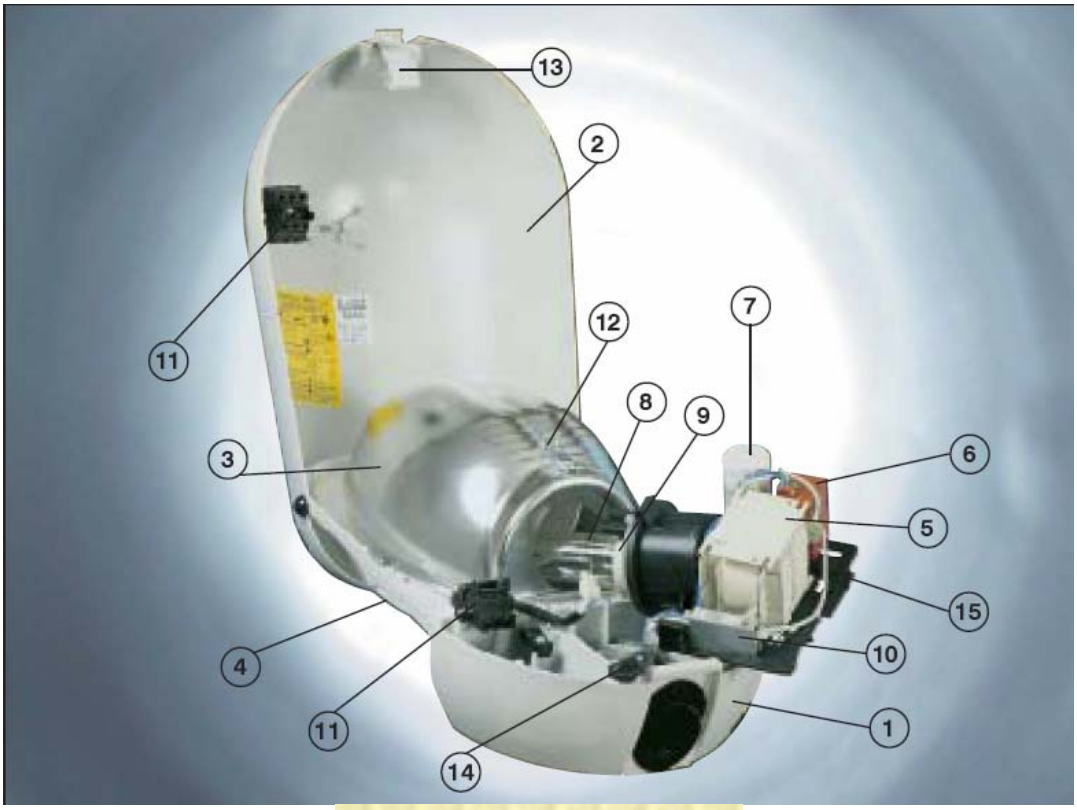
A – 11 – Veduta d’insieme

ALLEGATO B

Immagini di comuni apparecchi di illuminazione

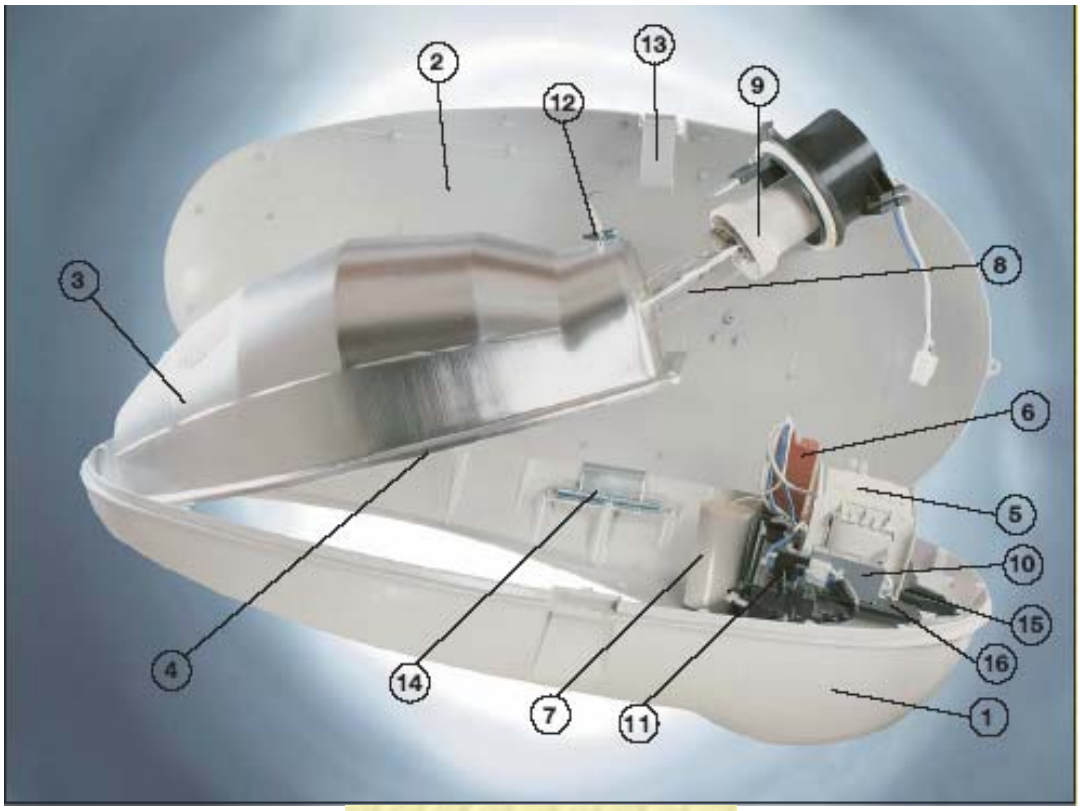
Si riportano le immagini di due apparecchi di illuminazione che soddisfano i requisiti tecnici e geometrici trattati nel capitolo 4.

Apparecchio per illuminazione stradale e arredo urbano adatto per lampade al Mercurio da 80W – 125W – 250W, al Sodio Alta Pressione da 100W – 150W – 250W e Joduri Metallici da 150W – 250W.



1. Telaio in pressofusione d'alluminio.
2. Calotta in pressofusione d'alluminio.
3. Riflettore in alluminio fino a 99.85%.
4. Coppa chiusura.
5. Alimentatore a marchio IMQ.
6. Accenditore a marchio IMQ.
7. Condensatore a marchio IMQ.
8. Lampada.
9. Portalampada a marchio IMQ.
10. Portafusibile con fusibile.
11. Sezionatore.
12. Molletta chiusura tappo.
13. Cricchetto di chiusura.
14. Camme blocco piastra.
15. Piastra portaccessori e tappo portalampada asportabile senza attrezzi.

Apparecchio per illuminazione stradale e arredo urbano adatto per lampade al Mercurio da 250W, al Sodio Alta Pressione da 250W – 400W – 600W e Joduri Metallici da 250W – 450W.



1. Telaio in pressofusione d'alluminio.
2. Calotta in pressofusione d'alluminio.
3. Riflettore in alluminio fino a 99.85%.
4. Coppa chiusura.
5. Alimentatore a marchio IMQ.
6. Accenditore a marchio IMQ.
7. Condensatore a marchio IMQ.
8. Lampada.
9. Portalampada a marchio IMQ.
10. Portafusibile con fusibile.
11. Sezionatore.
12. Molletta chiusura tappo.
13. Cricchetto di chiusura.
14. Cerniera.
15. Camme blocco piastra.
16. Piastra portaccessori asportabile senza attrezzi.

IMPIANTO PERIFERICO CON 3 SORGENTI

Diametro Rotatoria [m]	N° sorg	Lm	Em	Rn	W	Flusso	H pali	Imax	Eff Lamp	Kelvin	Apparecchio + Lampada JM-MH	Lmin	Lmax	Uo
20														
		1,40	31				7					0,40	3,50	0,29
		1,30	29				8					0,40	2,80	0,31
		1,20	28				9					0,50	2,30	0,42
		1,10	26	0,00	150	12500	10	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,50	2,10	0,45
	3	1,00	24				11					0,40	1,80	0,40
		0,90	23				12					0,40	1,60	0,44
		0,80	22				13					0,40	1,50	0,50
		0,70	21				14					0,50	1,40	0,71
		2,00	46				7					0,60	5,20	0,30
		1,80	43				8					0,70	4,20	0,39
		1,70	41				9					0,70	3,40	0,41
		1,60	39				10					0,70	3,00	0,44
	3	1,50	36	0,00	250	20000	11	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,70	2,60	0,47
		1,50	35				11,5					0,70	2,50	0,52
		1,30	34				12					0,70	2,30	0,54
		1,20	33				13					0,70	2,20	0,58
		1,10	32				14					0,80	2,10	0,73
		3,60	83				7					1,40	7,20	0,39
		3,20	77				8					1,40	5,60	0,44
		2,90	70				9					1,30	4,50	0,45
		2,60	65	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	1,30	3,90	0,50
	3	2,40	60				11					1,30	3,50	0,54
		2,20	55				12					1,20	3,10	0,55
		2,10	53				13					1,10	2,90	0,52
		2,00	50				14					1,00	2,70	0,50
21														
		1,20	28				7					0,40	3,40	0,33
		1,10	27				8					0,40	2,80	0,36
		1,10	25				9					0,40	2,20	0,36
		1,00	24	0,00	150	12500	10	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,40	2,00	0,40
	3	0,90	23				11					0,40	1,80	0,44
		0,80	22				12					0,40	1,60	0,50
		0,70	20				13					0,40	1,40	0,57
		0,70	18				14					0,40	1,20	0,57
		1,80	41				7					0,50	5,10	0,28
		1,70	39				8					0,60	4,20	0,35
		1,60	37				9					0,60	3,30	0,38
		1,50	35	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,60	3,00	0,40
	3	1,30	34				11					0,60	2,60	0,46
		1,20	32				12					0,60	2,30	0,50
		1,20	30				13					0,60	2,00	0,50
		1,10	28				14					0,60	1,80	0,55
		3,40	77				7					1,20	7,20	0,35
		3,00	71				8					1,20	5,60	0,40
		2,50	66				9					1,20	4,50	0,48
		2,50	61	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	1,20	3,70	0,48
	3	2,20	56				11					1,20	3,30	0,55
		2,00	52				12					1,10	3,00	0,55
		1,90	48				13					1,10	2,70	0,58
		1,70	45				14					1,10	2,50	0,65
22														
		1,20	26				7					0,30	3,40	0,25
		1,10	25				8					0,40	2,70	0,36
		1,00	23				9					0,40	2,20	0,40
		0,90	22	0,00	150	12500	10	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,40	2,00	0,44
	3	0,90	21				11					0,40	1,80	0,44
		0,80	20				12					0,40	1,60	0,50
		0,70	19				13					0,30	1,40	0,43
		0,70	18				14					0,30	1,20	0,43
		1,70	38				7					0,40	5,10	0,24
		1,60	37				8					0,50	4,10	0,31
		1,50	35				9					0,60	3,30	0,40
		1,40	33	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,60	2,90	0,43
	3	1,30	31				11					0,60	2,60	0,46
		1,20	30				12					0,60	2,30	0,50
		1,10	28				13					0,50	2,10	0,45
		1,00	26				14					0,50	1,80	0,50
		3,20	72				7					1,00	7,20	0,31
		2,90	67				8					1,10	5,60	0,38
		2,60	62				9					1,10	4,50	0,42
		2,40	58	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	1,10	3,70	0,46
	3	2,10	53				11					1,10	3,20	0,52
		2,00	50				12					1,00	3,00	0,50
		1,90	47				13					1,00	2,70	0,53
		1,70	43				14					1,00	2,40	0,59

