

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

Dipartimento di Ingegneria Industriale DII

Corso di Laurea Specialistica in Ingegneria Elettrotecnica

***Progetto e analisi illuminotecnica
dell'impianto di illuminazione del campo
sportivo di Santa Giustina (BL)***

Relatore: Prof. Pietro Fiorentin

Correlatore: Dott. Andrea Bertolo

Studente: Alessandro Polli, matricola 583733

Anno Accademico 2016/2017.

*Ai miei genitori,
alla ragazza che amo
e a chi mi vuole bene.*

Indice

Sommario	- 9 -
Capitolo 1 – Introduzione	- 11 -
1.1 L'inquinamento luminoso	- 12 -
1.2 Il Comune di Santa Giustina e il suo impianto sportivo	- 14 -
1.3 Normative di riferimento	- 17 -
Capitolo 2 – Criteri per la progettazione illuminotecnica di campi da calcio e piste di atletica leggera.....	- 19 -
2.1 Criteri illuminotecnici	- 19 -
2.2 Sorgenti luminose.....	- 22 -
2.2.1 Lampade a scarica a ioduri metallici.....	- 22 -
2.2.2 Lampade a tecnologia LED	- 23 -
2.2.3 Considerazioni generali sulle tipologie di lampade	- 24 -
2.3 Apparecchi di illuminazione	- 24 -
2.3.1 Caratteristiche fotometriche.....	- 24 -
2.3.2 Ulteriori caratteristiche	- 27 -
2.3.3 Dati di targa degli apparecchi di illuminazione	- 28 -
2.3.4 Caratteristiche tecniche dei proiettori	- 28 -
2.3.5 Caratteristiche tecniche delle unità di alimentazione.....	- 29 -
2.4 Sostegni	- 29 -
2.4.1 Caratteristiche tecniche.....	- 29 -
2.4.2 Caratteristiche strutturali.....	- 31 -
2.4.3 Disposizione e caratteristiche dimensionali	- 31 -
2.5 Requisiti d'illuminazione: livelli e parametri.....	- 34 -
2.6 Verifiche illuminotecniche e reticolo di calcolo	- 37 -
2.7 Limitazione dell'abbagliamento.....	- 41 -
Capitolo 3 – Criteri per la progettazione dell'impianto elettrico	- 43 -
3.1 Generalità	- 43 -
3.2 Conformità alle norme dei componenti.....	- 44 -
3.3 Scelta del grado di protezione	- 44 -
3.4 Condotture.....	- 45 -
3.4.1 Generalità.....	- 45 -
3.4.2 Tipi di cavi e modalità di posa	- 45 -
3.4.3 Classificazione dei cavi secondo il Regolamento CPR (UE) 305/2011	- 47 -
3.5 Calcolo della sezione dei cavi	- 52 -

3.6	Prescrizioni per la sicurezza	- 54 -
3.6.1	Protezione contro i contatti diretti	- 54 -
3.6.2	Protezione contro i contatti indiretti.....	- 54 -
3.6.3	Protezione contro il sovraccarico	- 55 -
3.6.4	Protezione contro il cortocircuito.....	- 55 -
3.6.5	Protezione con impiego di componenti di classe II.....	- 56 -
3.6.6	Protezione per separazione elettrica.....	- 57 -
3.7	Quadri elettrici.....	- 57 -
3.8	Protezione contro i fulmini	- 58 -
Capitolo 4 – Progetto illuminotecnico impianto sportivo via Pulliere – Santa Giustina (BL)		
.....		- 59 -
4.1	Scelta della classe d’illuminazione.....	- 59 -
4.2	Disposizione e altezza torri faro	- 64 -
4.3	Informazioni generali al fine della progettazione illuminotecnica	- 69 -
4.4	Variante di progetto di illuminazione con lampade a ioduri metallici.....	- 73 -
4.4.1	Scelta del proiettore e della lampada.....	- 73 -
4.4.2	Illuminazione campo da calcio – illuminamento medio 75 lux	- 75 -
4.4.3	Illuminazione campo da calcio – illuminamento medio 100 lux	- 79 -
4.4.4	Illuminazione campo da calcio – illuminamento medio 150 lux	- 83 -
4.4.5	Illuminazione pista di atletica – illuminamento medio 50 lux	- 87 -
4.4.6	Illuminazione pista di atletica – illuminamento medio 75 lux	- 89 -
4.4.7	Considerazioni sulla simulazione illuminotecnica con lampade a ioduri metallici	- 92 -
4.5	Variante di progetto di illuminazione con lampade a tecnologia LED.....	- 92 -
4.5.1	Scelta del proiettore e della lampada.....	- 92 -
4.5.2	Illuminazione campo da calcio – illuminamento medio 75 lux	- 94 -
4.5.3	Illuminazione campo da calcio – illuminamento medio 100 lux	- 98 -
4.5.4	Illuminazione campo da calcio – illuminamento medio 150 lux	- 101 -
4.5.5	Illuminazione pista di atletica – illuminamento medio 50 lux	- 105 -
4.5.6	Illuminazione pista di atletica – illuminamento medio 75 lux	- 107 -
4.5.7	Considerazioni sulla simulazione illuminotecnica con lampade a tecnologia LED	- 110 -
4.6	Analisi energetica e analisi costi/benefici.....	- 114 -
4.7	Valutazione dei flussi dispersi nelle due varianti	- 122 -
Capitolo 5 – Realizzazione dell’impianto elettrico		- 147 -
5.1	Descrizione generale e schema a blocchi dell’impianto	- 147 -
5.2	Alimentazione elettrica e caratteristiche dell’interruttore generale	- 148 -

5.3 Caratteristiche del quadro elettrico generale	- 150 -
5.4 Caratteristiche dei quadri elettrici torri faro	- 151 -
5.5 Distribuzione principale e linee di alimentazione dei proiettori.....	- 152 -
5.6 Schemi elettrici unifilari.....	- 176 -
5.7 Protezione contro i fulmini.....	- 185 -
5.8 Realizzazione dell'impianto di terra.....	- 187 -
5.9 Verifiche impianto elettrico	- 188 -
5.10 Documentazione fotografica	- 192 -
Capitolo 6 – Conclusioni	- 197 -
Ringraziamenti.....	- 199 -
Riferimenti	- 201 -
Bibliografia:	- 201 -
Sitografia:.....	- 201 -

Sommario

Lo scopo di questa tesi è quello di proporre concretamente una soluzione progettuale dell'impianto di illuminazione del campo sportivo del Comune di Santa Giustina in Provincia di Belluno. Il progetto vuole rispondere a tre aspetti importantissimi e strettamente legati tra di loro: il corretto illuminamento del campo da calcio e della pista di atletica leggera, la possibilità di ottimizzare al massimo i consumi energetici dell'impianto e infine il contenimento dell'inquinamento luminoso.

Sono state valutate due possibili soluzioni illuminotecniche, una con lampade a ioduri metallici e un'altra con lampade a tecnologia LED. La prima soluzione permette di rispondere completamente ai tre aspetti sopra elencati, mentre con la soluzione a LED, oltre a non rispettare la legge regionale n.17 sul contenimento dell'inquinamento luminoso, non sempre si riesce ad illuminare rispettando i requisiti illuminotecnici richiesti.

Vengono quindi effettuati dei confronti tra i flussi luminosi emessi sotto e sopra l'altezza di installo dei proiettori nelle due diverse soluzioni. Sarà possibile apprezzare quanto il flusso luminoso emesso da proiettori con lampade a tecnologia LED sia nettamente superiore a quello emesso con proiettori che montano lampade a ioduri metallici. I proiettori a LED, installati inclinati per ottenere gli illuminamenti e le uniformità richieste dalle norme, sono assai inquinanti da un punto di vista luminoso.

Ad oggi, l'unica soluzione attuabile per illuminare il campo sportivo oggetto di questo elaborato è quella con proiettori che montano lampade a ioduri metallici. I proiettori a LED potranno essere utilizzati solamente quando si riuscirà, per quest'ultimi, a sviluppare delle ottiche in grado di illuminare correttamente pur rispettando la legge sull'inquinamento luminoso.

Capitolo 1

Introduzione

Il lavoro presentato all'interno di questa tesi nasce dal voler unire due delle mie passioni: da una parte l'interesse per l'illuminotecnica e del grande sviluppo che questa materia sta avendo negli ultimi anni, dall'altra la predilezione per il mondo dello sport e in particolare per il giuoco del calcio. Ecco quindi che in questo elaborato viene proposto il progetto dell'impianto di illuminazione del campo sportivo del Comune di Santa Giustina in Provincia di Belluno.

Attualmente l'impianto sportivo in questione è privo di illuminazione. Non è quindi possibile effettuare nessun tipo di manifestazione al suo interno dopo il calare del sole. Le squadre di calcio locali, che sfruttano il campo per le loro partite casalinghe, sono sempre obbligate, in caso di gare da disputare in notturna, a cercare campi alternativi che hanno però costi importanti per compagini dilettantistiche. Anche coloro che praticano l'atletica sono costretti ad allenarsi soltanto nel pomeriggio e questo comporta sicuramente una limitazione nello sviluppo di questo sport che, se potesse essere praticato anche durante la sera, porterebbe ad un maggior coinvolgimento di atleti.

Nelle pagine di questo documento, visto anche l'interesse mostrato dall'Amministrazione Comunale che negli ultimi anni ha seguito con attenzione il tema dell'inquinamento luminoso e dell'adeguamento degli impianti di illuminazione comunale, si vuole dare una risposta concreta, dal punto di vista della pianificazione, a tre aspetti importantissimi e strettamente legati tra di loro: il corretto illuminamento del campo da calcio e della pista di atletica leggera, la possibilità di ottimizzare al massimo i consumi energetici dell'impianto e infine, ma non certo per importanza, il contenimento dell'inquinamento luminoso.

Per poter raggiungere i livelli di illuminamento corretti si sono seguite alcune norme che devono essere alla base di un progetto illuminotecnico di un impianto sportivo: UNI EN 12193, UNI 11630 e le linee guida dettate dalla Lega Nazionale Dilettanti (LND).

L'ottimizzazione dei consumi energetici è stata realizzata predisponendo dei comandi appositi per l'inserzione/disinserzione dei proiettori al fine di consentire, sia per il giuoco del calcio che per la pratica dell'atletica leggera, la selezione della modalità di accensione in base alla tipologia e al livello di attività svolta.

Per la questione dell'inquinamento luminoso, che verrà approfondito già in questo capitolo con un paragrafo apposito, è stato recepito quanto specificato dalla Legge Regionale numero 17 del 7 agosto 2009.

Nei primi capitoli di questa tesi sono specificati quelli che sono i criteri fondamentali da seguire per una corretta progettazione illuminotecnica ed elettrica di un impianto sportivo costituito da un campo da calcio e da una pista di atletica.

Successivamente si entra nel “vivo” dell’elaborato, con un capitolo che propone diverse soluzioni progettuali dal punto di vista illuminotecnico, in particolare una soluzione con sorgenti luminose a scarica a ioduri metallici e un’altra con lampade a tecnologia LED. Le diverse simulazioni illuminotecniche sono state eseguite con il software di calcolo DIALux nella versione 4.13.

Per quanto riguarda il progetto elettrico, il capitolo di riferimento propone un’unica soluzione progettuale e più precisamente quella con l’utilizzo di proiettori che montano lampade a scarica a ioduri metallici. Questo perché, come sarà poi specificato nel capitolo con le diverse progettazioni illuminotecniche e nelle conclusioni di questa tesi, la tecnologia LED non permette, ad oggi, di soddisfare i requisiti illuminotecnici richiesti per un impianto sportivo come quello di Santa Giustina andando anche a rispettare quella che è la legge regionale n. 17 sul contenimento dell’inquinamento luminoso.

1.1 L’inquinamento luminoso

L’inquinamento luminoso è un’alterazione della quantità naturale di luce, presente nell’ambiente esterno durante le ore notturne, provocata dall’immissione di luce di cui l’uomo abbia responsabilità. Si tratta di un vero e proprio inquinamento: un inquinamento della luce, ma anche da luce.

Questo inquinamento è causato da qualunque impianto di illuminazione esterna notturna. L’inquinamento luminoso è prodotto sia dalla luce che proviene direttamente dalle sorgenti luminose (immissione diretta), sia dalla luce che proviene dalla diffusione di flusso luminoso riflesso da superfici o da oggetti illuminati con intensità eccessive.

Vale inoltre la pena soffermarsi sul concetto di inquinamento ottico: tale inquinamento è prodotto da quella luce, dispersa da una sorgente luminosa artificiale, che illumina direttamente un’area o un soggetto che non è richiesto di illuminare. Fondamentale è non confondere il disturbo prodotto dall’inquinamento ottico con il concetto di abbagliamento. In un impianto sportivo, ad esempio, dove solitamente i proiettori vengono installati su torri faro alte anche decine di metri, è abbagliamento il disturbo prodotto agli atleti dai proiettori che illuminano l’impianto stesso, mentre è inquinamento ottico il disturbo prodotto dagli stessi proiettori ad una persona o un animale che si trova nei dintorni del campo sportivo.

L’inquinamento luminoso ha molteplici effetti negativi: il più eclatante è l’aumento della luminosità del cielo notturno che, impedendo la visione delle stelle e degli altri corpi celesti, ci isola da quell’ambiente di cui noi, ed il nostro Pianeta, siamo parte integrante. L’effetto

negativo appena descritto è di tipo culturale, ma è giusto sottolineare che ci sono effetti negativi anche di tipo artistico, ecologico e psicologico.

Il contenimento dell'inquinamento luminoso consiste nell'illuminare in maniera razionale senza disperdere luce verso l'alto. Per ottenere questo è necessario utilizzare apparecchi e impianti correttamente progettati e montati e nel dosare la giusta quantità di luce in funzione del bisogno, senza costosi e dannosi eccessi.

Proprio per riuscire ad illuminare nella maniera più razionale possibile, la Regione Veneto, con la legge regionale n. 17 del 7 agosto 2009, "Nuove norme per il contenimento dell'inquinamento luminoso, il risparmio energetico nell'illuminazione per esterni e per la tutela dell'ambiente e dell'attività svolta dagli osservatori astronomici", ha voluto promuovere:

- la riduzione dell'inquinamento luminoso e ottico, nonché la riduzione dei consumi energetici da esso derivanti;
- l'uniformità dei criteri di progettazione per il miglioramento della qualità luminosa degli impianti per la sicurezza della circolazione stradale;
- la protezione dall'inquinamento luminoso dell'attività di ricerca scientifica e divulgativa svolta dagli osservatori astronomici;
- la protezione dall'inquinamento luminoso dell'ambiente naturale, inteso anche come territorio, dei ritmi naturali delle specie animali e vegetali, nonché degli equilibri ecologici sia all'interno che all'esterno delle aree naturali protette;
- la protezione dall'inquinamento dei beni paesistici;
- la salvaguardia della visione del cielo stellato, nell'interesse della popolazione regionale;
- la diffusione tra il pubblico delle tematiche relative all'inquinamento luminoso e la formazione di tecnici con competenze nell'ambito dell'illuminazione.

Senza entrare nel dettaglio di quanto specificato all'interno dei vari articoli della legge regionale n.17, vale comunque la pena sottolineare alcuni obblighi promulgati con questa norma che sono strettamente legati alla progettazione illuminotecnica di un impianto sportivo e quindi anche del campo sportivo del Comune di Santa Giustina.

Innanzitutto il progetto illuminotecnico relativo agli impianti esterni comunali deve essere redatto da un professionista appartenente alle figure professionali dello specifico settore, iscritto agli ordini o collegi professionali, con curriculum specifico e formazione adeguata, conseguita anche attraverso la partecipazione ai corsi di formazione promossi dalla Regione Veneto. Il progetto illuminotecnico deve poi ovviamente essere sviluppato nel rispetto delle normative tecniche vigenti del Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) e dell'Ente Nazionale

di Unificazione (UNI) e deve essere accompagnato da una certificazione del progettista di rispondenza dell'impianto ai requisiti della presente legge.

Con la data di entrata in vigore della legge regionale n.17 la progettazione e l'esecuzione successiva degli impianti di illuminazione esterna, pubblica e privata, devono conformarsi a tutta una serie di disposizioni. Affinché un impianto di illuminazione esterna si possa considerare conforme ai principi di contenimento dell'inquinamento luminoso e del consumo energetico deve essere costituito di apparecchi illuminanti aventi un'intensità luminosa massima compresa tra 0 e 0,49 cd per 1000 lm di flusso luminoso totale emesso a novanta gradi e oltre, deve essere equipaggiato di lampade ad avanzata tecnologia ed elevata efficienza luminosa e deve essere provvisto di appositi dispositivi che abbassano i costi energetici e manutentivi, agendo sull'intero impianto e riducendo il flusso luminoso.

Per quanto riguarda l'illuminazione degli impianti sportivi, è concessa deroga ai requisiti sopra elencati soltanto per quegli impianti progettati per contenere oltre 5000 spettatori, ma questo non è il caso del campo sportivo principale del Comune di Santa Giustina che quindi dovrà presentare un impianto di illuminazione che risponde completamente alle disposizioni stabilite dalla legge regionale n.17.

Per illuminare correttamente un impianto sportivo con sistemi a torre faro è preferibile utilizzare proiettori con ottiche asimmetriche ed inclinazione 0° (vetro piano orizzontale) verso terra.

Tra i vari compiti dei Comuni stabiliti dalla norma per il contenimento dell'inquinamento luminoso, c'è quello di dotarsi del piano dell'illuminazione per il contenimento dell'inquinamento luminoso (PICIL). Il PICIL è l'atto di programmazione per la realizzazione dei nuovi impianti di illuminazione e per ogni intervento di modifica, adeguamento, manutenzione, sostituzione e integrazione sulle installazioni di illuminazione esistenti nel territorio comunale alla data di entrata in vigore della legge regionale in questione.

Il Comune di Santa Giustina si è dotato di questo piano nel marzo 2014 e il progetto proposto in questo lavoro di tesi, nelle sue varianti di calcolo, vuole ovviamente essere in linea, oltre che con la normativa vigente, anche con quanto stabilito all'interno del PICIL, con lo scopo di limitare al massimo l'inquinamento luminoso.

1.2 Il Comune di Santa Giustina e il suo impianto sportivo

Il Comune di Santa Giustina è uno dei 64 comuni della Provincia di Belluno, situato interamente nella destra orografica del fiume Piave che ne costituisce il confine meridionale. Posto nel baricentro ideale dell'ampia valle del Piave, è equidistante dai due principali comuni della Provincia, Belluno e Feltre, collegato ad essi dalla strada statale 50 del Grappa e del Passo Rolle. A occidente il territorio è delimitato dal torrente Salmenega, mentre a oriente è

ancora un altro fiume, il Cordevole, a segnare i confini. Il fiume Cordevole, che proprio nel Comune di Santa Giustina si immette nel Piave, è il maggior affluente di quest'ultimo. Il territorio comunale è caratterizzato da un esteso e variegato paesaggio di campagne pianeggianti e colline, prima di spingersi alle pendici delle vette dolomitiche del monte Pizzocco (2186 m), del monte Tre Pietre (1965 m) e del monte Palmar (1484 m) al confine settentrionale. Sul livello del mare il punto più basso viene toccato a 280 m, mentre il più alto è posto sulla cima del monte Pizzocco a 2186 m, per un dislivello altimetrico all'interno del Comune di circa 1900 m.

Con i suoi 6773 abitanti, Santa Giustina è il sesto Comune della Provincia di Belluno.

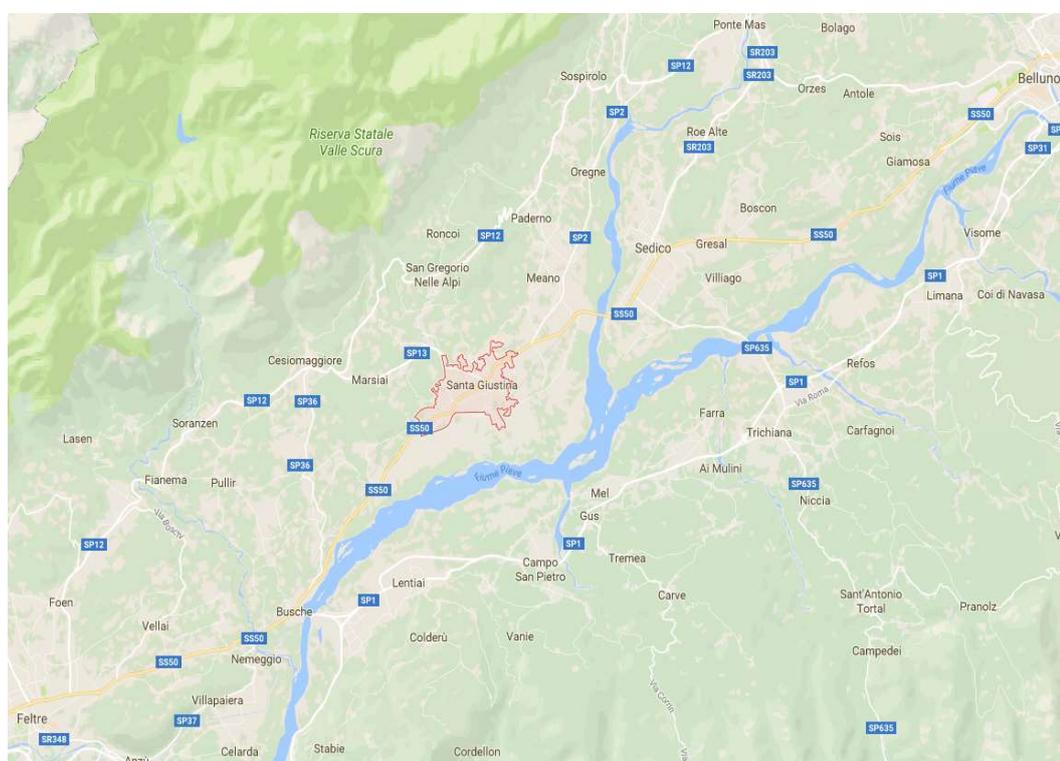


Figura 1.1. Identificazione del Comune di Santa Giustina all'interno della valle del Piave tra i comuni di Belluno e Feltre

L'impianto sportivo comunale è situato in via Pulliere. L'impianto sportivo in questione è costituito da un campo da calcio principale con anche pista di atletica leggera, che è l'oggetto di questa tesi, da un campo da calcio per gli allenamenti, da un campo adibito al gioco del tennis e del calcio a 5 e da una struttura nella quale sono presenti i vari spogliatoi, i magazzini, l'infermeria, il bar, la centrale termica, la cucina e la sede dell'Unione Sportiva Plavis 1953 che è la squadra di calcio locale. L'impianto sportivo di via Pulliere è utilizzato, oltre che dall'U.S. Plavis, anche dall'Associazione Sportiva Dilettantistica Giovanile Pizzocco, squadra di calcio nata dalla fusione dei principali settori giovanili della destra Piave e dalla Polisportiva Santa Giustina che in ambito comunale promuove l'atletica leggera.