23													
	3	1,10	24	0,00	150	12500	7	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,20	3,10	0,18
		1,00	23				8					0,30	2,40	0,30
		0,90	22				9					0,30	2,20	0,33
		0,90	21				10					0,30	1,90	0,33
		0,80	20				11					0,30	1,70	0,38
		0,80	19				12					0,30	1,50	0,38
		0,70	18				13					0,30	1,30	0,43
		0,70	17				14					0,30	1,20	0,43
	3	1,60	35	0,00	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,30	4,70	0,19
		1,50	34				8					0,40	3,60	0,27
		1,40	32				9					0,50	3,30	0,36
		1,30	31				10					0,50	2,80	0,38
		1,20	29				11					0,50	2,50	0,42
		1,10	28				12					0,50	2,20	0,45
		1,10	27				13					0,50	2,00	0,45
		1,00	25				14					0,50	1,80	0,50
	3	3,00	67	0,02	400	38000	7	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,90	6,80	0,30
		2,70	63				8					1,00	5,30	0,37
		2,40	58				9					1,00	4,20	0,42
		2,20	54				10					1,00	3,70	0,45
		2,00	50				11					0,90	3,20	0,45
		1,90	47				12					0,90	2,80	0,47
		1,70	44				13					0,80	2,60	0,47
		1,60	41				14					0,80	2,40	0,50
24														
	3	1,00	22	0,00	150	12500	7	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,20	3,10	0,20
		0,90	21				8					0,30	2,40	0,33
		0,80	20				9					0,30	2,00	0,38
		0,80	19				10					0,30	1,80	0,38
		0,70	18				11					0,30	1,50	0,43
		0,70	17				12					0,30	1,30	0,43
		0,70	16				13					0,30	1,20	0,43
		0,60	16				14					0,30	1,10	0,50
	3	1,40	33	0,00	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,30	4,70	0,21
		1,30	31				8					0,40	3,60	0,31
		1,30	30				9					0,40	3,00	0,31
		1,20	28				10					0,50	2,60	0,42
		1,10	27				11					0,50	2,20	0,45
		1,00	26				12					0,50	1,90	0,50
		0,90	25				13					0,50	1,70	0,56
		0,90	23				14					0,50	1,40	0,56
	3	2,80	63	0,02	400	38000	7	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,80	6,70	0,29
		2,50	59				8					0,90	5,20	0,36
		2,30	55				9					1,00	4,20	0,43
		2,10	51				10					1,00	3,50	0,48
		1,90	48				11					0,90	3,00	0,47
		1,80	44				12					0,90	2,60	0,50
		1,60	42				13					0,90	2,40	0,56
		1,50	39				14					0,90	2,20	0,60
25														
	3	0,90	20	0,00	150	12500	7	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,20	3,10	0,22
		0,80	19				8					0,20	2,40	0,25
		0,80	18				9					0,20	2,00	0,25
		0,70	18				10					0,30	1,60	0,43
		0,70	17				11					0,30	1,50	0,43
		0,70	16				12					0,30	1,30	0,43
		0,70	15				13					0,30	1,20	0,43
		0,60	15				14					0,30	1,10	0,50
	3	1,30	30	0,00	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,20	4,60	0,15
		1,20	29				8					0,30	3,60	0,25
		1,20	27				9					0,40	2,80	0,33
		1,10	26				10					0,40	2,30	0,36
		1,00	25				11					0,40	2,00	0,40
		1,00	24				12					0,40	1,90	0,40
		0,90	22				13					0,40	1,70	0,44
		0,80	20				14					0,50	1,50	0,63
	3	2,60	59	0,02	400	38000	7	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,70	6,70	0,27
		2,40	55				8					0,80	5,20	0,33
		2,20	52				9					0,90	4,20	0,41
		2,00	48				10					0,90	3,40	0,45
		1,90	45				11					0,80	3,00	0,42
		1,70	42				12					0,80	2,50	0,47
		1,60	40				13					0,80	2,30	0,50
		1,40	37				14					0,80	2,10	0,57

26													
	3	0,90	19	0,00	150	12500	7	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,10	3,10	0,11
		0,80	18				8					0,20	2,40	0,25
		0,70	17				9					0,20	1,90	0,29
		0,70	16				10					0,30	1,60	0,43
		0,70	16				11					0,30	1,30	0,43
		0,60	15				12					0,30	1,20	0,50
		0,60	14				13					0,30	1,10	0,50
		0,50	13				14					0,40	1,00	0,80
	3	1,30	28	0,00	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,20	4,60	0,15
		1,20	27				8					0,30	3,60	0,25
		1,10	26				9					0,30	2,80	0,27
		1,00	24				10					0,40	2,30	0,40
		1,00	23				11					0,40	1,90	0,40
		0,90	22				12					0,40	1,70	0,44
		0,80	20				13					0,50	1,50	0,63
		0,80	19				14					0,50	1,30	0,63
	3	2,50	55	0,02	400	38000	7	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,60	6,60	0,2
		2,30	52				8					0,70	5,20	0,3
		2,10	49				9					0,80	4,90	0,4
		1,90	46				10					0,80	3,40	0,4
		1,80	43				11					0,80	2,90	0,4
		1,60	40				12					0,80	2,50	0,5
		1,50	38				13					0,80	2,20	0,5
		1,30	36				14					0,80	2,00	0,6
27														
	3	0,80	18	0,00	150	12500	7	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,10	3,10	0,13
		0,70	17				8					0,20	2,40	0,29
		0,70	16				9					0,20	1,90	0,29
		0,70	15				10					0,20	1,60	0,29
		0,60	15				11					0,20	1,30	0,33
		0,60	14				12					0,20	1,20	0,33
		0,50	14				13					0,30	1,10	0,60
		0,50	13				14					0,20	1,00	0,40
	3	1,20	26	0,00	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,20	4,70	0,17
		1,10	25				8					0,20	3,60	0,18
		1,00	24				9					0,30	2,90	0,30
		1,00	23				10					0,30	2,30	0,30
		0,90	22				11					0,40	1,90	0,44
		0,90	21				12					0,40	1,70	0,44
		0,80	19				13					0,40	1,50	0,50
		0,80	18				14					0,50	1,30	0,63
	3	2,40	52	0,02	400	38000	7	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,60	6,60	0,3
		2,20	49				8					0,60	5,10	0,3
		2,00	46				9					0,70	4,10	0,4
		1,80	43				10					0,80	3,40	0,4
		1,70	41				11					0,70	2,90	0,4
		1,60	38				12					0,70	2,50	0,4
		1,40	36				13					0,70	2,10	0,5
		1,30	34				14					0,70	2,00	0,5
28														
	3	0,80	17	0,00	150	12500	7	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,10	3,20	0,13
		0,70	16				8					0,10	2,40	0,14
		0,70	15				9					0,20	1,90	0,29
		0,60	14				10					0,20	1,50	0,33
		0,60	14				11					0,20	1,30	0,33
		0,50	13				12					0,20	1,20	0,40
		0,50	13				13					0,20	1,00	0,40
		0,50	12				14					0,20	0,90	0,40
	3	1,10	25	0,00	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,20	4,80	0,18
		1,00	24				8					0,20	3,60	0,20
		1,00	22				9					0,30	2,90	0,30
		0,90	21				10					0,30	2,30	0,33
		0,90	21				11					0,30	1,90	0,33
		0,80	20				12					0,30	1,60	0,38
		0,80	19				13					0,30	1,50	0,38
		0,70	18				14					0,30	1,30	0,43
	3	2,30	49	0,02	400	38000	7	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,50	6,50	0,22
		2,10	47				8					0,60	5,10	0,29
		1,90	44				9					0,60	4,10	0,32
		1,80	41				10					0,70	3,40	0,39
		1,60	39				11					0,70	2,80	0,44
		1,50	37				12					0,70	2,40	0,47
		1,40	34				13					0,70	2,10	0,50
		1,30	32				14					0,70	1,90	0,54

29													
		1,10	24				7				0,10	4,40	0,09
		1,00	22				8				0,20	3,20	0,20
		0,90	21				9				0,20	2,60	0,22
	3	0,90	20	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,30	2,20	0,33
		0,80	19				11					0,30	1,90	0,38
		0,80	19				12					0,30	1,80	0,38
		0,80	18				13					0,30	1,70	0,38
		0,80	18				14					0,30	1,60	0,38
		2,10	47				7					0,50	6,20	0,24
		2,00	45				8					0,50	5,00	0,25
		1,80	42				9					0,60	3,80	0,33
		1,70	39				10					0,60	3,20	0,35
	3	1,50	37	0,02	400	38000	11	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,70	2,80	0,47
		1,40	35				12					0,70	2,40	0,50
		1,30	33				13					0,60	2,10	0,46
		1,20	31				14					0,60	1,90	0,50
		1,10	29				15					0,60	1,70	0,55
30													
		1,00	23				7				0,10	4,40	0,10
		0,90	21				8				0,20	3,40	0,22
		0,90	20				9				0,20	2,90	0,22
	3	0,80	19	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,20	2,00	0,25
		0,80	18				11					0,30	1,60	0,38
		0,70	17				12					0,30	1,40	0,43
		0,70	16				13					0,30	1,30	0,43
		0,60	15				14					0,40	1,20	0,67
		2,00	44				7				0,40	6,20	0,20
		1,90	42				8				0,50	4,80	0,26
		1,70	40				9				0,50	3,80	0,29
	3	1,60	37	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,60	3,20	0,38
		1,50	35				11					0,60	2,70	0,40
		1,40	33				12					0,60	2,50	0,43
		1,30	32				13					0,60	2,10	0,46
		1,20	30				14					0,60	1,80	0,50
31													
		1,00	22				7				0,10	4,30	0,10
		0,90	20				8				0,10	3,40	0,11
		0,80	19				9				0,20	2,50	0,25
	3	0,80	18	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,20	2,10	0,25
		0,70	17				11					0,20	1,60	0,29
		0,70	16				12					0,30	1,40	0,43
		0,60	16				13					0,30	1,20	0,50
		0,60	15				14					0,30	1,10	0,50
		2,00	42				7				0,40	6,20	0,20
		1,80	40				8				0,40	4,80	0,22
		1,70	38				9				0,50	3,80	0,29
	3	1,50	36	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,50	3,20	0,33
		1,40	34				11					0,60	2,70	0,43
		1,30	32				12					0,60	2,30	0,46
		1,20	30				13					0,60	2,00	0,50
		1,10	28				14					0,60	1,80	0,55
32													
		0,90	20				7				0,10	4,30	0,11
		0,80	19				8				0,10	3,40	0,13
		0,80	18				9				0,20	2,50	0,25
	3	0,70	17	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,20	2,00	0,29
		0,70	16				11					0,20	1,60	0,29
		0,60	16				12					0,20	1,40	0,33
		0,50	15				13					0,20	1,20	0,40
		0,50	14				14					0,30	1,00	0,60
		1,90	40				7				0,30	6,20	0,16
		1,70	38				8				0,40	4,80	0,24
		1,60	36				9				0,40	3,80	0,25
	3	1,50	34	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,50	3,10	0,33
		1,40	32				11					0,50	2,70	0,36
		1,30	30				12					0,50	2,30	0,38
		1,20	29				13					0,50	2,00	0,42
		1,10	27				14					0,50	1,80	0,45

33													
	3	0,90	20	0,00	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,10	4,40	0,11
		0,80	18				8					0,10	3,40	0,13
		0,70	17				9					0,10	2,60	0,14
		0,70	16				10					0,20	2,00	0,29
		0,70	15				11					0,20	1,60	0,29
		0,60	15				12					0,20	1,40	0,33
		0,50	15				13					0,30	1,20	0,60
		0,50	14				14					0,30	1,00	0,60
	3	1,80	38	0,02	400	38000	7	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,30	6,10	0,17
		1,60	36				8					0,40	4,80	0,25
		1,50	34				9					0,40	3,80	0,27
		1,40	32				10					0,40	3,10	0,29
		1,30	31				11					0,50	2,60	0,38
		1,20	29				12					0,50	2,30	0,42
		1,10	28				13					0,50	2,00	0,45
		1,10	26				14					0,50	1,80	0,45
34														
	3	0,90	19	0,02	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,10	4,50	0,11
		0,80	17				8					0,10	3,30	0,13
		0,70	16				9					0,10	2,70	0,14
		0,70	16				10					0,20	2,00	0,29
		0,60	15				11					0,20	1,60	0,33
		0,60	14				12					0,20	1,40	0,33
		0,50	14				13					0,20	1,20	0,40
		0,50	13				14					0,30	1,00	0,60
	3	1,70	36	0,02	400	38000	7	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,30	6,10	0,18
		1,60	34				8					0,30	4,80	0,19
		1,50	32				9					0,40	3,80	0,27
		1,40	31				10					0,40	3,10	0,29
		1,30	29				11					0,40	2,60	0,31
		1,20	28				12					0,50	2,20	0,42
		1,10	26				13					0,50	2,00	0,45
		1,00	25				14					0,50	1,80	0,50
35														
	3	0,80	18	0,00	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,10	4,40	0,13
		0,80	17				8					0,10	3,30	0,13
		0,70	16				9					0,10	2,60	0,14
		0,60	15				10					0,10	1,90	0,17
		0,60	14				11					0,10	1,50	0,17
		0,50	13				12					0,10	1,30	0,20
		0,40	13				13					0,10	1,20	0,25
		0,40	12				14					0,10	1,10	0,25
	3	1,60	34	0,02	400	38000	7	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,20	5,90	0,13
		1,50	32				8					0,20	4,60	0,13
		1,30	30				9					0,30	3,60	0,23
		1,20	28				10					0,30	2,90	0,25
		1,20	27				11					0,30	2,50	0,25
		1,10	25				12					0,30	2,20	0,27
		1,00	24				13					0,30	1,90	0,30
		0,90	23				14					0,40	1,70	0,44
36														
	3	0,80	17	0,00	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,00	4,60	0,00
		0,70	16				8					0,10	3,30	0,14
		0,70	15				9					0,10	2,70	0,14
		0,60	14				10					0,10	2,00	0,17
		0,60	14				11					0,10	1,60	0,17
		0,50	13				12					0,20	1,30	0,40
		0,40	13				13					0,20	1,20	0,50
		0,40	12				14					0,30	1,00	0,75
	3	1,60	34	0,02	400	38000	7	475	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,20	6,00	0,13
		1,50	32				8					0,20	4,70	0,13
		1,40	30				9					0,20	3,80	0,14
		1,30	29				10					0,30	3,10	0,23
		1,20	28				11					0,30	2,70	0,25
		1,10	26				12					0,30	2,20	0,27
		1,00	25				13					0,40	1,90	0,40
		1,00	23				14					0,40	1,70	0,40
37														
	3	0,90	16	0,00	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,10	5,10	0,11
		0,80	16				8					0,10	4,10	0,13
		0,80	16				9					0,10	3,40	0,13
		0,80	15				10					0,10	2,90	0,13
		0,70	15				11					0,10	2,60	0,14
		0,70	15				12					0,10	2,30	0,14
		0,70	14				13					0,20	2,00	0,29
		0,60	14				14					0,20	1,70	0,33
	3	1,60	30	0,02	400	38000	7	475	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,20	6,00	0,13
		1,50	29				8					0,30	4,70	0,20
		1,50	28				9					0,30	3,90	0,20
		1,40	27				10					0,30	3,30	0,21
		1,30	26				11					0,30	2,90	0,23
		1,20	25				12					0,40	2,50	0,33
		1,10	24				13					0,40	2,20	0,36
		1,10	23				14					0,40	2,00	0,36

38

	0,80	15				7				0,10	5,10	0,13
	0,80	15				8				0,10	4,10	0,13
	0,80	15				9				0,10	3,40	0,13
3	0,70	15	0,00	250	20000	10	585	80	4200	0,10	2,80	0,14
	0,70	14				11				0,10	2,50	0,14
	0,70	14				12				0,10	2,20	0,14
	0,70	14				13				0,20	1,90	0,29
	0,60	13				14				0,20	1,70	0,33
	1,60	29				7				0,20	5,90	0,13
	1,50	28				8				0,20	4,70	0,13
	1,40	27				9				0,30	3,90	0,21
3	1,30	26	0,02	400	38000	10	475	95	4200	0,30	3,30	0,23
	1,20	25				11				0,30	2,80	0,25
	1,20	24				12				0,30	2,50	0,25
	1,10	23				13				0,40	2,20	0,36
	1,00	23				14				0,40	1,90	0,40

Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL

Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL

IMPIANTO PERIFERICO CON 4 SORGENTI

Diametro Rotatoria [m]	N° sorg	Lm	Em	Rn	W	Flusso	H pali	Imax	Eff Lamp	Kelvin	Apparecchio + Lampada JM-MH	Lmin	Lmax	Uo
20														
		1,90	41				7					0,70	4,90	0,37
		1,70	39				8					0,70	4,20	0,41
		1,60	37				9					0,70	3,50	0,44
	4	1,40	35	0,00	150	12500	10	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,70	2,90	0,50
		1,30	32				11					0,70	2,40	0,54
		1,20	30				12					0,70	2,00	0,58
		1,10	28				13					0,70	1,70	0,64
		1,00	26				14					0,70	1,50	0,70
		2,70	61				7					1,00	6,90	0,37
		2,50	58				8					1,00	5,90	0,40
		2,30	55				9					1,00	5,00	0,43
	4	2,10	51	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	1,00	4,10	0,48
		2,00	48				11					1,10	3,40	0,55
		1,80	45				12					1,10	3,00	0,61
		1,70	42				13					1,10	2,60	0,65
		1,50	39				14					1,00	2,30	0,67
		4,90	110				7					2,40	8,50	0,49
		4,40	102				8					2,40	7,10	0,55
		3,90	94				9					2,30	6,10	0,59
	4	3,50	86	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	2,20	5,30	0,63
		3,20	80				11					2,10	4,70	0,66
		2,90	74				12					1,90	4,20	0,66
		2,70	70				13					1,70	3,90	0,63
		2,50	68				14					1,60	3,60	0,64
21														
		1,70	37				7					0,60	4,80	0,35
		1,50	35				8					0,60	3,80	0,40
		1,40	33				9					0,60	3,30	0,43
	4	1,30	32	0,00	150	12500	10	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,60	2,90	0,46
		1,20	30				11					0,60	2,40	0,50
		1,10	28				12					0,60	2,00	0,55
		1,00	26				13					0,60	1,80	0,60
		1,00	25				14					0,60	1,50	0,60
		2,50	55				7					0,90	6,90	0,36
		2,30	52				8					0,90	5,50	0,39
		2,10	50				9					0,90	4,70	0,43
	4	2,00	47	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,90	4,10	0,45
		1,80	45				11					0,90	3,50	0,50
		1,70	42				12					1,00	3,00	0,59
		1,60	39				13					1,00	2,60	0,63
		1,40	37				14					1,00	2,30	0,71
		4,60	102				7					2,20	8,30	0,48
		4,10	95				8					2,20	6,90	0,54
		3,70	87				9					2,20	5,90	0,59
	4	3,30	81	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	2,00	5,20	0,61
		3,00	75				11					1,90	4,60	0,63
		2,80	69				12					1,80	4,10	0,64
		2,50	65				13					1,70	3,60	0,68
		2,30	60				14					1,60	3,20	0,70
22														
		1,60	34				7					0,50	5,00	0,31
		1,50	33				8					0,60	3,80	0,40
		1,30	31				9					0,60	3,10	0,46
	4	1,30	30	0,00	150	12500	10	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,60	2,90	0,46
		1,20	28				11					0,60	2,40	0,50
		1,10	27				12					0,60	2,00	0,55
		1,00	25				13					0,60	1,70	0,60
		0,90	24				14					0,60	1,50	0,67
		2,30	51				7					0,80	6,80	0,35
		2,10	48				8					0,90	5,40	0,43
		2,00	46				9					0,90	4,50	0,45
	4	1,90	44	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,90	4,00	0,47
		1,70	42				11					0,90	3,50	0,53
		1,60	40				12					0,90	2,90	0,56
		1,50	37				13					0,90	2,60	0,60
		1,40	35				14					0,90	2,30	0,64
		4,40	95				7					1,90	8,10	0,43
		3,90	89				8					2,00	6,70	0,51
		3,50	82				9					2,00	5,80	0,57
	4	3,20	76	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	1,90	5,10	0,59
		2,90	71				11					1,80	4,50	0,62
		2,70	66				12					1,70	4,00	0,63
		2,50	64				13					1,60	3,80	0,64
		2,40	62				14					1,50	3,60	0,63

23													
		1,50	31				7				0,50	4,90	0,33
		1,40	30				8				0,50	3,80	0,36
		1,30	29				9				0,50	3,10	0,38
	4	1,20	27	0,00	150	12500	10	652	83,33	4000	0,50	2,80	0,42
		1,10	26				11				0,50	2,50	0,45
		1,00	25				12				0,50	2,40	0,50
		1,00	24				13				0,50	1,70	0,50
		0,90	22				14				0,50	1,50	0,56
		2,20	47				7				0,70	6,60	0,32
		2,00	45				8				0,70	5,30	0,35
		1,90	43				9				0,80	4,40	0,42
	4	1,70	41	0,00	250	20000	10	585	80	4200	0,80	3,90	0,47
		1,60	39				11				0,80	3,40	0,50
		1,50	37				12				0,80	2,90	0,53
		1,40	35				13				0,80	2,50	0,57
		1,30	33				14				0,80	2,20	0,62
		4,10	89				7				1,70	7,90	0,41
		3,70	83				8				1,80	6,50	0,49
		3,40	77				9				1,80	5,70	0,53
	4	3,10	72	0,02	400	38000	10	421	95	4200	1,80	5,00	0,58
		2,80	67				11				1,70	4,40	0,61
		2,50	62				12				1,60	3,90	0,64
		2,30	58				13				1,50	3,50	0,65
		2,10	54				14				1,40	3,10	0,67
24													
		1,30	29				7				0,40	3,90	0,31
		1,20	27				8				0,50	3,00	0,42
		1,20	26				9				0,50	2,70	0,42
	4	1,10	25	0,00	150	12500	10	652	83,33	4000	0,50	2,40	0,45
		1,00	24				11				0,50	2,10	0,50
		0,90	23				12				0,50	2,00	0,56
		0,90	22				13				0,50	1,90	0,56
		0,80	21				14				0,60	1,80	0,75
		2,00	43				7				0,60	5,70	0,30
		1,80	41				8				0,70	4,40	0,39
		1,70	39				9				0,70	3,80	0,41
	4	1,60	37	0,00	250	20000	10	585	80	4200	0,70	3,50	0,44
		1,50	36				11				0,70	3,10	0,47
		1,40	34				12				0,70	2,80	0,50
		1,30	33				13				0,70	2,50	0,54
		1,20	31				14				0,70	2,20	0,58
		3,80	83				7				1,50	7,70	0,39
		3,50	78				8				1,70	6,20	0,49
		3,20	73				9				1,70	5,20	0,53
	4	2,90	68	0,02	400	38000	10	421	95	4200	1,70	4,60	0,59
		2,60	63				11				1,60	4,10	0,62
		2,40	59				12				1,50	3,60	0,63
		2,20	55				13				1,50	3,30	0,68
		2,00	52				14				1,40	3,00	0,70
25													
		1,20	27				7				0,40	3,70	0,33
		1,10	25				8				0,40	2,90	0,36
		1,10	24				9				0,40	2,40	0,36
	4	1,00	23	0,00	150	12500	10	652	83,33	4000	0,40	2,10	0,40
		0,90	22				11				0,40	2,00	0,44
		0,90	21				12				0,40	1,90	0,44
		0,80	20				13				0,40	1,70	0,50
		0,80	20				14				0,50	1,50	0,63
		1,80	40				7				0,50	5,50	0,28
		1,70	38				8				0,60	4,30	0,35
		1,60	36				9				0,60	3,50	0,38
	4	1,50	34	0,00	250	20000	10	585	80	4200	0,60	3,00	0,40
		1,40	33				11				0,70	2,90	0,50
		1,30	32				12				0,70	2,60	0,54
		1,20	30				13				0,70	2,40	0,58
		1,20	29				14				0,70	2,10	0,58
		3,60	78				7				1,40	7,50	0,39
		3,30	73				8				1,50	6,10	0,45
		3,00	69				9				1,50	5,10	0,50
	4	2,70	64	0,02	400	38000	10	421	95	4200	1,50	4,50	0,56
		2,50	60				11				1,50	4,00	0,60
		2,30	56				12				1,40	3,60	0,61
		2,10	53				13				1,40	3,20	0,67
		2,00	49				14				1,30	2,90	0,65

26													
	4	1,20	25	0,00	150	12500	7	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,30	3,70	0,25
		1,10	24				8					0,40	2,90	0,36
		1,00	23				9					0,40	2,40	0,40
		0,90	22				10					0,40	2,00	0,44
		0,90	21				11					0,40	1,90	0,44
		0,80	20				12					0,40	1,80	0,50
		0,80	19				13					0,40	1,60	0,50
		0,70	19				14					0,40	1,50	0,57
	4	1,70	37	0,02	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,50	5,50	0,29
		1,60	35				8					0,50	4,20	0,31
		1,50	34				9					0,60	3,50	0,40
		1,40	32				10					0,60	2,90	0,43
		1,30	31				11					0,60	2,70	0,46
		1,20	30				12					0,60	2,50	0,50
		1,20	29				13					0,60	2,40	0,50
		1,10	28				14					0,60	2,10	0,55
	4	3,40	74	0,02	400	38000	7	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	1,20	7,80	0,35
		3,20	70				8					1,30	6,20	0,41
		2,90	66				9					1,40	5,30	0,48
		2,70	62				10					1,40	4,70	0,52
		2,50	59				11					1,40	4,20	0,56
		2,30	55				12					1,30	3,80	0,57
		2,10	52				13					1,20	3,40	0,57
		1,90	49				14					1,20	3,00	0,63
27														
	4	1,10	23	0,00	150	12500	7	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,30	3,80	0,27
		1,00	22				8					0,30	2,90	0,30
		0,90	21				9					0,40	2,40	0,44
		0,90	20				10					0,40	2,00	0,44
		0,80	19				11					0,40	1,70	0,50
		0,80	19				12					0,40	1,60	0,50
		0,70	18				13					0,40	1,50	0,57
		0,70	17				14					0,40	1,40	0,57
	4	1,60	34	0,00	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,40	5,50	0,25
		1,50	33				8					0,50	4,20	0,33
		1,40	31				9					0,50	3,40	0,36
		1,30	30				10					0,60	2,90	0,46
		1,20	29				11					0,60	2,50	0,50
		1,10	28				12					0,60	2,30	0,55
		1,10	27				13					0,60	2,20	0,55
		1,00	26				14					0,60	2,00	0,60
	4	3,20	68	0,02	400	38000	7	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	1,10	7,30	0,34
		2,90	65				8					1,30	5,90	0,45
		2,70	61				9					1,30	4,90	0,48
		2,50	58				10					1,30	4,20	0,52
		2,30	54				11					1,30	3,60	0,57
		2,10	51				12					1,30	3,20	0,62
		1,90	48				13					1,20	3,00	0,63
		1,80	45				14					1,20	2,70	0,67
28														
	4	1,00	22	0,00	150	12500	7	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,20	3,90	0,20
		0,90	21				8					0,30	2,90	0,33
		0,90	20				9					0,20	2,30	0,22
		0,80	19				10					0,30	1,90	0,38
		0,80	18				11					0,30	1,70	0,38
		0,70	18				12					0,30	1,50	0,43
		0,70	17				13					0,40	1,50	0,57
		0,70	16				14					0,40	1,40	0,57
	4	1,50	33	0,00	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,30	5,50	0,20
		1,40	31				8					0,40	4,20	0,29
		1,30	29				9					0,50	3,40	0,38
		1,20	28				10					0,50	2,90	0,42
		1,10	27				11					0,50	2,40	0,45
		1,10	26				12					0,50	2,20	0,45
		1,00	25				13					0,50	2,10	0,50
		1,00	24				14					0,50	2,00	0,50
	4	3,00	64	0,02	400	38000	7	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	1,00	7,20	0,33
		2,80	61				8					1,10	5,80	0,39
		2,60	58				9					1,20	4,90	0,46
		2,40	55				10					1,20	4,10	0,50
		2,20	51				11					1,20	3,50	0,55
		2,00	48				12					1,20	3,10	0,60
		1,90	46				13					1,30	2,90	0,68
		1,70	43				14					1,10	2,70	0,65