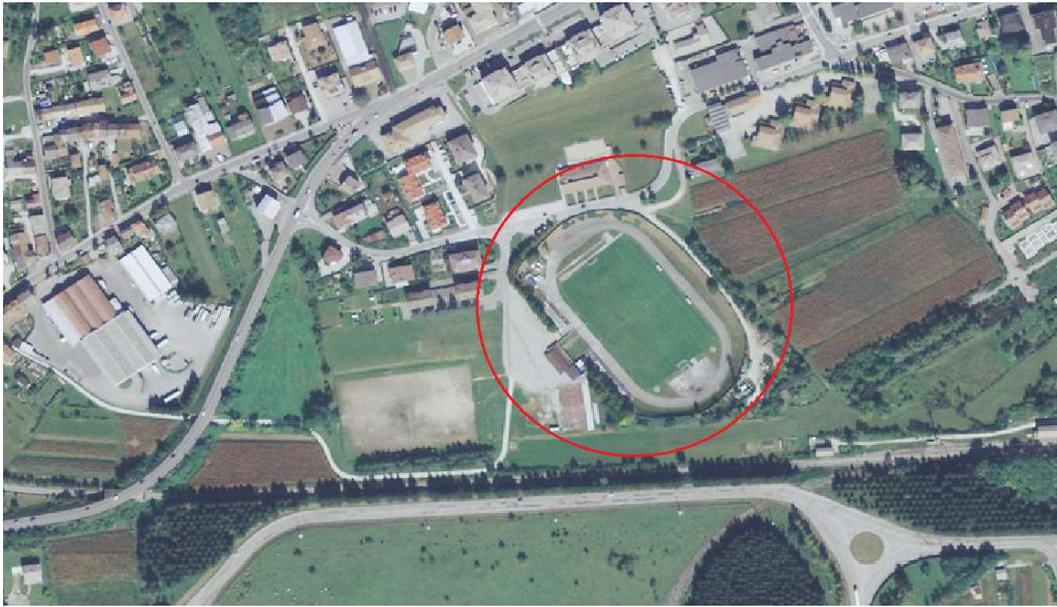


Figura 1.2. Identificazione zona d'intervento: cerchiato in rosso il campo sportivo principale di via Pulliere

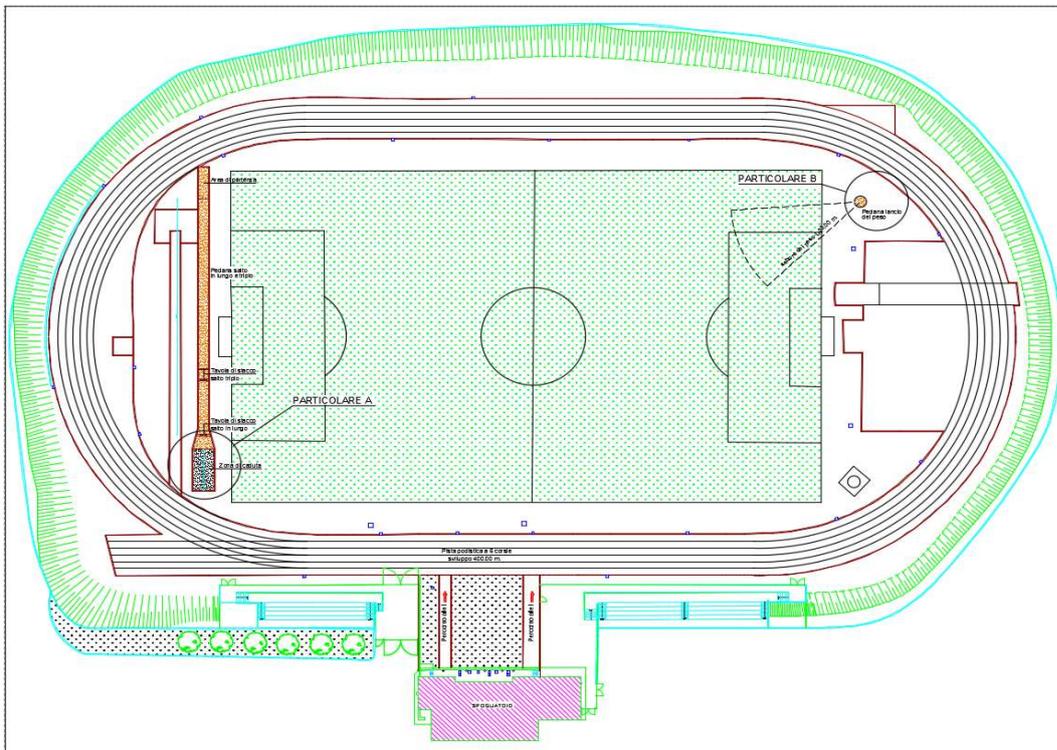


Figura 1.3. Planimetria del campo principale di via Pulliere

1.3 Normative di riferimento

Per la realizzazione di questa tesi si sono prese in considerazione tutta una serie di riferimenti tecnico normativi: riferimenti illuminotecnici, riferimenti per l'impianto elettrico e riferimenti per i sostegni.

A seguire, elenco delle principali norme citate e utilizzate nella stesura di questo elaborato:

- UNI EN 11630: Luce e illuminazione – Criteri per la stesura del progetto illuminotecnico;
- UNI EN 12193: Luce e illuminazione – Illuminazione di installazioni sportive;
- UNI EN 12665: Luce e illuminazione – Termini fondamentali e criteri per i requisiti illuminotecnici;
- Linee Guida LND per la progettazione, realizzazione e collaudo dell'impianto d'illuminazione dei campi da gioco della Lega Nazionale Dilettanti;
- Normativa CONI delibera n. 1379 del 25 giugno 2008 – tabella B: Caratteristiche illuminotecniche consigliate per alcune attività sportive;
- Decreto legislativo (D. Lgs.) 19 settembre 1994, n. 626: Attuazione delle direttive 89/391/CEE, 89/654/CEE, 89/655/CEE, 89/656/CEE, 90/269/CEE, 90/270/CEE, 90/394/CEE, 90/679/CEE, 93/88/CEE, 95/63/CE, 97/42, 98/24 e 99/38 riguardanti il miglioramento della sicurezza e della salute dei lavoratori durante il lavoro;
- D. Lgs. 9 aprile 2008, n. 81: Attuazione dell'art. n. 1 della legge 3 agosto 2007, n.123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro;
- Legge della Regione Veneto 7 agosto 2009, n. 17: Nuove norme per il contenimento dell'inquinamento luminoso, il risparmio energetico nell'illuminazione per esterni e per la tutela dell'ambiente e dell'attività svolta dagli osservatori astronomici;
- art. 3 del D. Lgs. n. 194/2007; decreto attuativo della direttiva 2004/108/CE;
- CEI EN 60529 (CEI 70-1): Grado di protezione degli involucri (Codice IP);
- Regolamento CPR (UE) 305/2011;
- CEI EN 61386-24 (CEI 23-116): Sistemi di tubi e accessori per installazioni elettriche. Parte 24: Prescrizioni particolari per sistemi di tubi interrati;
- CEI 20-67: Guida per l'uso dei cavi 0,6/1 kV;
- CEI UNEL 35016: Classi di reazione al fuoco dei cavi elettrici in relazione al Regolamento CPR (UE) prodotti da costruzione 305/2011;
- CEI 64-8 (VII edizione): Impianti elettrici utilizzatori a tensione nominale non superiore a 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua;
- CEI UNEL 35026 - fascicolo 5777: Cavi elettrici isolati con materiale elastomerico o termoplastico per tensioni nominali non superiori a 1000 V in corrente alternata e 1500 V in corrente continua. Portate di corrente in regime permanente per posa interrata;

- CEI 23-51: Prescrizioni per la realizzazione, le verifiche e le prove dei quadri di distribuzione per installazioni fisse per uso domestico e similari;
- CEI EN 60439-1 (CEI 17-113/1): Apparecchiature assiemate di protezione e manovra per bassa tensione (quadri BT). Parte 1: Regole generali;
- CEI EN 62305 (CEI 81-10): Protezione contro i fulmini;
- UNI EN ISO 15609: Specificazione e qualificazione delle procedure di saldatura per materiali metallici - Specificazione della procedura di saldatura;
- CNR UNI 10011: Costruzioni di acciaio - Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione e la manutenzione;
- UNI EN 10025: Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali;
- UNI EN 40-2: Pali per illuminazione pubblica;
- Decreto Ministeriale (D.M.) 16 gennaio 1996: Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.

Capitolo 2

Criteri per la progettazione illuminotecnica di campi da calcio e piste di atletica leggera

Questo capitolo dell'elaborato di laurea fornisce le informazioni di base necessarie per poter avviare un progetto illuminotecnico di un impianto sportivo con campo da calcio e pista di atletica leggera.

2.1 Criteri illuminotecnici

I criteri illuminotecnici (*lighting criteria*) rilevanti dal punto di vista dell'illuminazione sportiva sono:

- Illuminamento orizzontale
- Illuminamento verticale
- Uniformità
- Limitazione dell'abbagliamento
- Modellato e ombre
- Colore della luce e resa dei colori

Illuminamento orizzontale

Visto che, una volta illuminata, l'area dove vengono svolte le attività sportive costituisce lo sfondo e occupa la maggior parte del campo visivo sia degli atleti che degli spettatori, è l'illuminamento su questo piano a livello del terreno (illuminamento orizzontale) che principalmente definisce il parametro più importante per lo stato di adattamento dell'occhio. Risulta quindi fondamentale prevedere un adeguato livello di illuminamento su di essa.

Illuminamento verticale

Per distinguere e identificare gli atleti è fondamentale un adeguato contrasto e ciò si ottiene investendo i piani verticali con un'opportuna quantità di luce. In termini illuminotecnici significa che l'illuminamento verticale deve essere sufficiente, e ciò non solo in termini

assoluti, ma anche in termini di direzionalità. Infatti, se per gli spettatori e per le eventuali riprese fotografiche e televisive è importante unicamente l'illuminamento sul piano rivolto verso tali posizioni, per gli atleti è importante avere adeguati livelli di illuminamento verticale secondo tutte le direzioni.

L'adeguato livello di illuminamento verticale necessario per atleti e spettatori, in pratica, si consegue quando vengono soddisfatti i requisiti relativi ai valori di illuminamento orizzontale. Ciò implica che l'illuminamento sul piano verticale, che dovrebbe essere misurato ad un'altezza pari a 1,5 metri dal terreno dove si svolge l'attività sportiva, è solo un criterio di progettazione per quei casi in cui siano previste delle riprese fotografiche o televisive, dato che influenza la qualità delle immagini fotografiche o televisive.

Uniformità dei valori di illuminamento

Una buona uniformità degli illuminamenti risulta importante sia per i valori relativi ai piani orizzontali che per quelli relativi ai piani verticali. Ciò consente di evitare problemi di adattamento da parte degli atleti e degli spettatori e di correggere con continuità le eventuali telecamere a seconda delle direzioni di ripresa. Se l'uniformità non dovesse risultare adeguata, s'incorre nel rischio di non riuscire a distinguere gli atleti in alcune zone dell'area adibita alle attività sportive e nel caso specifico del giuoco del calcio, di non distinguere il pallone. Questo rischio si presenta specialmente nel caso in cui ci siano riprese televisive.

L'uniformità viene espressa come il rapporto tra i valori minimo e massimo di illuminamento (E_{min}/E_{max}) oppure attraverso il rapporto tra i valori minimo e medio (E_{min}/E_{med}).

L'uniformità dei valori di illuminamento previsti/presenti sui quattro piani verticali di un punto di calcolo rivolti verso i lati dell'area delle attività sportive è particolarmente importante.

Anche quando il valore di uniformità sopra espresso risultasse accettabile, i cambiamenti dei valori di illuminamento potrebbero provocare disturbo qualora avvenissero entro distanze contenute. L'uniformità di illuminamento per un determinato punto del reticolo deve quindi essere espressa come scostamento percentuale rispetto al valore medio dell'illuminamento presente negli otto punti adiacenti del reticolo. Questo viene comunemente definito come gradiente di uniformità.

Abbagliamento

L'abbagliamento, condizione data dalla presenza all'interno del campo visivo di superfici molto brillanti, comporta un effetto di disturbo al comfort visivo degli atleti e degli spettatori. Il fenomeno dell'abbagliamento può essere limitato prestando molta attenzione alla scelta, all'installazione e all'orientamento dei proiettori, e soprattutto tenendo in conto le principali direzioni di osservazione.

Molto importante è tenere sotto controllo l'abbagliamento non solo per gli atleti e gli spettatori, quindi per l'area interna all'impianto sportivo, ma anche per le zone limitrofe. Nel caso di installazioni sportive outdoor, infatti, la luce dispersa dall'impianto potrebbe disturbare le persone che si trovano al di fuori dell'area sportiva: casi frequenti potrebbero essere i conducenti dei veicoli in transito lungo le vie adiacenti e gli abitanti degli immobili vicini. Quest'ultimo fenomeno è strettamente correlato alle qualità ottiche dei proiettori impiegati e quindi è necessario prevedere e impiegare proiettori caratterizzati da una limitata emissione di flusso al di fuori del fascio luminoso principale. Risulta quindi fondamentale curare con particolare attenzione l'installazione e i puntamenti dei proiettori.