29													
	4	1,40	31	0,00	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,30	5,60	0,21
		1,30	29				8					0,40	4,20	0,31
		1,20	28				9					0,40	3,30	0,33
		1,10	27				10					0,50	2,80	0,45
		1,10	25				11					0,50	2,40	0,45
		1,00	24				12					0,50	2,00	0,50
		1,00	24				13					0,50	2,00	0,50
		0,90	23				14					0,50	1,90	0,56
	4	2,90	61	0,02	400	38000	7	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,90	7,20	0,31
		2,60	58				8					1,00	5,80	0,38
		2,40	55				9					1,10	4,80	0,46
		2,30	52				10					1,10	4,10	0,48
		2,10	49				11					1,20	3,50	0,57
		1,90	46				12					1,10	3,10	0,58
		1,80	44				13					1,10	2,80	0,61
		1,70	41				14					1,10	2,60	0,65
30													
	4	1,40	30	0,00	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,30	5,80	0,21
		1,30	28				8					0,30	4,20	0,23
		1,20	27				9					0,40	3,30	0,33
		1,10	26				10					0,40	2,80	0,36
		1,10	25				11					0,50	2,40	0,45
		1,00	24				12					0,50	2,20	0,50
		0,90	23				13					0,50	2,00	0,56
		0,80	22				14					0,50	1,80	0,63
	4	2,80	58	0,02	400	38000	7	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,80	7,10	0,29
		2,60	55				8					0,90	5,70	0,35
		2,40	52				9					1,00	4,70	0,42
		2,20	50				10					1,10	4,00	0,50
		2,10	47				11					1,10	3,60	0,52
		1,90	45				12					1,10	3,20	0,58
		1,80	42				13					1,10	2,90	0,61
		1,60	40				14					1,00	2,60	0,63
		1,50	38				15					1,00	2,40	0,67
31													
	4	1,30	28	0,00	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,20	5,90	0,15
		1,20	26				8					0,30	4,00	0,25
		1,10	25				9					0,40	3,30	0,36
		1,00	24				10					0,40	2,60	0,40
		1,00	23				11					0,40	2,10	0,40
		0,90	22				12					0,40	1,80	0,44
		0,90	21				13					0,40	1,50	0,44
		0,80	20				14					0,40	1,50	0,50
	4	2,60	55	0,02	400	38000	7	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,70	7,00	0,27
		2,40	52				8					0,90	5,60	0,38
		2,20	49				9					1,00	4,60	0,45
		2,00	47				10					1,00	3,90	0,50
		1,90	44				11					1,00	3,30	0,53
		1,80	42				12					1,00	2,80	0,56
		1,60	40				13					1,00	2,60	0,63
		1,50	38				14					1,00	2,40	0,67
32													
	4	1,20	27	0,00	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,20	5,90	0,17
		1,10	25				8					0,30	4,20	0,27
		1,00	24				9					0,30	3,40	0,30
		1,00	23				10					0,40	2,70	0,40
		0,90	22				11					0,40	2,30	0,44
		0,90	21				12					0,40	1,90	0,44
		0,80	20				13					0,40	1,70	0,50
		0,80	19				14					0,40	1,50	0,50
	4	2,50	53	0,02	400	38000	7	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,70	7,00	0,28
		2,30	50				8					0,80	5,70	0,35
		2,10	47				9					0,90	4,70	0,43
		2,00	45				10					0,90	3,90	0,45
		1,80	43				11					0,90	3,30	0,50
		1,70	40				12					1,00	2,80	0,59
		1,60	38				13					0,90	2,50	0,56
		1,50	36				14					0,90	2,30	0,60

33													
	1,10	25				7					0,20	4,30	0,18
	1,10	24				8					0,20	3,50	0,18
	1,00	22				9					0,30	2,70	0,30
4	0,90	21	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,30	2,10	0,33
	0,80	20				11					0,30	2,00	0,38
	0,80	19				12					0,40	1,90	0,50
	0,70	19				13					0,40	1,50	0,57
	0,70	18				14					0,40	1,30	0,57
	2,30	50				7					0,60	6,50	0,26
	2,10	47				8					0,70	5,10	0,33
	2,00	45				9					0,80	4,20	0,40
4	1,90	42	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,80	3,50	0,42
	1,70	40				11					0,90	3,00	0,53
	1,60	38				12					0,90	2,60	0,56
	1,50	36				13					0,90	2,40	0,60
	1,40	35				14					0,90	2,20	0,64
34													
	1,20	25				7					0,20	5,90	0,17
	1,00	23				8					0,20	4,30	0,20
	1,00	22				9					0,30	3,20	0,30
4	0,90	21	0,02	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,30	2,70	0,33
	0,90	20				11					0,30	2,10	0,33
	0,80	19				12					0,30	2,00	0,38
	0,80	19				13					0,30	1,80	0,38
	0,80	19				14					0,30	1,70	0,38
	2,30	48				7					0,60	6,70	0,26
	2,10	45				8					0,60	5,40	0,29
	2,00	43				9					0,70	4,50	0,35
	1,80	41				10					0,80	3,80	0,44
4	1,70	39	0,02	400	38000	11	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,80	3,20	0,47
	1,60	37				12					0,80	2,70	0,50
	1,50	35				13					0,80	2,50	0,53
	1,40	34				14					0,80	2,30	0,57
	1,30	32				15					0,80	2,10	0,62
35													
	1,10	23				7					0,20	4,40	0,18
	1,00	21				8					0,20	3,10	0,20
	0,90	20				9					0,20	2,60	0,22
4	0,80	19	0,02	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,30	2,10	0,38
	0,80	18				11					0,30	1,90	0,38
	0,70	18				12					0,30	1,60	0,43
	0,70	17				13					0,30	1,40	0,43
	0,70	16				14					0,30	1,10	0,43
	2,10	45				7					0,50	6,40	0,24
	2,00	43				8					0,60	5,10	0,30
	1,80	41				9					0,70	4,10	0,39
4	1,70	39	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,70	3,40	0,41
	1,60	37				11					0,80	2,90	0,50
	1,50	35				12					0,80	2,50	0,53
	1,40	34				13					0,80	2,30	0,57
	1,30	32				14					0,80	2,20	0,62
36													
	1,10	22				7					0,10	5,90	0,09
	1,00	21				8					0,20	4,50	0,20
	0,90	20				9					0,20	3,30	0,22
4	0,80	19	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,20	2,60	0,25
	0,80	18				11					0,30	2,20	0,38
	0,70	17				12					0,30	1,80	0,43
	0,70	15				13					0,30	1,60	0,43
	0,60	15				14					0,30	1,50	0,50
	2,10	43				7					0,50	6,70	0,24
	1,90	41				8					0,50	5,30	0,26
	1,80	39				9					0,60	4,40	0,33
4	1,70	37	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,70	3,70	0,41
	1,60	36				11					0,70	3,10	0,44
	1,50	34				12					0,70	2,70	0,47
	1,40	33				13					0,70	2,40	0,50
	1,30	31				14					0,70	2,10	0,54
37													
	1,10	21				7					0,10	5,90	0,09
	1,10	21				8					0,10	4,60	0,09
	1,00	20				9					0,20	3,60	0,20
4	1,00	20	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,20	3,10	0,20
	1,00	19				11					0,30	2,70	0,30
	0,90	19				12					0,30	2,40	0,33
	0,80	19				13					0,30	2,10	0,38
	0,80	18				14					0,30	1,90	0,38
	2,20	39				7					0,40	6,70	0,18
	2,00	38				8					0,50	5,40	0,25
	1,90	37				9					0,60	4,60	0,32
4	1,80	36	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,60	3,90	0,33
	1,70	35				11					0,70	3,40	0,41
	1,60	34				12					0,70	3,10	0,44
	1,50	32				13					0,70	2,70	0,47
	1,40	31				14					0,70	2,50	0,50

38

	1,10	20				7				0,10	5,90	0,09
	1,00	20				8				0,10	4,60	0,10
	1,00	20				9				0,20	3,40	0,20
4	1,00	19	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,20	3,10	0,20
	0,90	19				11					0,20	2,70	0,22
	0,90	18				12					0,30	2,40	0,33
	0,80	18				13					0,30	2,10	0,38
	0,80	18				14					0,30	1,90	0,38
	2,10	37				7					0,40	6,70	0,19
	2,00	37				8					0,50	5,40	0,25
	1,80	36				9					0,50	4,50	0,28
4	1,70	35	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,60	3,90	0,35
	1,60	33				11					0,60	3,40	0,38
	1,50	32				12					0,70	3,00	0,47
	1,40	31				13					0,70	2,70	0,50
	1,40	30				14					0,70	2,40	0,50

IMPIANTO CENTRALE CON 3 SORGENTI

Diametro Rotatoria [m]	N° sorg	Lm	Em	Rn	W	Flusso	H pali	Imax	Eff Lamp	Kelvin	Apparecchio + Lampada JM-MH	Lmin	Lmax	Uo
20														
		1,70	45				7					0,40	4,90	0,24
		1,50	41				8					0,50	3,80	0,33
		1,40	38				9					0,50	3,10	0,36
	3	1,20	34	0,00	150	12500	10	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,50	2,50	0,42
		1,10	31				11					0,50	2,10	0,45
		1,00	28				12					0,40	1,80	0,40
		0,90	26				13					0,40	1,60	0,44
		0,80	24				14					0,40	1,30	0,50
		2,50	67				7					0,70	7,10	0,28
		2,30	62				8					0,70	5,60	0,30
		2,10	57				9					0,70	4,60	0,33
	3	1,80	52	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,70	3,80	0,39
		1,70	47				11					0,70	3,20	0,41
		1,50	43				12					0,70	2,70	0,47
		1,40	39				13					0,70	2,30	0,50
		1,20	36				14					0,60	2,00	0,50
		4,00	116				7					1,00	13,00	0,25
		4,00	108				8					1,00	10,00	0,25
		3,60	99				9					1,40	8,20	0,39
	3	3,30	91	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	1,40	6,80	0,42
		2,90	83				11					1,40	5,70	0,48
		2,70	76				12					1,30	4,90	0,48
		2,50	74				13					1,20	4,50	0,48
		2,30	71				14					1,10	4,00	0,48
21														
		1,50	40				7					0,40	4,60	0,27
		1,40	37				8					0,40	3,70	0,29
		1,30	34				9					0,40	3,00	0,31
	3	1,10	31	0,00	150	12500	10	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,40	2,50	0,36
		1,00	29				11					0,40	2,10	0,40
		0,90	26				12					0,40	1,80	0,44
		0,90	24				13					0,40	1,50	0,44
		0,80	22				14					0,40	1,30	0,50
		2,30	59				7					0,60	6,90	0,26
		2,10	56				8					0,60	5,60	0,29
		1,90	51				9					0,60	4,50	0,32
	3	1,70	47	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,60	3,70	0,35
		1,50	43				11					0,60	3,10	0,40
		1,40	40				12					0,60	2,60	0,43
		1,30	37				13					0,60	2,30	0,46
		1,20	34				14					0,60	2,00	0,50
		3,90	102				7					1,20	12,10	0,31
		3,60	96				8					1,30	9,80	0,36
		3,30	90				9					1,30	8,00	0,39
	3	3,00	83	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	1,30	6,70	0,43
		2,70	77				11					1,20	5,60	0,44
		2,50	71				12					1,20	4,80	0,48
		2,30	65				13					1,20	4,10	0,52
		2,10	60				14					1,10	3,60	0,52
22														
		1,40	37				7					0,40	4,60	0,29
		1,30	35				8					0,40	3,70	0,31
		1,20	32				9					0,40	3,00	0,33
	3	1,10	30	0,00	150	12500	10	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,40	2,50	0,36
		1,00	27				11					0,40	2,10	0,40
		0,90	25				12					0,40	1,80	0,44
		0,90	24				13					0,40	1,70	0,44
		0,80	22				14					0,40	1,50	0,50
		2,10	7				7					0,50	6,80	0,24
		2,00	52				8					0,50	5,50	0,25
		1,80	48				9					0,60	4,50	0,33
	3	1,60	45	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,60	3,70	0,38
		1,50	41				11					0,60	3,10	0,40
		1,30	38				12					0,60	2,70	0,46
		1,20	35				13					0,60	2,30	0,50
		1,10	32				14					0,50	2,00	0,45
		3,70	94				7					1,00	12,10	0,27
		3,40	90				8					1,10	9,70	0,32
		3,10	84				9					1,20	8,00	0,39
	3	2,90	79	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	1,20	6,70	0,41
		2,60	73				11					1,10	5,60	0,42
		2,40	67				12					1,10	4,80	0,46
		2,20	62				13					1,10	4,50	0,50
		2,00	58				14					1,00	4,00	0,50

23													
	1,30	33				7					0,30	4,40	0,23
	1,20	32				8					0,30	3,60	0,25
	1,10	30				9					0,30	3,00	0,27
3	1,00	28	0,00	150	12500	10	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,30	2,50	0,30
	0,90	26				11					0,30	2,10	0,33
	0,90	24				12					0,30	1,80	0,33
	0,80	22				13					0,30	1,50	0,38
	0,70	20				14					0,30	1,30	0,43
	2,00	50				7					0,50	6,50	0,25
	1,80	48				8					0,50	5,40	0,28
	1,70	45				9					0,50	4,40	0,29
3	1,50	42	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,50	3,70	0,33
	1,40	39				11					0,50	3,10	0,36
	1,30	36				12					0,50	2,60	0,38
	1,20	33				13					0,50	2,30	0,42
	1,10	31				14					0,50	2,00	0,45
	3,40	86				7					1,00	11,70	0,29
	3,20	82				8					1,00	9,60	0,31
	2,90	78				9					1,10	7,90	0,38
3	2,70	73	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	1,10	6,60	0,41
	2,50	68				11					1,10	5,50	0,44
	2,30	64				12					1,00	4,70	0,43
	2,10	59				13					1,00	4,10	0,48
	1,90	55				14					1,00	3,60	0,53
24													
	1,20	30				7					0,30	3,90	0,25
	1,10	29				8					0,30	3,40	0,27
	1,00	27				9					0,30	2,80	0,30
3	0,90	25	0,00	150	12500	10	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,30	2,30	0,33
	0,90	24				11					0,30	2,00	0,33
	0,80	22				12					0,30	1,70	0,38
	0,80	20				13					0,30	1,50	0,38
	0,70	19				14					0,40	1,20	0,57
	1,70	44				7					0,40	5,80	0,24
	1,60	43				8					0,50	4,90	0,31
	1,50	41				9					0,50	4,10	0,33
3	1,40	38	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,50	3,40	0,36
	1,30	36				11					0,50	2,90	0,38
	1,20	33				12					0,50	2,50	0,42
	1,10	31				13					0,50	2,30	0,45
	1,00	30				14					0,60	2,00	0,60
	3,00	75				7					1,00	10,00	0,33
	2,80	73				8					1,00	8,50	0,36
	2,70	70				9					1,00	7,10	0,37
3	2,50	67	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	1,00	6,00	0,40
	2,30	63				11					1,00	5,10	0,43
	2,10	59				12					1,00	4,50	0,48
	2,00	55				13					0,90	3,80	0,45
	1,80	51				14					0,90	3,40	0,50
25													
	1,10	26				7					0,30	3,80	0,27
	1,00	26				8					0,30	3,10	0,30
	0,90	25				9					0,30	2,60	0,33
3	0,90	24	0,00	150	12500	10	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,30	2,30	0,33
	0,80	22				11					0,30	1,90	0,38
	0,80	20				12					0,30	1,60	0,38
	0,70	19				13					0,30	1,40	0,43
	0,60	18				14					0,30	1,30	0,50
	1,60	39				7					0,40	5,60	0,25
	1,50	38				8					0,40	4,60	0,27
	1,40	37				9					0,40	3,80	0,29
3	1,30	35	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,40	3,30	0,31
	1,20	33				11					0,50	2,80	0,42
	1,10	31				12					0,50	2,50	0,45
	1,00	29				13					0,50	2,10	0,50
	1,00	27				14					0,40	1,90	0,40
	2,70	66				7					0,80	9,80	0,30
	2,60	65				8					0,90	8,20	0,35
	2,40	63				9					0,90	6,90	0,38
3	2,30	61	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,90	5,90	0,39
	2,10	58				11					0,90	5,10	0,43
	2,00	55				12					0,90	44,00	0,45
	1,80	52				13					0,90	3,80	0,50
	1,70	48				14					0,90	3,40	0,53

26													
	3	1,00	24	0,00	150	12500	7	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,20	3,70	0,20
		0,90	24				8					0,30	3,10	0,33
		0,90	23				9					0,30	2,60	0,33
		0,80	22				10					0,30	2,20	0,38
		0,80	21				11					0,30	1,90	0,38
		0,70	20				12					0,30	1,70	0,43
		0,70	19				13					0,30	1,50	0,43
		0,60	18				14					0,30	1,40	0,50
	3	1,40	35	0,00	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,30	5,60	0,21
		1,40	35				8					0,40	4,70	0,29
		1,30	34				9					0,40	3,90	0,31
		1,20	33				10					0,40	3,30	0,33
		1,20	31				11					0,40	2,80	0,33
		1,10	30				12					0,40	2,40	0,36
		1,00	28				13					0,40	2,10	0,40
		0,90	26				14					0,40	1,90	0,44
	3	2,50	61	0,02	400	38000	7	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,70	9,70	0,28
		2,40	60				8					0,80	8,20	0,33
		2,30	59				9					0,80	6,90	0,35
		2,10	57				10					0,80	5,90	0,38
		2,00	54				11					0,80	5,10	0,40
		1,90	52				12					0,80	4,40	0,42
		1,80	49				13					0,80	3,80	0,44
		1,60	46				14					0,80	3,30	0,50
27														
	3	0,90	21	0,00	150	12500	7	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,20	3,70	0,22
		0,90	21				8					0,20	3,00	0,22
		0,80	21				9					0,20	2,50	0,25
		0,80	20				10					0,20	2,20	0,25
		0,70	19				11					0,30	1,90	0,43
		0,70	18				12					0,30	1,60	0,43
		0,60	17				13					0,30	1,40	0,50
		0,60	16				14					0,30	1,20	0,50
	3	1,30	31	0,00	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,30	5,50	0,23
		1,30	32				8					0,40	4,50	0,31
		1,20	31				9					0,40	3,70	0,33
		1,20	30				10					0,40	3,20	0,33
		1,10	29				11					0,40	2,80	0,36
		1,00	27				12					0,40	2,40	0,40
		0,90	26				13					0,40	2,10	0,44
		0,90	25				14					0,40	1,80	0,44
	3	2,30	54	0,02	400	38000	7	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,60	9,50	0,26
		2,20	54				8					0,70	7,90	0,32
		2,10	53				9					0,80	6,70	0,38
		2,00	52				10					0,80	5,80	0,40
		1,90	50				11					0,80	5,00	0,42
		1,80	48				12					0,80	4,30	0,44
		1,70	46				13					0,80	3,80	0,47
		1,60	43				14					0,80	3,30	0,50
28														
	3	0,80	19	0,00	150	12500	7	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,20	3,00	0,25
		0,80	20				8					0,20	2,50	0,25
		0,80	19				9					0,20	2,20	0,25
		0,70	19				10					0,20	2,00	0,29
		0,70	18				11					0,20	1,70	0,29
		0,60	17				12					0,20	1,50	0,33
		0,60	16				13					0,20	1,40	0,33
		0,60	15				14					0,20	1,20	0,33
	3	1,20	28	0,00	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,30	4,50	0,25
		1,20	29				8					0,30	3,70	0,25
		1,10	29				9					0,30	3,20	0,27
		1,10	28				10					0,30	2,90	0,27
		1,00	27				11					0,40	2,50	0,40
		1,00	26				12					0,40	2,20	0,40
		0,90	25				13					0,40	1,90	0,44
		0,80	23				14					0,40	1,70	0,50
	3	2,00	49	0,02	400	38000	7	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,60	6,90	0,30
		2,00	49				8					0,60	6,30	0,30
		1,90	49				9					0,70	5,50	0,37
		1,80	48				10					0,70	4,90	0,39
		1,70	47				11					0,70	4,30	0,41
		1,70	45				12					0,70	3,80	0,41
		1,60	43				13					0,70	3,40	0,44
		1,50	41				14					0,70	3,10	0,47
		1,30	38				15					0,70	3,60	0,54
		1,10	33				18					0,60	2,00	0,55

29													
		1,10	25				7				0,30	4,40	0,27
		1,10	26				8				0,30	3,60	0,27
		1,00	26				9				0,30	3,10	0,30
	3	1,00	26	0,00	250	20000	10	585	80	4200	0,30	2,80	0,30
		1,00	25				11				0,30	2,40	0,30
		0,90	24				12				0,30	2,20	0,33
		0,80	23				13				0,30	1,90	0,38
		0,80	22				14				0,30	1,70	0,38
		1,90	44				7				0,50	6,70	0,26
		1,80	45				8				0,60	6,10	0,33
		1,80	45				9				0,60	5,40	0,33
		1,70	44				10				0,70	4,80	0,41
	4	1,60	43	0,02	400	38000	11	421	95	4200	0,70	4,20	0,44
		1,60	42				12				0,70	3,70	0,44
		1,50	40				13				0,70	3,40	0,47
		1,40	39				14				0,70	3,00	0,50
		1,10	31				18				0,60	2,00	0,55
30													
		0,90	22				7				0,30	4,30	0,33
		1,00	23				8				0,30	3,70	0,30
		0,90	24				9				0,30	3,00	0,33
	3	0,90	23	0,00	250	20000	10	585	80	4200	0,30	2,70	0,33
		0,90	23				11				0,30	2,40	0,33
		0,80	22				12				0,30	2,10	0,38
		0,80	21				13				0,30	1,90	0,38
		0,70	19				14				0,30	1,70	0,43
		1,70	38				7				0,50	6,50	0,29
		1,60	39				8				0,50	5,90	0,31
		1,60	40				9				0,60	5,30	0,38
		1,60	40				10				0,60	4,70	0,38
		1,50	39				11				0,60	4,20	0,40
	3	1,40	38	0,02	400	38000	12	421	95	4200	0,70	3,70	0,50
		1,40	37				13				0,70	3,30	0,50
		1,30	36				14				0,60	3,00	0,46
		1,20	34				15				0,60	2,70	0,50
		1,20	33				16				0,60	2,40	0,50
		1,10	31				17				0,60	2,20	0,55
31													
		0,90	20				7				0,20	4,30	0,22
		0,90	21				8				0,20	3,50	0,22
		0,90	22				9				0,30	3,00	0,33
	3	0,90	22	0,00	250	20000	10	585	80	4200	0,30	2,60	0,33
		0,80	22				11				0,30	2,30	0,38
		0,80	21				12				0,30	2,10	0,38
		0,80	20				13				0,30	1,80	0,38
		0,70	20				14				0,30	1,60	0,43
		1,60	35				7				0,50	6,30	0,31
		1,50	37				8				0,50	5,80	0,33
		1,50	37				9				0,50	5,20	0,33
	3	1,50	37	0,02	400	38000	10	421	95	4200	0,60	4,60	0,40
		1,50	37				11				0,60	4,10	0,40
		1,40	36				12				0,60	3,60	0,43
		1,30	35				13				0,60	3,20	0,46
		1,20	34				14				0,60	2,90	0,50
32													
		0,80	18				7				0,20	4,30	0,25
		0,80	19				8				0,20	3,60	0,25
		0,80	20				9				0,20	3,00	0,25
	3	0,80	20	0,00	250	20000	10	585	80	4200	0,30	2,60	0,38
		0,80	20				11				0,30	2,40	0,38
		0,80	20				12				0,30	2,10	0,38
		0,70	19				13				0,30	1,90	0,43
		0,70	17				14				0,30	1,60	0,43
		1,40	32				7				0,40	6,20	0,29
		1,40	34				8				0,50	5,60	0,36
		1,40	34				9				0,50	5,20	0,36
	3	1,40	34	0,02	400	38000	10	421	95	4200	0,50	4,60	0,36
		1,30	34				11				0,60	4,10	0,46
		1,30	34				12				0,60	3,70	0,46
		1,20	33				13				0,60	3,40	0,50
		1,10	32				14				0,50	3,10	0,45