Modellato e ombre

La proprietà che un impianto di illuminazione ha di rilevare le forme degli oggetti, dipende dalle ombre prodotte. Queste a loro volta dipendono dalle direzioni di proiezione, dal numero e dalla tipologia di sorgenti luminose impiegate. Le forme, ad esempio, appariranno dure in presenza di ombre profonde quali quelle prodotte da un unico proiettore a fascio stretto; sempre per esempio, le forme appariranno piatte, in assenza di ombre, come quelle prodotte da un cielo nuvoloso. Questi due casi estremi, non sono auspicabili anche se nel secondo caso è spesso sufficiente aggiungere qualche proiettore per ottenere un miglioramento sostanziale dell'effetto.

Colore della luce e resa cromatica

Una buona percezione del colore è importante in tutte le varie tipologie di sport. Alcune distorsioni del colore attribuibili all'illuminazione artificiale sono accettabili, ma non se tali distorsioni provocano problemi di distinzione.

Per quanto riguarda il colore è importante distinguere due aspetti:

- il colore apparente della sorgente luminosa, che rappresenta l'impressione della tonalità data dalla luce a tutto l'ambiente;
- la resa cromatica della sorgente, che è la proprietà di riprodurre fedelmente i colori di un oggetto.

Colore apparente e resa cromatica della luce generata dalle lampade dipendono da quella che è la distribuzione spettrale della radiazione che emettono.

Indicazioni sull'aspetto del colore della luce emessa da una lampada possono essere ottenute attraverso la temperatura di colore correlata (CCT), misurata in kelvin (K), che solitamente varia tra 2000 K e 6000 K. Il valore di CCT di una luce misura generalmente il "calore" o la "freddezza" del suo aspetto: al di sotto dei 3200 K si parla di tonalità di luce "calda", mentre sopra i 4000 K si considera la tonalità della luce "fredda".

Le proprietà di riproduzione del colore da parte di una sorgente luminosa possono essere indicate mediante l'indice di resa cromatica R_a (*Color Rendering Index*). Il valore massimo che l'indice di resa cromatica può assumere è pari a 100: in questo caso si è in una condizione di luce naturale. La condizione visiva di un ambiente è strettamente legata al valore di R_a e ovviamente, maggiore è il suo valore e più gradevole risulta l'ambiente stesso.

2.2 Sorgenti luminose

Nella realizzazione degli impianti destinati all'illuminazione di centri sportivi, le lampade da utilizzare dovranno essere del tipo a ioduri metallici oppure del tipo a tecnologia LED (*Light Emitting Diode*).

I dati fondamentali per la scelta di un tipo di lampada sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 2.1. Dati fondamentali che caratterizzano la scelta di un corpo illuminante

Potenza	Consumo energetico di una singola lampada
Vita media	Numero di ore di funzionamento dopo il quale, in un lotto di lampade, il 50% smette di funzionare a determinate condizioni di prova
Flusso luminoso	Indica la quantità di luce fornita da una lampada per unità di tempo
Efficienza luminosa	Misura della resa energetica di una lampada
Temperatura di colore	Necessaria ad un corpo nero affinché la radiazione luminosa emessa da quest'ultimo appaia cromaticamente più vicina possibile alla radiazione considerata
Indice di resa cromatica (R_a)	Misura di quanto naturali appaiono i colori degli oggetti da essa illuminati

La tabella precedente riporta tutte grandezze illuminotecniche, fatta eccezione per la potenza di alimentazione che è una caratteristica elettrica.

2.2.1 Lampade a scarica a ioduri metallici

La lampada a scarica è un tipo di lampadina basata sull'emissione luminosa per luminescenza da parte di un gas ionizzato. La ionizzazione del gas è ottenuta per mezzo di una scarica attraverso il gas stesso: una differenza di potenziale provoca la migrazione degli elettroni liberi e degli ioni positivi ai diversi capi della lampada, dove sono presenti gli elettrodi. Queste lampade sono caratterizzate da una grande durata, un'ottima conversione di energia elettrica in energia luminosa e quindi da un'elevata efficienza luminosa.

In questa categoria di lampade rientrano quelle a ioduri metallici, conosciute anche come lampade ad alogenuri metallici. Questa tipologia di lampade altro non sono che un'evoluzione

delle più datate lampade ai vapori di mercurio. Nella miscela di gas, oltre al mercurio, vengono aggiunti additivi come indio, tallio e sodio, che aumentano lo spettro di emissione della luce, che diviene più bianca, con una migliore resa cromatica ed un aumento dell'efficienza luminosa. Per migliorare ulteriormente quest'ultime caratteristiche, nelle lampade più evolute vengono aggiunte anche terre rare come il disprosio, l'olmio, il tulio e il cesio. Sono lampade caratterizzate da un'alta temperatura di colore ed un'elevata resa cromatica. Tra gli svantaggi ci sono i tempi di accensione e riaccensione che sono piuttosto lunghi, la necessità di dispositivi per l'accensione e l'innesco e infine l'impossibilità di regolare la potenza di emissione.

2.2.2 Lampade a tecnologia LED

Il termine LED è l'acronimo di *Light Emitting Diode* e cioè diodo ad emissione di luce. I LED sono diodi a giunzione e sono formati da un sottilissimo strato di semiconduttore drogato. Essi sono costituiti da arseniuro di gallio, fosfuro di gallio, fosfuro arseniuro di gallio, carburo di silicio e nitrato di gallio e indio. Un LED, sottoposto ad una tensione diretta, rilascia una quantità di energia sufficiente a produrre fotoni che vengono, in gran parte, emessi all'esterno sotto forma di luce. Questa tecnologia ha trovato, negli ultimi anni, un impiego sempre maggiore nell'illuminazione esterna e interna.

Il LED viene incapsulato in una lente che indirizza l'emissione luminosa nella direzione desiderata: così facendo si riescono ad ottenere delle sorgenti luminose con emissione asimmetrica. Gli apparecchi di illuminazione che sfruttano questa tecnologia sono costituiti da uno o più moduli base, che comprendono un determinato numero di LED disposti a griglia. Dal numero dei moduli dipende la potenza e l'emissione luminosa degli apparecchi.

I LED sono caratterizzati da una durata di vita estremamente lunga e da un'efficienza luminosa elevata. Con questa tecnologia è possibile ottenere diverse temperature di colore e tra i pregi c'è anche l'emissione nell'intero spettro del "visibile" (spettro elettromagnetico che cade tra il rosso e il violetto – lunghezza d'onda tra i 390 nm e i 700 nm). Infine va ricordato come i LED possano funzionare anche a basse temperature senza che vi sia riduzione del flusso (accensione immediata anche con temperature comprese tra i -20°C e i -30°C; già all'interno di questo range di temperature nessuna riduzione di flusso). Tra gli svantaggi di questo tipo di lampade ci sono gli elevati costi e la difficoltà nell'ottenere un'illuminazione diffusa, cioè un'illuminazione a 360° priva di ombre marcate. Quest'ultimo svantaggio è stato parzialmente superato in questi ultimi anni grazie alla tecnologia a filamenti di LED: si tratta di LED posizionati su un filo con lo scopo di ottenere un effetto il più simile possibile a quello delle vecchie lampadine.

2.2.3 Considerazioni generali sulle tipologie di lampade

La norma UNI EN 12193:2008 specifica che la temperatura di colore della luce artificiale dovrà essere compresa tra i 4000 K e i 6500 K quando vi è un significativo contributo della luce del giorno, mentre quando questo contributo viene meno, il range della temperatura di colore può essere esteso tra i 3000 K e i 6500 K. L'indice di resa cromatica R_a , così come specificato dalla norma, non dovrà essere inferiore a 65, meglio se di valore almeno pari a 80. La tendenza attuale è quella di utilizzare sorgenti luminose con un $R_a \geq 90$.

Le linee guida della LND, sempre a riguardo delle caratteristiche delle lampade da utilizzare nella realizzazione degli impianti destinati all'illuminazione dei campi da calcio, specificano che esse dovranno avere un'efficienza luminosa superiore a 85 lm/W, una temperatura di colore compresa, preferibilmente, tra i 4200 K e i 5600 K e infine un indice di resa cromatica R_a superiore a 80.

Le attuali lampade a ioduri metallici e a tecnologia LED, utilizzate nei proiettori per impianti sportivi, rispondono a quanto richiesto dalla norma e dalle linee guida. Più specificamente, le normali lampade a ioduri metallici e a LED impiegate sono caratterizzate da efficienze luminose che superano i 100 lm/W, indici di resa cromatica R_a compresi tra 80 e 90 e temperature di colore quasi sempre comprese tra i 5500 e i 6000 K.

Un ultimo aspetto che occorre considerare è l'emissione luminosa fluttuante generata da una sorgente a scarica ad alta intensità alimentata in corrente alternata. Questo è dovuto al disinnescamento e reinnesco della scarica in ogni semiciclo dell'alimentazione elettrica. A volte questo effetto diventa visibile e allora si parla di effetto stroboscopico o sfarfallamento. Nel caso di lampade a ioduri metallici, questo fenomeno può essere minimizzato collegando i vari proiettori sequenzialmente sulle tre fasi della rete di alimentazione. Questo aspetto è invece trascurabile per i proiettori a LED che solitamente presentano una percentuale di sfarfallio inferiore al 3% e che risulta ancora più bassa per i proiettori di ultimissima generazione.

2.3 Apparecchi di illuminazione

2.3.1 Caratteristiche fotometriche

Gli apparecchi adatti per illuminare grandi aree, quindi anche gli impianti sportivi, sono i proiettori.

Quando si valuta un qualsiasi apparecchio di illuminazione, le due caratteristiche che rivestono maggiore importanza sono il rendimento ottico (rapporto tra il flusso luminoso uscente dall'apparecchio e il flusso emesso dalla sorgente nuda) e le curve fotometriche (rappresentazione grafica di come una sorgente luminosa emette luce nello spazio). Affinché una progettazione illuminotecnica possa definirsi buona, è sempre necessario adottare

apparecchi di illuminazione caratterizzati da un buon rendimento ottico ($> 65\%$), associato ad un'adeguata ripartizione fotometrica.

Nelle figure seguenti vengono riportate le diverse ripartizioni fotometriche dei proiettori normalmente impiegati per l'illuminazione sportiva:

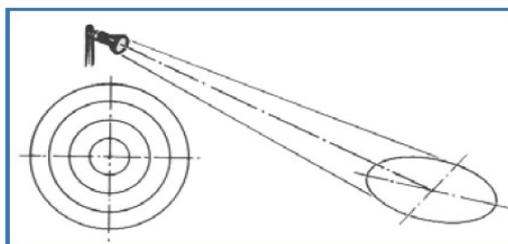


Figura 2.1. Proiettori a fascio circolare, caratterizzati da un'emissione simmetrica con aperture di fascio stretto e largo

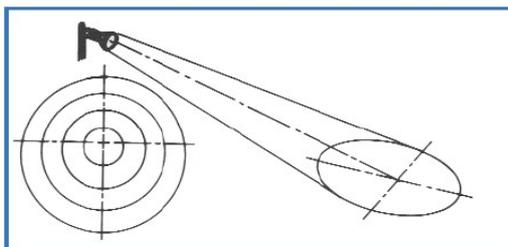


Figura 2.2. Proiettori a fascio circolare, caratterizzati da un'emissione leggermente asimmetrica nel piano verticale con aperture di fascio stretto, medio, largo ed extra largo

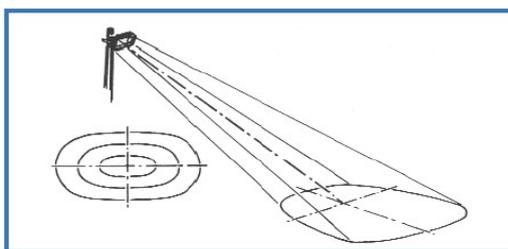


Figura 2.3. Proiettori a fascio rettangolare, caratterizzati da un'emissione simmetrica sia sul piano verticale che orizzontale, solitamente con apertura di fascio largo sul piano orizzontale, mentre stretto o largo sul piano verticale

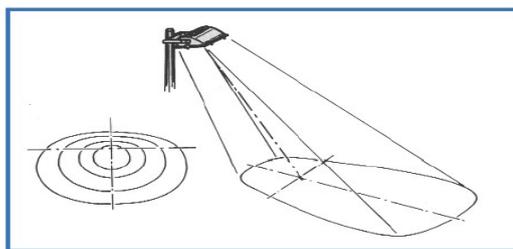


Figura 2.4. Proiettori a fascio rettangolare, caratterizzati da un'emissione simmetrica sul piano orizzontale e asimmetrica sul piano verticale. Anche per questa tipologia di proiettori l'apertura di fascio sul piano orizzontale è largo, mentre quello sul piano verticale è stretto o largo

Generalmente è buona norma installare proiettori a fascio rettangolare nel caso di disposizione lungo i lati maggiori dell'area di gioco, come si può osservare dalle figure che seguono:

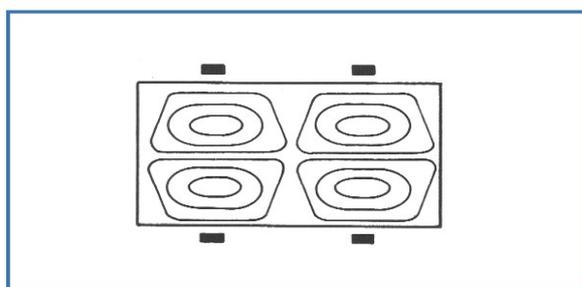


Figura 2.5. Disposizione laterale con proiettori rettangolari; scelta consigliata

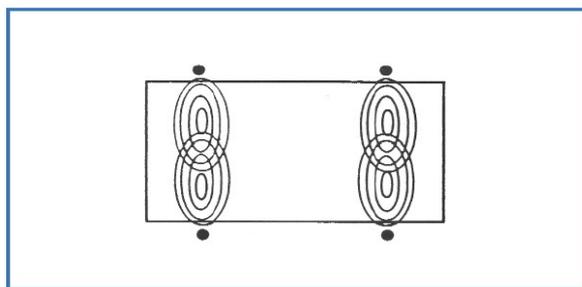


Figura 2.6. Disposizione laterale con proiettori circolari; scelta non consigliata

I proiettori a fascio circolare risultano invece più idonei nei casi di disposizione lungo le diagonali del campo di gioco:

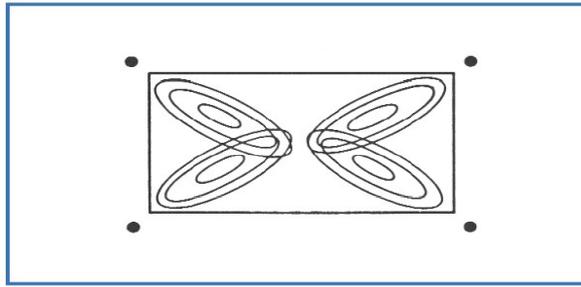


Figura 2.7. *Disposizione diagonale con proiettori circolari; scelta consigliata*

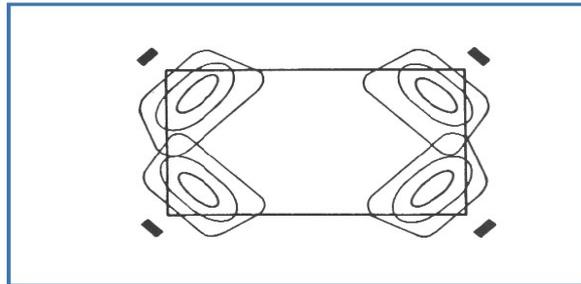


Figura 2.8. *Disposizione diagonale con proiettori rettangolari; scelta non consigliata*

2.3.2 Ulteriori caratteristiche

I proiettori utilizzati dovranno rispondere a tutta una serie di caratteristiche termiche, meccaniche, aerodinamiche, elettriche, ergonomiche e manutentive.

Tutti i materiali impiegati all'interno del corpo del proiettore e quelli che formano il corpo stesso devono riuscire a resistere al calore prodotto dalla sorgente luminosa e dagli eventuali ausiliari. Fondamentale è che, durante il normale esercizio, la temperatura dell'apparecchio non aumenti eccessivamente per evitare così eventuali danneggiamenti o che vengano a ridursi le prestazioni della o delle lampade di cui l'apparecchio è equipaggiato. Determinante dal punto di vista dello smaltimento del calore è il volume del proiettore: quando le dimensioni di quest'ultimo sono contenute, è necessario migliorare lo smaltimento del calore stesso attraverso delle alette che vanno ad aumentare la superficie di dispersione.

Gli apparecchi di illuminazione e i loro supporti devono garantire una robustezza tale da assicurare un corretto e sicuro posizionamento. Se così non fosse le unità installate potrebbero subire degli spostamenti, con conseguente modifica delle prestazioni illuminotecniche.

Il peso, la forma e la misura di tali apparecchi dovranno essere scelti in modo tale da garantire una buona resistenza alle vibrazioni e al vento.

Da un punto di vista elettrico, gli elementi costruttivi di un apparecchio di illuminazione dovranno essere marchiati CE, in maniera tale da garantire la protezione elettrica richiesta e permettere a coloro che maneggiano i componenti di farlo nella massima sicurezza.

Considerato il fatto che gli apparecchi vanno montati su sostegni alti rispetto al livello del suolo, per rendere il più possibile agevoli le operazioni di montaggio, pulizia e cambio lampade, fondamentale risulta la forma ergonomica degli apparecchi stessi. Proiettori aventi una “pulizia” di forme e una semplicità costruttiva possono abbattere pesantemente i tempi di cambio lampade e pulizia, riducendo così i costi di manutenzione.

Gli apparecchi di illuminazione progettati per l’installazione esterna, dovranno essere realizzati con materiali resistenti alla corrosione e all’accumulo di sporcizia o comunque essere dotati di finiture protettive.

2.3.3 Dati di targa degli apparecchi di illuminazione

Su tutti gli apparecchi di illuminazione devono essere riportati i seguenti dati di targa:

- nome della ditta costruttrice, numero identificativo o modello;
- tensione nominale;
- temperatura ambiente massima per cui è garantito il funzionamento ordinario, se diversa da 25 °C;
- grado di protezione IP;
- potenza nominale espressa in W e tipo di lampada.

Il costruttore dell’apparecchio deve inoltre fornire un foglio nel quale è possibile trovare le istruzioni per la corretta installazione e manutenzione.

2.3.4 Caratteristiche tecniche dei proiettori

Gli apparecchi, siano essi con lampade a ioduri metallici o con lampade a tecnologia LED, dovranno avere le seguenti caratteristiche elettriche:

- classe di isolamento I;
- grado di protezione IP 65;
- potenza massima della sorgente luminosa non superiore ai 2000 W.

I proiettori dovranno essere realizzati in pressofusione di alluminio resistente alla corrosione. L’ottica deve essere realizzata in alluminio purissimo 99,8 %, anodizzato e brillantato. Inoltre l’ottica dovrà essere completamente protetta dal corpo del proiettore. Il vetro frontale, temprato chimicamente, dovrà avere uno spessore superiore a 1,5 mm.

Il ricambio della lampada deve essere possibile senza dover variare il puntamento.

L’apparecchio illuminante dovrà essere dotato di apposita staffa in acciaio per il fissaggio, di dispositivo a goniometro e predisposizione per sistema di puntamento a cannocchiale, di guarnizioni anti-invecchianti, di microinterruttore per disalimentarlo in caso di apertura.

Infine il proiettore dovrà essere corredato di una cassetta di connessione esterna, in pressofusione di alluminio, con grado di protezione minimo IP 44, dove all'interno troverà alloggiamento l'accenditore per la lampada. La cassetta di connessione, completa di morsettiera di collegamento, sarà collegata al corpo del proiettore tramite tubo flessibile.

2.3.5 Caratteristiche tecniche delle unità di alimentazione

Il reattore e la batteria di condensatori per il rifasamento costituiscono l'unità di alimentazione. Quest'ultima deve essere idonea all'installazione all'interno di un armadio contenitore. Le unità dovranno essere montate su delle apposite piastre in lamiera di acciaio e dovranno avere le seguenti caratteristiche:

- classe di isolamento I;
- grado di protezione IP 20.

Sulle piastre dovrà essere presente una morsettiera per il collegamento dei cavi con sezione fino a 16 mm².

2.4 Sostegni

La realizzazione degli impianti di illuminazione sportiva prevede l'installazione di torri faro porta proiettori. Questi sostegni hanno delle altezze normalizzate:

- 16 m;
- 20 m;
- 25 m;
- 30 m.

2.4.1 Caratteristiche tecniche

Le torri faro per l'illuminazione sportiva sono del tipo a piattaforma fissa. Le parti fondamentali che vanno a comporre questa tipologia di sostegni sono:

- Fusto;
- Scala con sistema anticaduta;
- Pianale o pianali di riposo;
- Piattaforma porta proiettori.

In base all'altezza della torre, il fusto è composto da più tronchi di forma tronco-piramidale, a sezione poligonale e realizzati in lamiera di acciaio presso-piegata e saldata longitudinalmente.

I diversi tronchi sono accoppiati in sito mediante sovrapposizione ad incastro (metodica *slip on joint*).

Il tronco che verrà posto alla base della torre sarà predisposto per essere infilato direttamente nel blocco di fondazione oppure sarà dotato di un'adeguata flangia saldata idonea per il fissaggio alla fondazione tramite tirafondi di ancoraggio. Il tronco di base sarà infine dotato di una piastrina per l'attacco della messa a terra.

Il processo di saldatura dei tronchi garantisce la conformità alle norme UNI EN ISO 15609 e CNR UNI 10011.

La scala con dispositivo anticaduta (scala *safety*) dovrà essere realizzata con scalini in tondo di acciaio provvisti di blocchi laterali antiscivolo. L'ancoraggio della scala alla torre faro sarà realizzata tramite staffe o tramite appositi collari. Continua e modulare, la scala è costituita da una guida centrale realizzata in profilato di acciaio a T. Un cursore di arresto, omologato e marcato CE, unitamente alla relativa imbracatura, consente all'operatore di salire e scendere in sicurezza in quanto, in caso di caduta, il cursore si blocca nella guida, evitando così l'infortunio.

La scala, in base all'altezza della torre, può essere munita di uno o più pianali reclinabili di sosta, che normalmente vengono posti ogni 10 m. Essi sono realizzati in carpenteria di acciaio, con piano di calpestio in grigliato. Questi pianali, in condizioni di non utilizzo, non dovranno ostacolare il passaggio dell'operatore, ma dovranno essere dotati di apposita maniglia al fine di poter essere portati in posizione orizzontale in situazione d'uso.

La scala dovrà infine essere realizzata in maniera tale da renderne impraticabile l'uso alle persone sprovviste delle necessarie attrezzature.

La piattaforma porta proiettori, costituita da elementi di acciaio profilati a caldo e ricavati da lamiera, viene applicata alla sommità del fusto mediante giunto bullonato. La piattaforma è inoltre attrezzata con piano di calpestio antisdrucchiolo nonché di parapiede. L'accesso al piano di calpestio è assicurato mediante apposita botola. La piattaforma è inoltre dotata di una balaustra di protezione alta 1 m con rompitratta intermedia.

I proiettori sono installati su apposite traverse bullonate alla struttura della piattaforma stessa.

I materiali impiegati per i diversi elementi strutturali della torre faro sono i seguenti:

- Fusto: acciaio S355 JR (Fe 510 B) in conformità alla norma UNI EN 10025;
- Carpenterie: acciaio S235 JR (Fe 360 B) in conformità alla norma UNI EN 10025;
- Bulloneria: classe 8.8 in acciaio zincato a caldo.

Tutti i componenti in acciaio sono protetti contro la corrosione superficiale mediante zincatura a caldo in bagno di zinco fuso in conformità alla norma UNI EN 40-2.

2.4.2 Caratteristiche strutturali

Scelta la tipologia delle torri faro e il numero di proiettori da installare, è necessario procedere al dimensionamento strutturale della torre stessa e del plinto di fondazione, in funzione della categoria di esposizione. Il dimensionamento è effettuato in accordo con le prescrizioni del D.M. 16 gennaio 1996.