33													
	3	0,70	16	0,00	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,20	4,10	0,29
		0,70	17				8					0,20	3,50	0,29
		0,70	18				9					0,20	3,00	0,29
		0,70	18				10					0,20	2,50	0,29
		0,70	18				11					0,30	2,30	0,43
		0,70	18				12					0,30	2,00	0,43
		0,60	18				13					0,30	1,80	0,50
		0,60	17				14					0,30	1,60	0,50
	3	1,30	29	0,02	400	38000	7	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,40	5,90	0,31
		1,30	30				8					0,40	5,40	0,31
		1,30	31				9					0,50	5,00	0,38
		1,30	31				10					0,50	4,40	0,38
		1,20	31				11					0,50	3,90	0,42
		1,20	31				12					0,50	3,60	0,42
		1,20	30				13					0,50	3,20	0,42
		1,10	30				14					0,50	2,90	0,45
34														
	3	0,70	16	0,00	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,20	4,00	0,29
		0,80	17				8					0,20	3,50	0,25
		0,80	18				9					0,20	3,00	0,25
		0,80	19				10					0,20	2,50	0,25
		0,70	19				11					0,20	2,20	0,29
		0,70	18				12					0,20	2,00	0,29
		0,60	18				13					0,20	1,80	0,33
		0,60	17				14					0,20	1,60	0,33
	3	1,30	29	0,02	400	38000	7	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,40	5,60	0,31
		1,30	30				8					0,40	5,20	0,31
		1,30	31				9					0,40	4,80	0,31
		1,30	31				10					0,50	4,40	0,38
		1,20	31				11					0,50	3,90	0,42
		1,20	31				12					0,50	3,50	0,42
		1,10	30				13					0,50	3,00	0,45
		1,00	29				14					0,50	2,60	0,50
35														
	3	0,60	13	0,00	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,20	4,00	0,33
		0,70	15				8					0,20	3,40	0,29
		0,70	16				9					0,20	2,90	0,29
		0,70	16				10					0,20	2,50	0,29
		0,60	16				11					0,20	2,20	0,33
		0,60	16				12					0,20	2,00	0,33
		0,60	16				13					0,20	1,80	0,33
		0,60	16				14					0,20	1,60	0,33
	3	1,20	25	0,02	400	38000	7	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,30	5,50	0,25
		1,20	26				8					0,40	5,00	0,33
		1,10	27				9					0,40	4,80	0,36
		1,10	28				10					0,40	4,30	0,36
		1,10	28				11					0,50	3,90	0,45
		1,10	28				12					0,50	3,40	0,45
		1,00	28				13					0,50	3,10	0,50
		1,00	27				14					0,50	2,80	0,50
36														
	3	0,60	13	0,00	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,20	4,00	0,33
		0,60	14				8					0,20	3,40	0,33
		0,70	15				9					0,20	3,00	0,29
		0,70	16				10					0,20	2,50	0,29
		0,60	16				11					0,20	2,20	0,33
		0,60	16				12					0,20	2,00	0,33
		0,60	16				13					0,20	1,80	0,33
		0,50	15				14					0,10	1,60	0,20
	3	1,20	24	0,02	400	38000	7	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,30	5,30	0,25
		1,20	26				8					0,30	5,00	0,25
		1,10	26				9					0,40	4,60	0,36
		1,10	27				10					0,40	4,20	0,36
		1,10	27				11					0,40	3,80	0,36
		1,10	27				12					0,40	3,40	0,36
		1,10	26				13					0,50	3,10	0,45
		1,00	26				14					0,50	2,80	0,50
37														
	3	1,30	32	0,00	250	20000	7	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,20	7,90	0,15
		1,20	30				8					0,20	6,20	0,17
		1,20	29				9					0,20	5,00	0,17
		1,10	27				10					0,20	4,00	0,18
		1,00	26				11					0,20	3,40	0,20
		0,90	24				12					0,20	2,80	0,22
		0,90	23				13					0,20	2,40	0,22
		0,80	22				14					0,20	2,10	0,25
	3	2,40	56	0,02	400	38000	7	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,30	13,30	0,13
		2,20	53				8					0,30	10,20	0,14
		2,00	50				9					0,30	8,40	0,15
		1,90	48				10					0,40	6,90	0,21
		1,70	45				11					0,40	5,70	0,24
		1,60	42				12					0,40	4,80	0,25
		1,50	40				13					0,40	4,10	0,27
		1,40	38				14					0,40	3,60	0,29

38

	1,30	30				7				0,10	7,90	0,08
	1,20	29				8				0,20	6,20	0,17
	1,10	28				9				0,20	4,90	0,18
3	1,00	26	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,20	4,00	0,20
	1,00	25				11					0,20	3,40	0,20
	0,90	24				12					0,20	2,80	0,22
	0,80	22				13					0,20	2,40	0,25
	0,80	21				14					0,20	2,10	0,25
	2,20	54				7					0,30	13,30	0,14
	2,10	51				8					0,30	10,40	0,14
	2,00	49				9					0,30	8,40	0,15
3	1,80	46	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,30	6,90	0,17
	1,70	43				11					0,40	5,70	0,24
	1,60	41				12					0,40	4,80	0,25
	1,50	39				13					0,40	4,10	0,27
	1,40	37				14					0,40	3,60	0,29

IMPIANTO CENTRALE CON 4 SORGENTI

Diametro Rotatoria [m]	N° sorg	Lm	Em	Rn	W	Flusso	H pali	Imax	Eff Lamp	Kelvin	Apparecchio + Lampada JM-MH	Lmin	Lmax	Uo
20														
		2,30	60				7					0,70	6,10	0,30
		2,00	55				8					0,70	4,90	0,35
		1,80	50				9					0,70	4,10	0,39
	4	1,60	45	0,00	150	12500	10	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,80	3,40	0,50
		1,50	41				11					0,80	2,80	0,53
		1,30	38				12					0,80	2,40	0,62
		1,20	34				13					0,80	2,10	0,67
		1,10	31				14					0,70	1,80	0,64
		3,40	89				7					1,00	9,10	0,29
		3,00	82				8					1,00	7,30	0,33
		2,70	75				9					1,10	6,10	0,41
	4	2,40	69	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	1,20	5,00	0,50
		2,20	63				11					1,20	4,30	0,55
		2,00	57				12					1,20	3,70	0,60
		1,80	52				13					1,20	3,20	0,67
		1,60	48				14					1,10	2,80	0,69
		5,90	155				7					2,60	16,80	0,44
		5,30	144				8					2,60	13,50	0,49
		4,80	132				9					2,50	11,10	0,52
	4	4,30	121	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	2,40	9,10	0,56
		3,90	111				11					2,40	7,60	0,62
		3,50	101				12					2,30	6,50	0,66
		3,20	98				13					2,30	5,80	0,72
		3,00	95				14					2,20	5,00	0,73
21														
		1,90	50				7					0,60	5,70	0,32
		1,70	47				8					0,60	4,60	0,35
		1,60	43				9					0,60	3,80	0,38
	4	1,40	40	0,00	150	12500	10	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,70	3,10	0,50
		1,30	36				11					0,70	2,70	0,54
		1,20	33				12					0,70	2,30	0,58
		1,10	31				13					0,70	1,90	0,64
		1,00	28				14					0,60	1,70	0,60
		3,00	79				7					0,90	9,00	0,30
		2,80	74				8					0,90	7,30	0,32
		2,50	68				9					1,00	6,00	0,40
	4	2,30	63	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	1,00	5,00	0,43
		2,10	58				11					1,10	4,30	0,52
		1,90	53				12					1,10	3,70	0,58
		1,70	49				13					1,10	3,20	0,65
		1,60	45				14					1,00	2,80	0,63
		5,30	137				7					2,30	16,30	0,43
		4,80	129				8					2,30	13,20	0,48
		4,40	120				9					2,30	10,80	0,52
	4	4,00	111	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	2,20	8,90	0,55
		3,70	103				11					2,20	7,50	0,59
		3,30	94				12					2,10	6,40	0,64
		3,00	87				13					2,00	5,50	0,67
		2,80	80				14					1,90	4,70	0,68
22														
		1,90	49				7					0,50	5,80	0,26
		1,70	46				8					0,60	4,70	0,35
		1,60	43				9					0,60	3,90	0,38
	4	1,40	39	0,00	150	12500	10	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,60	3,30	0,43
		1,30	36				11					0,70	2,80	0,54
		1,20	34				12					0,70	2,40	0,58
		1,10	32				13					0,70	2,20	0,64
		1,00	29				14					0,60	1,80	0,70
		2,80	73				7					0,80	8,60	0,29
		2,60	68				8					0,80	7,00	0,31
		2,40	64				9					0,90	5,80	0,38
	4	2,20	59	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,90	4,90	0,41
		2,00	55				11					1,00	4,10	0,50
		1,80	51				12					1,00	3,60	0,56
		1,60	47				13					1,00	3,10	0,63
		1,50	43				14					1,00	2,70	0,56
		4,90	126				7					2,10	16,00	0,43
		4,70	119				8					2,10	13,00	0,45
		4,20	112				9					2,10	10,70	0,50
	4	3,80	105	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	2,00	8,90	0,53
		3,50	97				11					2,00	7,50	0,57
		3,20	90				12					1,90	6,40	0,59
		3,00	85				13					1,90	5,20	0,63
		2,70	77				14					1,80	4,80	0,67

23														
		1,80	45				7					0,50	5,50	0,28
		1,60	42				8					0,50	4,70	0,31
		1,50	40				9					0,50	3,90	0,33
	4	1,40	37	0,00	150	12500	10	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,60	3,20	0,43
		1,20	34				11					0,60	2,70	0,50
		1,10	32				12					0,60	2,30	0,55
		1,00	29				13					0,60	2,00	0,60
		1,00	27				14					0,60	1,80	0,60
		2,60	66				7					0,70	8,30	0,27
		2,40	63				8					0,70	7,00	0,29
		2,20	60				9					0,80	5,80	0,36
	4	2,00	56	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,80	4,90	0,40
		1,90	52				11					0,90	4,10	0,47
		1,70	48				12					0,90	3,50	0,53
		1,60	44				13					0,90	3,10	0,56
		1,40	41				14					0,90	2,70	0,64
		5,00	115				7					2,00	15,60	0,40
		4,20	110				8					1,90	12,80	0,45
		3,90	104				9					1,90	10,60	0,49
	4	3,60	98	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	1,90	8,80	0,53
		3,30	91				11					1,80	7,40	0,55
		3,00	85				12					1,80	6,30	0,60
		2,80	79				13					1,80	5,50	0,64
		2,60	73				14					1,70	4,70	0,65
24														
		1,60	39				7					0,40	4,40	0,25
		1,50	38				8					0,50	3,70	0,33
		1,40	36				9					0,50	3,30	0,36
	4	1,30	34	0,00	150	12500	10	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,50	2,90	0,38
		1,20	32				11					0,50	2,50	0,42
		1,10	30				12					0,50	2,10	0,45
		1,00	27				13					0,60	1,90	0,60
		0,90	26				14					0,60	1,70	0,67
		2,30	58				7					0,60	6,50	0,26
		2,20	57				8					0,70	5,70	0,32
		2,00	54				9					0,70	5,00	0,35
	4	1,90	51	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,70	4,30	0,37
		1,70	48				11					0,80	3,70	0,47
		1,60	45				12					0,80	3,20	0,50
		1,50	41				13					0,80	2,80	0,53
		1,40	39				14					0,80	2,50	0,57
		4,00	100				7					1,70	12,80	0,43
		3,80	97				8					1,80	10,90	0,47
		3,50	93				9					1,80	9,30	0,51
	4	3,30	89	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	1,70	8,00	0,52
		3,10	84				11					1,70	6,90	0,55
		2,80	79				12					1,70	6,00	0,61
		2,60	75				13					1,70	5,50	0,65
		2,40	70				14					1,80	5,00	0,75
25														
		1,40	35				7					0,40	4,00	0,29
		1,30	34				8					0,40	3,60	0,31
		1,20	33				9					0,40	3,30	0,33
	4	1,20	31	0,00	150	12500	10	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,50	2,90	0,42
		1,10	29				11					0,50	2,50	0,45
		1,00	28				12					0,50	2,10	0,50
		0,90	26				13					0,50	1,90	0,56
		0,90	24				14					0,50	1,70	0,56
		2,10	51				7					0,60	5,90	0,29
		2,00	51				8					0,60	5,40	0,30
		1,90	49				9					0,60	4,80	0,32
	4	1,70	47	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,70	4,30	0,41
		1,60	44				11					0,70	3,70	0,44
		1,50	41				12					0,70	3,20	0,47
		1,40	39				13					0,80	2,80	0,57
		1,30	36				14					0,80	2,50	0,62
		3,60	89				7					1,60	12,60	0,44
		3,40	87				8					1,70	10,80	0,50
		3,20	85				9					1,60	9,20	0,50
	4	3,00	81	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	1,60	7,90	0,53
		2,80	77				11					1,60	6,80	0,57
		2,60	73				12					1,60	5,90	0,62
		2,50	69				13					1,50	5,20	0,60
		2,30	65				14					1,50	4,50	0,65