La categoria di esposizione dipende dai seguenti fattori:

- zona di ventosità;
- distanza dal mare;
- quota di installazione;
- classe di rugosità (parametro che quantifica se l'area di installazione è localmente più o meno esposta ai venti).

Anche i plinti di fondazione saranno dimensionati secondo le indicazioni del D.M. 16 gennaio 1996.

2.4.3 Disposizione e caratteristiche dimensionali

La disposizione dei sostegni e le loro caratteristiche dimensionali dipenderanno dal livello delle attività che vengono svolte nell'impianto sportivo. Per determinare la disposizione delle torri faro le competizioni vengono suddivise in amatoriali/ricreative e in professionistiche.

Per quanto riguarda le competizioni amatoriali e ricreative, lungo le linee perimetrali del campo dovrà essere lasciata una fascia completamente libera da qualsiasi tipo di ostacolo larga 2,5 m. I sostegni dovranno essere posti ad almeno 10° da entrambi i lati delle linee di fondo, così da lasciare un'area libera per evitare fenomeni di abbagliamento agli atleti. Nelle figure 2.9. e 2.10. si possono vedere degli esempi con due e tre sostegni per lato.

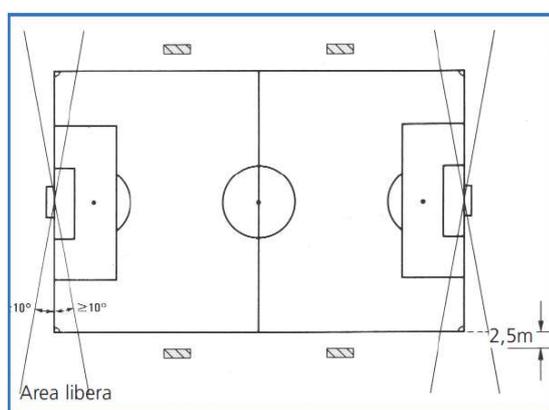


Figura 2.9. Disposizione con due sostegni laterali

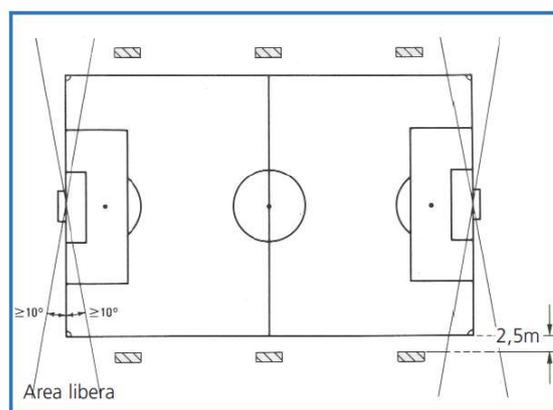


Figura 2.10. *Disposizione con tre sostegni laterali*

La scelta dell'altezza del sostegno dipende dall'interesse di mantenere minimo il livello di abbagliamento che i proiettori potranno causare agli atleti e agli spettatori. L'altezza viene determinata in maniera tale che l'angolo tra la linea congiungente il centro del campo con il centro ottico del singolo apparecchio e il piano orizzontale non sia comunque inferiore a 25° , come mostrato nella figura 2.11. Nel caso di un assieme di apparecchi, si considererà il centro ottico equivalente dei proiettori installati.

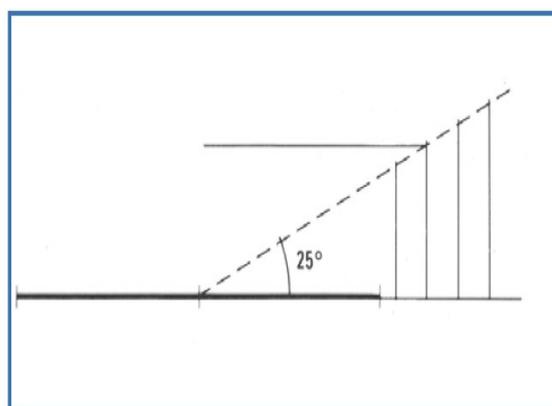


Figura 2.11. *Angolo per definizione altezza minima sostegni*

Va comunque sottolineato che l'altezza minima degli apparecchi di illuminazione dovrà essere di 15 m per le competizioni ricreative e di 18 m per l'attività agonistica ufficiale.

Per le competizioni professionistiche sono invece utilizzabili due disposizioni alternative per i proiettori. Una prima disposizione prevede l'installazione di proiettori su sostegni posti diagonalmente agli angoli del campo, purché siano posti ad almeno 15° dalle linee di fondo e almeno 5° dalle linee laterali. L'altezza di questi sostegni, per limitare l'abbagliamento, dovrà essere determinata in modo tale che l'angolo tra la linea congiungente il centro del campo con il centro ottico equivalente e la linea orizzontale non sia inferiore a 25° . Nella figura 2.12. è specificato quanto sopra descritto e si può notare come la linea orizzontale è determinata riportando, perpendicolarmente alla linea che congiunge il centrocampo con il centro ottico

equivalente, una linea che rappresenta proprio l'altezza del sostegno (lunghezza della linea pari all'altezza del sostegno).

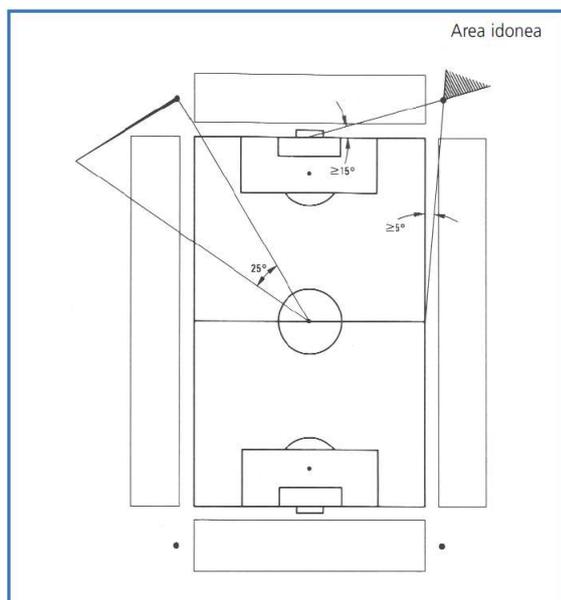


Figura 2.12. *Disposizione con quattro sostegni ai vertici*

Una seconda soluzione prevede invece la collocazione dei proiettori lungo le linee laterali del campo o sulla copertura degli spalti. Quando si adotta questa disposizione bisogna porre attenzione a non installare proiettori all'interno di una zona di 15° da entrambi i lati delle linee di fondo.

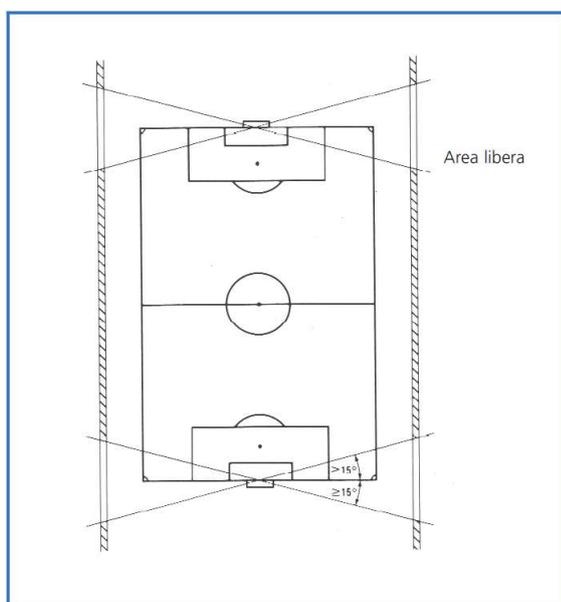


Figura 2.13. *Disposizione su coperture spalti lungo le fasce*

Con questa soluzione, l'altezza di installazione dei corpi illuminanti è determinata in modo tale che l'angolo tra la linea congiungente il centro ottico equivalente e la linea orizzontale non sia inferiore a 25°.

2.5 Requisiti d'illuminazione: livelli e parametri

La norma UNI EN 12193:2008 suddivide i diversi impianti sportivi in tre classi di illuminazione a seconda del livello delle competizioni e delle attività svolte nell'impianto stesso. La classe di illuminazione I individua le competizioni di alto livello, sia internazionali che nazionali: competizioni che in genere coinvolgono un grande numero di spettatori con distanze visive potenzialmente lunghe. In questa classe può rientrare anche l'allenamento di alto livello. La classe di illuminazione II individua competizioni di livello medio, come ad esempio competizioni regionali o locali che solitamente vengono disputate in impianti con capienza e distanze visive medie. Infine la classe di illuminazione III comprende quelle competizioni di basso livello come quelle locali che solitamente non comportano la presenza di spettatori. Nella classe III rientrano anche le attività ricreative, l'educazione fisica scolastica e l'allenamento di medio – basso livello. La seguente tabella guida alla selezione della classe di illuminazione:

Tabella 2.2. Selezione della Classe d'illuminazione

Livello della competizione	Classe d'illuminazione		
	I	II	III
Internazionale e Nazionale	*		
Regionale	*	*	
Locale	*	*	*
Allenamento		*	*
Ricreativa/Educazione Fisica			*

Le classi di illuminazione sono fissate da un valore di illuminamento medio orizzontale e da un coefficiente di uniformità consentito, espresso come il rapporto tra l'illuminamento minimo e quello medio.

Per quanto riguarda gli impianti utilizzati per attività amatoriali è soprattutto l'illuminamento medio orizzontale quello a cui è necessario fare riferimento perché, se il valore consigliato di quest'ultimo è rispettato, allora anche l'illuminamento verticale rientrerà nei limiti accettabili. I requisiti delle varie classi di illuminazione si basano primariamente sulle esigenze degli sportivi, ma la norma afferma comunque che è necessario garantire una componente verticale minima che non può essere minore del 30% del livello orizzontale. Nella seguente tabella

vengono riportate le caratteristiche illuminotecniche consigliate per l'atletica leggera e il calcio, con gli illuminamenti che si intendono sul piano orizzontale, coincidente con la superficie dello spazio di attività.

Tabella 2.3. *Requisiti illuminotecnici consigliati per l'atletica leggera e il calcio secondo la norma UNI 12193*

Sport	Classe d'illuminazione	Outdoor			Indoor			Note
		Illuminamento medio [lux]	Ill. minimo o/ill. medio	Illuminamento specifico [lux]	Illuminamento medio [lux]	Ill. minimo o/ill. medio	Illuminamento specifico [lux]	
Atletica leggera	I	500	0.70	1000 (1)	500	0.70	1000 (1)	(1) fotofinish
	II	200	0.50		300	0.60		
	III	100	0.50		200	0.50		
Calcio	I	500	0.70					
	II	200	0.60					
	III	75	0.50					

Tutti gli illuminamenti citati nella precedente tabella sono valori che si riferiscono all'area principale (PA) e cioè all'effettiva area di gioco necessaria per lo svolgimento di un determinato sport. La norma specifica poi che per le aree totali (TA), e cioè per quelle aree che comprendono sia la PA che un'area aggiuntiva di sicurezza immediatamente esterna alla zona principale, i livelli di illuminamento devono necessariamente essere pari ad un minimo di un 75% di quelli dell'area principale.

Anche la LND ha definito dei requisiti illuminotecnici distinguendo tre tipi di campi di gioco e tre classi di illuminazione. I tipi di campi di gioco sono legati al tipo di attività svolta (ad esempio campi di allenamento, campi per attività amatoriali, campi per attività agonistiche, ecc.) e si suddividono in base alle dimensioni minime dettate dai regolamenti della Federazione Italiana Giuoco Calcio (F.I.G.C.) e della LND. Indicando con L1 la lunghezza del lato minore del campo e con L2 la lunghezza del lato maggiore, si può fare la seguente distinzione:

- A) L1 x L2 dimensioni: 65 x 105 metri:
 - Campionato Nazionale Dilettanti;
 - Campionato di Eccellenza;
 - Campionato di Promozione;

- B) L1 x L2 dimensioni: 50 x 100 metri:
 - Campionato di Prima Categoria;
 - Campionato di Seconda Categoria;

- C) L1 x L2 dimensioni: 45 x 90 metri:
 - Campionato di Terza Categoria e campionato Amatori;
 - Campionato per Attività Giovanile e Scolastica;
 - Campionato di Calcio Femminile.

Le classi d'illuminazione dipendono invece, oltre che dalle già citate dimensioni, anche dal numero di spettatori ospitabili dalla struttura sportiva. La LND individua così le tre classi d'illuminazione:

- Classe d'illuminazione I: la classe d'illuminazione I è prevista per i campi di gioco di tipo A) e B) e capacità dell'impianto sportivo fino a 20.000 spettatori;

- Classe d'illuminazione II: la classe d'illuminazione II è prevista anch'essa per i campi di gioco di tipo A) e B), ma con capacità dell'impianto sportivo fino a 5.000 spettatori;

- Classe d'illuminazione III: la classe d'illuminazione III è prevista per i campi di gioco di tipo C) con capacità dell'impianto sportivo fino a 3.000 spettatori.

La tabella che segue riporta i livelli dei parametri quantitativi e qualitativi riferiti alle varie classi d'illuminazione e alle dimensioni degli impianti sportivi.

Tabella 2.4. Requisiti illuminotecnici consigliati dalle linee guida della LND

Dimensioni [m]	Classe illuminazione	Em [lux]	Uniformità		Abbagliamento GRmax	Pmax [kW]
			Emin/Emed	Emin/Emax		
105 x 65	I	300	0.70	0.60	50	78
			0.70	0.60	50	70
	II	150	0.60	0.50	50	40
			0.60	0.50	50	35
100 x 50	I	300	0.70	0.60	50	60
			0.70	0.60	50	55
	II	150	0.60	0.50	50	35
90 x 45	III	100	0.60	0.40	55	25

Per quanto riguarda i campi con dimensioni 105 x 65 m e classe d'illuminazione I si può fare un'ulteriore precisazione dettata dalla FIGC: per impianti con un numero compreso tra 5.000 e 10.000 spettatori l'illuminamento medio dovrà essere almeno pari a 250 lux, mentre se la capienza dello stadio prevede un numero di spettatori compreso tra i 10.000 e i 20.000, l'illuminamento medio dovrà essere almeno pari a 400 lux. Oltre i 20.000 spettatori (caso rarissimo per impianti della LND), è previsto un illuminamento medio di almeno 800 lux, pari al livello minimo consigliato anche dall'*Union of European Football Associations* (UEFA). Tutti gli illuminamenti citati in tabella si riferiscono all'area principale (PA) e sono valori mantenuti, con coefficiente di manutenzione pari a 0,80.

La tabella riporta inoltre, nell'ultima colonna, i valori massimi di potenza attiva P_{max} ammessi per ciascuna tipologia di campo. Resta inteso che il valore di P_{max} è definito come il prodotto tra la potenza nominale del singolo proiettore e il numero di proiettori previsti.

2.6 Verifiche illuminotecniche e reticolo di calcolo

I calcoli illuminotecnici, eseguiti con l'impiego del computer, sono necessari per valutare le prestazioni di un impianto di illuminazione in fase progettuale, mentre le misure fotometriche effettuate in loco permettono di verificare che il sistema di illuminazione corrisponda alle richieste dopo la realizzazione. Terreno comune, sia per i calcoli effettuati dal progettista illuminotecnico, sia per le misure effettuate dal e per il cliente, è una griglia specifica che prende anche il nome di reticolo di calcolo.

I reticoli sono generalmente rettangolari e presentano un certo numero di punti sufficientemente vicini, in modo che ciascun punto sia rappresentativo dell'area sportiva che circonda tale punto. I punti permettono al progettista e al collaudatore di avere dei valori illuminotecnici precisi: quest'ultimi possono avere come livello di riferimento il terreno per la valutazione dell'illuminamento orizzontale, oppure 1 metro dal terreno per la valutazione dell'illuminamento verticale. La norma UNI EN 12193 stabilisce la disposizione e il numero di punti di calcolo per l'area di riferimento dei singoli sport, sia se questa è rettangolare, sia se è simmetrica (come ad esempio lo è una pista), nonché le dimensioni del reticolo stesso. Nella tabella seguente, ripresa dalla norma UNI EN 12193, vengono riportate le aree di riferimento e i numeri di punti di reticolo per il calcio e l'atletica su pista:

Tabella 2.5. Aree di riferimento e numero di punti del reticolo per il calcio e l'atletica leggera

Outdoor		Area di riferimento		Numero di punti del reticolo	
		lunghezza (m)	larghezza (m)	lunghezza (m)	larghezza (m)
Calcio	PA:	da 100 a 110	da 64 a 75	da 19 a 21	da 13 a 15
Atletica pista 400 m	PA:	100	da 4.9 a 9.8	21	3

I punti sono determinati dalla lunghezza e dalla larghezza dell'area di riferimento se questa è rettangolare, mentre se quest'ultima è simmetrica i punti sono determinati da un quarto della lunghezza del suo limite interno e dalla sua larghezza. La dimensione della griglia necessaria per il calcolo e la misura dipende dalla zona sportiva considerata, la geometria dell'impianto, la distribuzione dell'intensità luminosa delle lampade utilizzate, dalla precisione richiesta e dalle quantità fotometriche da valutare. La dimensione massima della griglia può essere stimata in base alla seguente formula:

$$p = 0,2 * 5^{\log d} \quad (2.1)$$

dove:

p è la dimensione della griglia;

d è la dimensione più lunga dell'area di riferimento.

La formula è stata derivata sotto l'ipotesi che il $\log p$ sia proporzionale al $\log d$; se d è la dimensione maggiore dell'area di riferimento:

$p = 0,2$ m per $d = 1$ m;

$p = 1$ m per $d = 10$ m;

$p = 5$ m per $d = 100$ m.

La griglia di misurazione può essere la stessa della griglia di calcolo anche se questo comporta solitamente un numero eccessivo di punti di misura. Questo implica che solitamente si vada ad individuare un numero ridotto di punti e i valori misurati su questi punti vengano confrontati con i valori calcolati. Questa griglia ridotta sarà utilizzata come base della verifica delle prestazioni dell'impianto installato e deve essere obbligatoriamente concordata tra il progettista e il cliente. Nella tabella 2.5., precedentemente riportata, si trovano i numeri di punti di calcolo per il calcio e l'atletica su pista: si nota che il numero di punti per lunghezza e larghezza è dispari e consente sempre una griglia di misurazione ogni due punti pur mantenendo una ripartizione simmetrica dei punti sull'area di riferimento. A seguire si

riportano esempi dove è possibile notare i punti della griglia di calcolo e i punti della griglia di misura; quest'ultimi sono i punti con il cerchio intorno.

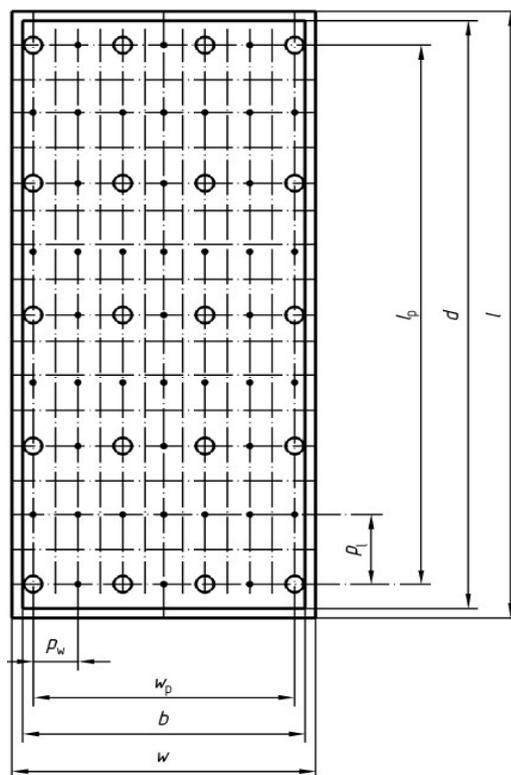


Figura 2.14. Area di riferimento tipica di un campo da calcio, punti della griglia di calcolo e un esempio della griglia di misura

Con riferimento alla figura 2.14., abbiamo che:

- P_w incremento griglia di calcolo nel senso della larghezza;
- b larghezza della zona principale PA;
- P_l incremento griglia di calcolo nel senso della lunghezza;
- d lunghezza della zona principale PA;
- W larghezza dell'area di riferimento;
- W_p larghezza della griglia di calcolo;
- l lunghezza dell'area di riferimento;
- l_p lunghezza della griglia di calcolo.

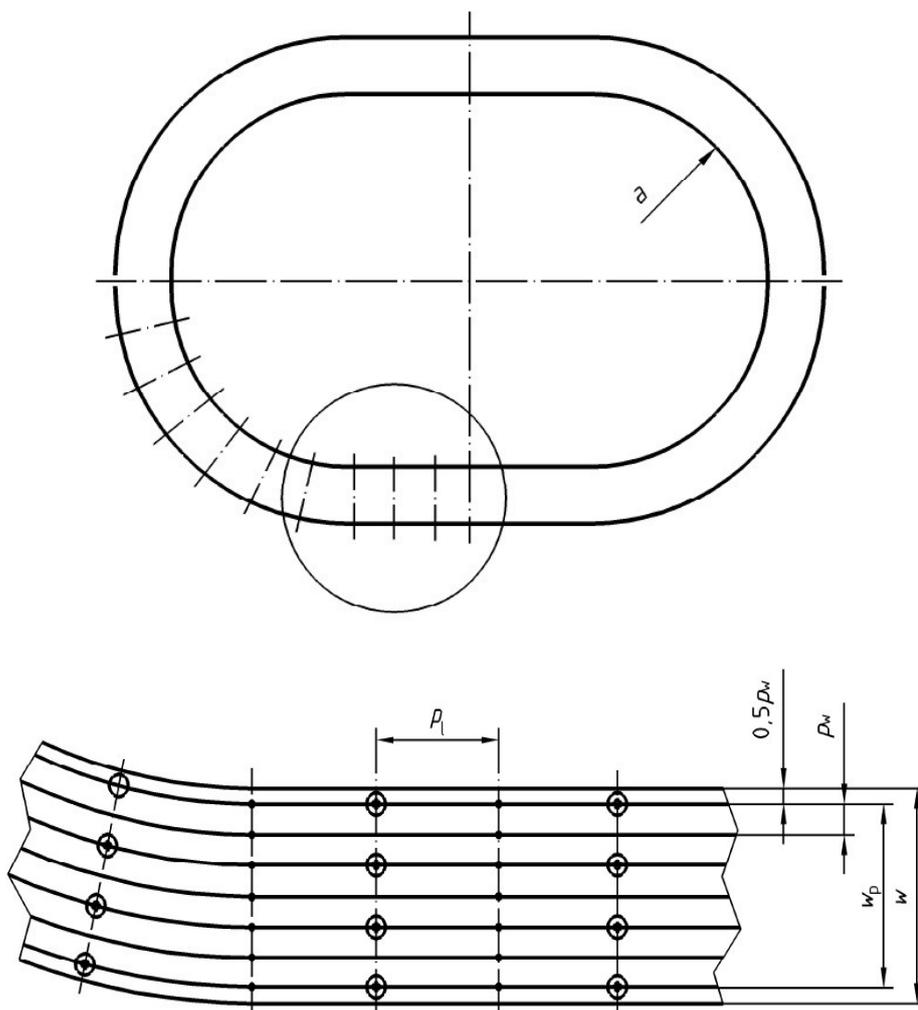


Figura 2.15. Area di riferimento tipica di una pista di atletica, punti della griglia di calcolo e un esempio della griglia di misura

Con riferimento alla figura 2.15., abbiamo che:

- a*** limite interno della pista;
- W*** larghezza della pista;
- W_p*** larghezza della griglia di calcolo;
- P_l*** incremento in lunghezza della griglia di calcolo;
- P_w*** incremento in larghezza della griglia di calcolo.