26														
	1,30	32				7					0,30	3,70	0,23
	1,20	32				8					0,40	3,40	0,33
	1,20	31				9					0,40	4,10	0,33
4	1,10	29	0,00	150	12500	10	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,40	2,80	0,36
	1,00	28				11					0,40	2,40	0,40
	1,00	26				12					0,40	2,10	0,40
	0,90	24				13					0,50	1,80	0,56
	0,80	23				14					0,50	1,60	0,63
	1,90	47				7					0,50	5,50	0,26
	1,80	47				8					0,50	5,20	0,28
	1,80	46				9					0,60	4,10	0,33
4	1,70	44	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,60	4,70	0,35
	1,50	42				11					0,60	3,60	0,40
	1,40	39				12					0,70	3,10	0,50
	1,30	37				13					0,70	2,70	0,54
	1,20	35				14					0,70	2,40	0,58
	3,00	81				7					1,40	12,00	0,47
	3,00	80				8					1,50	10,00	0,50
	3,00	78				9					1,50	9,00	0,50
4	2,90	76	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	1,50	7,70	0,52
	2,70	72				11					1,50	6,70	0,56
	2,50	69				12					1,50	5,80	0,60
	2,40	65				13					1,40	5,10	0,58
	2,20	61				14					1,40	4,50	0,64
27													
	1,10	28				7					0,30	3,60	0,27
	1,10	28				8					0,30	3,30	0,27
	1,10	28				9					0,40	3,00	0,36
4	1,00	27	0,00	150	12500	10	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,40	2,70	0,40
	1,00	26				11					0,40	2,40	0,40
	0,90	24				12					0,40	2,10	0,44
	0,80	23				13					0,40	1,80	0,50
	0,80	22				14					0,40	1,60	0,50
	1,70	43				7					0,40	5,40	0,24
	1,70	42				8					0,50	5,00	0,29
	1,60	41				9					0,50	4,60	0,31
4	1,50	40	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,60	4,00	0,40
	1,40	38				11					0,60	3,60	0,43
	1,30	36				12					0,60	3,10	0,46
	1,30	35				13					0,60	2,70	0,46
	1,20	33				14					0,70	2,40	0,58
	3,00	72				7					1,40	11,90	0,5
	2,90	72				8					1,40	10,30	0,5
	2,80	71				9					1,40	8,80	0,5
4	2,70	69	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	1,40	7,60	0,5
	2,50	67				11					1,40	6,60	0,6
	2,40	64				12					1,40	5,80	0,6
	2,20	61				13					1,30	5,10	0,6
	2,10	58				14					1,30	4,50	0,6
28													
	1,00	25				7					0,30	2,80	0,32
	1,00	26				8					0,30	2,60	0,35
	1,00	26				9					0,30	2,40	0,39
4	0,90	25	0,00	150	12500	10	652	83,33	4000	Ellisse VL 150W stand.+ OSRAM HQIT150NDL	0,30	2,10	0,39
	0,90	24				11					0,40	1,90	0,44
	0,80	23				12					0,40	1,70	0,50
	0,80	21				13					0,40	1,50	0,50
	0,70	19				14					0,40	1,30	0,57
	1,50	37				7					0,40	4,10	0,27
	1,50	38				8					0,40	3,90	0,27
	1,50	38				9					0,50	3,50	0,33
4	1,40	37	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,50	3,20	0,36
	1,30	36				11					0,50	2,90	0,38
	1,30	34				12					0,50	2,60	0,38
	1,20	33				13					0,60	2,30	0,50
	1,10	31				14					0,60	2,10	0,55
	2,70	65				7					1,20	8,00	0,44
	2,60	65				8					1,30	7,40	0,50
	2,50	65				9					1,30	6,80	0,52
4	2,40	64	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	1,30	6,20	0,54
	2,30	62				11					1,30	5,50	0,57
	2,20	60				12					1,30	5,00	0,59
	2,10	59				13					1,30	2,70	0,62
	2,10	57				14					1,30	4,50	0,62

29														
		1,40	34				7				0,30	4,00	0,21
		1,40	35				8				0,40	2,80	0,29
		1,40	35				9				0,40	3,40	0,29
	4	1,30	34	0,00	250	20000	10	585	80	4200	0,50	3,10	0,38
		1,30	33				11				0,50	2,80	0,38
		1,20	32				12				0,50	2,50	0,42
		1,10	31				13				0,50	2,30	0,45
		1,10	29				14				0,50	2,10	0,45
		2,50	59				7				1,10	7,80	0,44
		2,40	60				8				1,20	7,30	0,50
		2,40	60				9				1,20	6,70	0,50
	4	2,30	59	0,02	400	38000	10	421	95	4200	1,20	6,00	0,52
		2,20	57				11				1,20	5,50	0,55
		2,10	56				12				1,20	4,90	0,57
		2,00	54				13				1,20	4,40	0,60
		1,90	51				14				1,20	4,00	0,63
30														
		1,20	29				7				0,30	3,40	0,25
		1,30	31				8				0,40	2,90	0,31
		1,20	31				9				0,40	2,80	0,33
	4	1,20	31	0,00	250	20000	10	585	80	4200	0,40	2,70	0,33
		1,20	31				11				0,40	2,70	0,33
		1,10	30				12				0,50	2,50	0,45
		1,00	28				13				0,50	2,40	0,50
		0,90	26				14				0,50	2,20	0,56
		2,20	51				7				1,00	7,40	0,45
		2,20	53				8				1,10	7,00	0,50
		2,10	53				9				1,10	6,40	0,52
	4	2,10	53	0,02	400	38000	10	421	95	4200	1,10	5,80	0,52
		2,00	52				11				1,10	5,30	0,55
		1,90	51				12				1,10	4,80	0,58
		1,80	49				13				1,10	4,30	0,61
		1,60	48				14				1,10	3,90	0,69
31														
		1,10	27				7				0,30	3,40	0,27
		1,20	28				8				0,30	2,90	0,25
		1,20	29				9				0,40	2,70	0,33
	4	1,10	29	0,00	250	20000	10	585	80	4200	0,40	2,50	0,36
		1,10	29				11				0,40	2,50	0,36
		1,10	28				12				0,40	2,40	0,36
		1,00	27				13				0,40	2,20	0,40
		1,00	26				14				0,50	2,00	0,50
		2,10	48				7				1,00	7,20	0,48
		2,00	49				8				1,00	6,80	0,50
		2,00	50				9				1,10	6,30	0,55
		2,00	50				10				1,10	5,70	0,55
	4	1,90	49	0,02	400	38000	11	421	95	4200	1,10	5,20	0,58
		1,80	48				12				1,10	4,70	0,61
		1,70	47				13				1,10	4,30	0,65
		1,70	45				14				1,00	3,90	0,59
		1,50	42				16				1,00	3,10	0,67
32														
		1,00	24				7				0,30	3,10	0,30
		1,10	26				8				0,30	2,80	0,27
		1,00	27				9				0,30	2,50	0,30
	4	1,10	27	0,00	250	20000	10	585	80	4200	0,40	2,50	0,36
		1,00	27				11				0,40	2,40	0,40
		1,00	26				12				0,40	2,30	0,40
		0,90	25				13				0,40	2,10	0,44
		0,80	24				14				0,30	1,90	0,38
		1,90	43				7				0,90	6,90	0,47
		1,90	45				8				1,00	6,60	0,53
		1,90	45				9				1,00	6,10	0,53
		1,80	46				10				1,00	5,60	0,56
	4	1,80	45	0,02	400	38000	11	421	95	4200	1,00	5,10	0,56
		1,70	45				12				1,00	4,70	0,59
		1,70	44				13				1,00	4,20	0,59
		1,60	43				14				1,00	3,80	0,63
		1,50	41				15				1,00	3,40	0,67
33														
		0,90	20				7				0,20	2,40	0,22
		0,90	22				8				0,30	2,40	0,33
		1,00	24				9				0,30	2,30	0,30
	4	1,00	24	0,00	250	20000	10	585	80	4200	0,30	2,30	0,30
		1,00	24				11				0,40	2,30	0,40
		0,90	24				12				0,40	2,20	0,44
		0,90	23				13				0,40	2,10	0,44
		0,90	23				14				0,40	2,00	0,44
		1,70	38				7				0,80	6,50	0,47
		1,70	40				8				0,90	6,30	0,53
		1,70	41				9				0,90	5,90	0,53
		1,70	42				10				1,00	5,40	0,59
	4	1,60	42	0,02	400	38000	11	421	95	4200	1,00	5,00	0,63
		1,60	41				12				0,90	4,50	0,56
		1,50	41				13				0,90	4,10	0,60
		1,50	40				14				0,90	3,70	0,60
		1,40	39				15				0,90	3,40	0,64

34														
	0,90	21				7					0,20	2,80	0,22
	1,00	23				8					0,20	2,80	0,20
	1,00	24				9					0,30	2,80	0,30
4	1,00	25	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,30	2,60	0,30
	1,00	25				11					0,30	2,40	0,30
	0,90	24				12					0,30	2,20	0,33
	0,80	24				13					0,30	2,00	0,38
	0,80	23				14					0,30	1,80	0,38
	1,80	39				7					0,70	6,10	0,39
	1,80	40				8					0,80	6,00	0,44
	1,70	41				9					0,90	5,70	0,53
4	1,70	42	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,90	5,20	0,53
	1,70	42				11					0,90	4,80	0,53
	1,60	41				12					0,90	4,40	0,56
	1,60	41				13					0,90	4,00	0,56
	1,50	40				14					0,90	3,70	0,60
35													
	0,80	17				7					0,20	2,20	0,25
	0,90	18				8					0,20	2,20	0,22
	0,90	19				9					0,30	2,10	0,33
4	0,90	21	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,30	2,10	0,33
	0,90	22				11					0,30	2,10	0,33
	0,90	23				12					0,30	2,00	0,33
	0,80	22				13					0,30	1,90	0,38
	0,80	21				14					0,30	1,80	0,38
	1,60	33				7					0,70	5,90	0,44
	1,50	35				8					0,80	5,90	0,53
	1,50	36				9					0,80	5,50	0,53
4	1,50	37	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,80	5,10	0,53
	1,50	37				11					0,80	4,70	0,53
	1,40	37				12					0,80	4,30	0,57
	1,40	36				13					0,80	4,00	0,57
	1,40	36				14					0,80	3,60	0,57
36													
	0,80	17				7					0,20	2,50	0,25
	0,80	19				8					0,20	2,40	0,25
	0,80	20				9					0,20	2,20	0,25
4	0,90	21	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,30	2,00	0,33
	0,80	21				11					0,30	2,00	0,38
	0,80	21				12					0,30	2,00	0,38
	0,70	20				13					0,30	1,90	0,43
	0,70	19				14					0,30	1,70	0,43
	1,60	32				7					0,60	5,60	0,38
	1,50	34				8					0,70	5,60	0,47
	1,50	35				9					0,70	5,30	0,47
4	1,50	36	0,02	400	38000	10	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,80	5,00	0,53
	1,50	36				11					0,80	4,60	0,53
	1,40	36				12					0,80	4,20	0,57
	1,30	36				13					0,80	3,90	0,62
	1,30	35				14					0,80	3,50	0,62
37													
	1,80	42				7					0,20	10,30	0,11
	1,60	40				8					0,20	8,00	0,13
	1,50	38				9					0,20	6,50	0,13
4	1,40	36	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,20	5,30	0,14
	1,30	34				11					0,30	4,40	0,23
	1,20	32				12					0,30	3,70	0,25
	1,10	31				13					0,30	3,20	0,27
	1,10	29				14					0,30	2,80	0,27
	3,10	75				7					0,60	17,80	0,19
	2,90	71				8					0,60	13,90	0,21
	2,70	67				9					0,70	11,10	0,26
	2,50	63				10					0,70	9,10	0,28
	2,30	60				11					0,80	7,60	0,35
4	2,10	56	0,02	400	38000	12	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,80	6,40	0,38
	2,00	53				13					0,80	5,50	0,40
	1,90	50				14					0,80	4,80	0,42
	1,70	47				15					0,70	4,20	0,41
	1,60	45				16					0,70	3,70	0,44
	1,50	42				17					0,70	3,30	0,47
38													
	1,70	40				7					0,20	10,00	0,12
	1,60	39				8					0,20	8,00	0,13
	1,50	37				9					0,20	6,50	0,13
4	1,40	35	0,00	250	20000	10	585	80	4200	Ellisse VL 250W stand.+ OSRAM HQITS250NDL	0,20	5,30	0,14
	1,30	33				11					0,20	4,40	0,15
	1,20	31				12					0,30	3,70	0,25
	1,10	30				13					0,30	3,20	0,27
	1,00	28				14					0,30	2,80	0,30
	3,00	72				7					0,50	17,70	0,17
	2,80	69				8					0,60	15,80	0,21
	2,60	65				9					0,60	11,10	0,23
	2,40	61				10					0,70	9,00	0,29
	2,20	58				11					0,70	7,60	0,32
4	2,10	55	0,02	400	38000	12	421	95	4200	Iperbole VL 400W stand.+ OSRAM HQITS400NDL	0,70	6,40	0,33
	1,90	51				13					0,70	5,50	0,37
	1,80	49				14					0,70	4,80	0,39
	1,70	46				15					0,70	4,20	0,41
	1,60	43				16					0,70	3,70	0,44
	1,50	41				17					0,70	3,30	0,47

ALLEGATO D

Accessori delle lampade a scarica

Tutte le lampade a scarica hanno bisogno di apparecchiature ausiliarie che devono determinare le condizioni per l'innesco della scarica e stabilizzare la scarica stessa.
Hanno inoltre particolare importanza i dispositivi per la regolazione del flusso luminoso emesso dalle lampade.
I dispositivi di cui possiamo dotarci per lampade agli ioduri metallici, possono essere così classificati :

- **Dispositivi di Innesco**
- **Regolatori di Flusso Luminoso**

Dispositivi di Innesco

Appartengono a questa categoria gli *accenditori*, utilizzati per le lampade ad alogenuri metallici e a vapori di sodio ad alta pressione.
Queste lampade richiedono all'accensione elevate tensioni impulsive (1 kV per le lampade a ioduri e fino a 2 – 4 kV per quelle SAP.
Fra i vari tipi di accenditori quelli che presentano le caratteristiche migliori sono di tipo elettronico, collegati in serie o in derivazione.
Nel caso di collegamento in serie il dispositivo è installato fra reattore di stabilizzazione e lampada; la caduta di tensione ai capi della lampada accesa determina il blocco dell'accenditore.
Utilizzando un collegamento in derivazione il dispositivo è installato ai capi della lampada; con tale soluzione si sfrutta anche il reattore di stabilizzazione.
Al momento dell'innesco per ogni semionda della tensione di rete a 50 Hz si devono avere un numero minimo di impulsi sincronizzati con la fase crescente della tensione di alimentazione; nel caso ciò non avvenga con i due tipi di collegamenti appena descritti, si ricorre a sistemi misti tipo serie-parallelo.

Regolatori di flusso luminoso

Il flusso luminoso emesso da una lampada può essere regolato dal valore massimo a zero (lampade ad incandescenza) o a un valore compatibile con il regolare funzionamento della stessa (lampade a scarica) a mezzo di opportuni dispositivi che riducono in modo continuativo o a gradini la corrente della lampada.
Nel caso di lampade adoperate nella illuminazione stradale possono essere adoperati :

a) reattori aggiuntivi inseribili in serie o in parallelo a quello principale con la finalità di determinare un aumento di impedenza e una riduzione a gradino della corrente della lampada;
b) dispositivi a trasformatore con rapporto variabile o con booster di regolazione;
c) dispositivi elettronici che realizzano la regolazione parzializzando la tensione e quindi la corrente della lampada.

I regolatori con reattore aggiuntivo sono, di norma, di tipo monolampada e bilampada e per il loro funzionamento hanno bisogno di un circuito pilota che viene comandato dal quadro centrale di comando; i regolatori per illuminazione con trasformatore a rapporto variabile sono in genere di

tipo centralizzato e permettono di ridurre la tensione di alimentazione delle lampade in modo programmato controllandone la stabilizzazione.
Con la stabilizzazione della tensione di alimentazione i regolatori assicurano condizioni di funzionamento ottimale alle lampade determinando un allungamento della loro vita media.
Nel caso delle lampade a scarica, che consentano la regolazione, questa presenta un limite nelle minime tensioni e correnti di lampade che sono necessarie per una loro regolare riaccensione ciclica.

UNIVERSITA' DI PISA

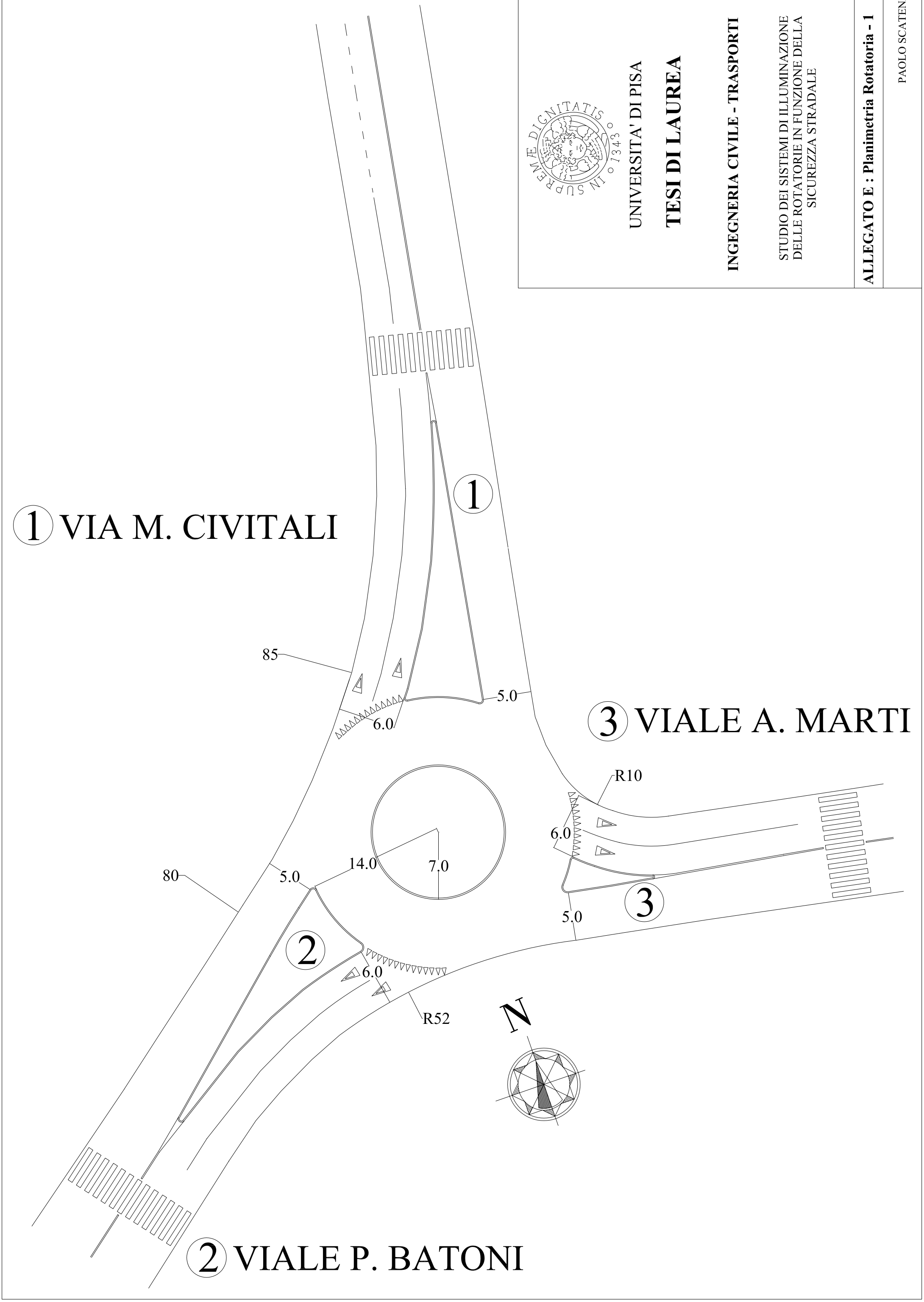
TESI DI LAUREA

INGEGNERIA CIVILE - TRASPORTI

STUDIO DEI SISTEMI DI ILLUMINAZIONE
DELLE ROTATORIE IN FUNZIONE DELLA
SICUREZZA STRADALE

ALLEGATO E : Planimetria Rotatoria - 1

PAOLO SCATENA

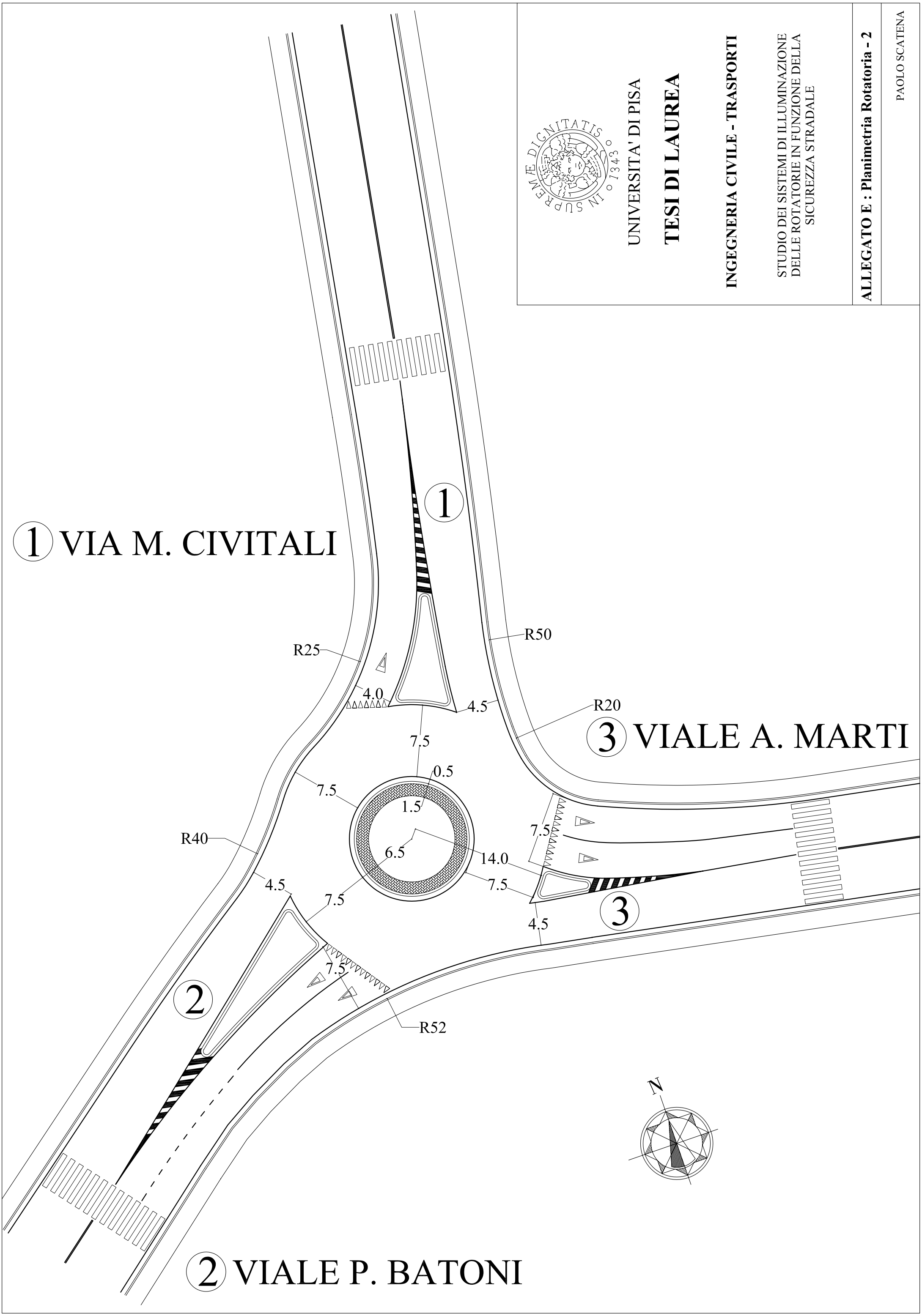


UNIVERSITA' DI PISA

TESI DI LAUREA

INGEGNERIA CIVILE - TRASPORTI

STUDIO DEI SISTEMI DI ILLUMINAZIONE
DELLE ROTATORIE IN FUNZIONE DELLA
SICUREZZA STRADALE

ALLEGATO E : Planimetria Rotatoria - 2

PAOLO SCATENA