2.7 Limitazione dell'abbagliamento

Limitare l'abbagliamento è fondamentale per evitare che vi possa essere una riduzione delle prestazioni visive. Tutti i proiettori installati in un impianto di illuminazione sportiva sono potenziali sorgenti di abbagliamento ed è quindi di grande importanza che essi non vadano ad interferire con le direzioni di osservazione degli atleti e degli spettatori. Accorgimenti utili per limitare l'abbagliamento sono l'utilizzo di lampade ben schermate, l'impiego di poche sorgenti luminose ad elevata potenza, posizionate, raggruppate e orientate in modo appropriato e l'installazione di apparecchi di illuminazione con minima dispersione di luce. L'utilizzo di proiettori con minima dispersione di luce è importante anche per la riduzione dell'inquinamento luminoso.

Per gli impianti outdoor, l'indice di abbagliamento, chiamato *Glare Rating* (GR), si calcola con la formula:

$$GR = 27 + 24 \log \frac{L_v}{L_{va}^{0,9}}, \quad (2.2)$$

dove:

- L_v è la luminanza di velo prodotta da tutte le sorgenti luminose sull'occhio, per un osservatore situato in alcuni punti normati dell'area interessata e il cui sguardo sia rivolto verso determinate direzioni anch'esse normate (angoli di vista);
- L_{va} è la luminanza equivalente del terreno che si può andare a calcolare con sufficiente approssimazione con la seguente relazione:

$$L_{va} = 1,67 * 10^{-3} E_o, \quad (2.3)$$

con E_o che è l'illuminamento medio orizzontale, oppure con quest'altra espressione:

$$L_{va} = 0,035 * \rho * E_{hav} * \pi^{-1} \quad (2.4)$$

con ρ che rappresenta la riflettanza media e E_{hav} che rappresenta l'illuminamento medio della zona.

I valori di GR da applicare sono sempre definiti dalla norma UNI EN 12193; tali valori devono essere calcolati per concordate posizioni degli osservatori e concordati angoli di vista.

Si riportano, nella seguente tabella, i tipici valori di GR indicati dalla norma per l'atletica leggera su pista e per il calcio:

Tabella 2.6. Valori dell'indice di abbagliamento Glare Rating per l'atletica leggera e il calcio

Sport	Classe d'illuminazione	Outdoor
		GR
Atletica leggera	I	50
	II	55
	III	55
Calcio	I	50
	II	50
	III	55

In questo caso, i valori di GR indicati dalla norma UNI EN 12193 corrispondono, per il calcio, con quelli presenti nelle linee guida della LND.

Per comprendere al meglio i valori di *glare rating* riportati in tabella, che sono valori ammissibili, si può dire che per un $GR = 50$ si riesce ad avere un controllo dell'abbagliamento molto buono, con riduzioni praticamente trascurabili delle capacità visuali.

Capitolo 3

Criteri per la progettazione dell'impianto elettrico

In questo capitolo vengono fornite alcune informazioni riguardanti le caratteristiche dell'impianto elettrico del campo sportivo argomento della tesi e le fondamentali nozioni per una corretta progettazione della parte elettrica dell'impianto di illuminazione.

3.1 Generalità

L'impianto elettrico in questione è destinato alla sola alimentazione degli apparecchi per l'illuminazione del campo da calcio e della pista di atletica leggera, installati all'esterno e montati su torri porta proiettori.

L'impianto sportivo è infatti già dotato di un impianto elettrico, a norma, che alimenta le seguenti utenze elettriche:

- luce e forza motrice (f.m.) spogliatoio squadra locale;
- luce e f.m. spogliatoio arbitro;
- luce e f.m. spogliatoio squadra ospite;
- luce e f.m. locali tecnici;
- luce e f.m. locale adibito a bar ristoro;
- luce e f.m. sede Società;
- luce e f.m. cucina;
- luce e f.m. bagni pubblici;
- luce esterna spogliatoi e aree comuni;
- luci di emergenza;
- centrale termica;
- impianto irrigazione automatico;
- illuminazione campo da calcio sussidiario;
- illuminazione campo da tennis.

L'impianto elettrico considerato in questo elaborato richiede una potenza elettrica per l'alimentazione dei proiettori e degli ausiliari che non supera i 100 kW e sarà quindi alimentato

da una rete a bassa tensione così come imposto dall'Autorità per l'Energia Elettrica il Gas e il Sistema Idrico (AEEGSI). La rete a bassa tensione (sistema I categoria) sarà caratterizzata da:

- sistema TT;
- alimentazione trifase con neutro 230/400 V;
- frequenza industriale 50 Hz.

3.2 Conformità alle norme dei componenti

Tutti i componenti elettrici che verranno utilizzati dovranno essere a regola d'arte e idonei all'ambiente di installazione.

Come emanato dal Decreto Legislativo (D. Lgs.) 626/94, il materiale elettrico soggetto alla direttiva bassa tensione, immesso nel mercato dopo la data del 1° gennaio 1997, deve essere munito della marcatura CE. Con la marcatura CE, che è obbligatoria, il costruttore dichiara che il prodotto è a regola d'arte.

Per il materiale elettrico non soggetto alla direttiva bassa tensione, occorrerà installare prodotti con un marchio, volontario, di conformità alle norme, come ad esempio quello dell'Istituto Italiano del Marchio di Qualità (IMQ).

Gli apparecchi elettrici, come ad esempio le lampade a scarica, che possono emettere disturbi come armoniche, devono avere la marcatura CE in relazione alla direttiva EMC (art. 3 del D. Lgs. n. 194/2007; decreto attuativo della direttiva 2004/108/CE) riguardante la compatibilità elettromagnetica.

Per tutti gli apparecchi di illuminazione è previsto il marchio di conformità europeo ENEC (*European Norms Electrical Certification*), che attesta la loro conformità ad una serie di norme di sicurezza elettriche EN 60598 armonizzate.

3.3 Scelta del grado di protezione

Il codice IP (*International Protection*) identifica in modo univoco e codificato i gradi di protezione degli involucri per apparecchiature elettriche, così come stabilito dalla norma CEI EN 60529.

Nel caso di un impianto di illuminazione sportiva, il grado minimo di protezione dei vari componenti che vanno a costituire l'impianto elettrico deve essere:

- per i componenti interrati: IP 57;
- per i componenti installati a meno di 3 metri dal suolo: IP 43;

- per i componenti installati a 3 metri o più dal suolo: IP 23 se destinati a funzionare sotto la pioggia; IP 22 in caso contrario;
- per i proiettori: IP 65.

3.4 Conduitture

3.4.1 Generalità

L'alimentazione degli apparecchi di illuminazione posizionati sulla sommità di pali o torri porta proiettori, è effettuata a partire dal quadro elettrico generale attraverso linee elettriche in cavo posate all'interno di tubazioni interrato. Solamente all'interno dei sostegni i cavi sono posati in aria libera e quindi senza la protezione aggiuntiva di una tubazione. Nei successivi sottoparagrafi sono indicate le principali caratteristiche dei cavi e dei sistemi di canalizzazione previsti nella realizzazione dell'impianto di illuminazione in questione.

3.4.2 Tipi di cavi e modalità di posa

Per la realizzazione dell'impianto di illuminazione sportiva, i cavi da utilizzare, idonei per posa fissa, all'interno e all'esterno, anche interrato, sono:

- FG7R 0,6/1 kV: cavo unipolare, isolato in gomma (G7) con guaina in PVC, non propagante l'incendio;
- FG7OR 0,6/1 kV: cavo multipolare, isolato in gomma (G7) con guaina in PVC, non propagante l'incendio.

I cavi sopra elencati hanno subito, a partire dal 1° luglio 2017, delle modifiche costruttive per ottenere la classe di reazione al fuoco stabilita dal Regolamento Prodotti da Costruzione, meglio noto come Regolamento CPR (UE) 305/2011. Questo Regolamento rende obbligatorie, per tutti i cavi immessi nel mercato, la marcatura CE e la Dichiarazione di Performance. La designazione CPR delle due tipologie di cavi previsti per la realizzazione dell'impianto diventeranno rispettivamente:

- FG16R16;
- FG16OR16.

Per entrambi, la Classe di Prestazione dovrà essere C_{ca} -s3, d1, a3.

Per i conduttori isolati di terra, di protezione ed equipotenziali si deve utilizzare il bicolore giallo-verde, mentre per il conduttore di neutro il colore blu.

Per il conduttore di protezione è bene, in generale, utilizzare un cavo N07V-K (cavo unipolare isolato in PVC, non propagante l'incendio, conduttore flessibile per posa fissa) di colore

giallo-verde, anche se interrato. Anche questa tipologia di cavo, a partire sempre dal 1° luglio 2017, ha subito una variazione della designazione che, in base a quanto stabilito dal Regolamento CPR, diventerà FS17, con Classe di Prestazione Cca -s3, d1, a3.

La scelta progettuale per la realizzazione dell'impianto di illuminazione del campo sportivo oggetto di questo elaborato cade su cavi multipolari con guaina in PVC, a tensione nominale 0,6/1 kV, impiegati per la posa esterna: cavo FG16OR16 (ex FG7OR).

Dove si rende necessario l'utilizzo di cavi unipolari FG16R16 (ex FG7R), come nell'alimentazione dei circuiti ausiliari, è bene ricordare, considerando che il cavo è grigio con l'anima solitamente di colore nero, che se lo si utilizza come conduttore di neutro esso dovrà essere contrassegnato con nastratura di colore blu.

I cavi interrati saranno posati entro tubi. La posa entro tubo protettivo interrato di tipo 450 o 750 (il numero indica la forza in Newton con cui i tubi vengono provati per verificare la loro resistenza alla compressione), non richiede una profondità minima di posa e nemmeno una protezione meccanica supplementare. I tubi per posa interrata devono obbligatoriamente essere conformi alla norma CEI EN 61386-24 (CEI 23-116) "Sistemi di tubi ed accessori per installazioni elettriche – Parte 24: Prescrizioni particolari per sistemi di tubi interrati".

Lungo la tubazione devono essere predisposti pozzetti di ispezione: in corrispondenza delle torri porta proiettori, delle derivazioni e dei cambi direzione. La predisposizione dei pozzetti facilita la posa, rende l'impianto sfilabile e accessibile per eventuali riparazioni, o ampliamenti.

Il raggio minimo di curvatura, nel caso di cavi FG16R16 e FG16OR16, è di 4 volte il diametro esterno massimo, così come indicato dalla guida CEI 20-67. Resta inteso che i pozzetti dovranno avere dimensioni tali da permettere l'infilaggio dei cavi rispettando il raggio minimo di curvatura ammesso. Per cavi unipolari di sezione fino a 95 mm² sono sufficienti, per rispettare il raggio minimo di curvatura, pozzetti di dimensioni interne 40 cm x 40 cm in rettilineo e 50 cm x 50 cm negli angoli. Ovviamente per cavi unipolari di sezione superiore a 95 mm², sempre per rispettare il raggio minimo di curvatura, le dimensioni interne dei pozzetti dovranno essere scelte proporzionalmente alla sezione dei cavi utilizzati. Si rendono necessari chiusini di tipo carrabile quando sono ubicati su strada o su passi carrai.

Nelle fasi di infilaggio dei cavi, la forza di tiro deve essere esercitata direttamente sui conduttori e non sull'isolante. Per evitare il danneggiamento del cavo, è inoltre opportuno che la forza di tiro non superi 60 N/mm².

I cavi interrati devono osservare particolari prescrizioni e distanze minime di rispetto se posati in prossimità di altri cavi o di tubazioni metalliche di servizi. Nell'impianto in questione bisogna considerare la distanza dai cavi di telecomunicazione e la distanza dalle condotte del metano. Nel primo caso, se i cavi di energia o di telecomunicazione sono posati entro tubazione, non sono richieste particolari distanze di rispetto o protezioni. Nella fase

realizzativa dell'impianto in questione, i cavi di energia saranno posati, come già sottolineato, all'interno di una tubazione e quindi non si rendono necessarie protezioni particolari o specifiche distanze di rispetto. L'unica accortezza, sempre in fase realizzativa, sarà quella di disporre i cavi di energia al di sotto dei cavi di telecomunicazione. Per quanto riguarda invece le condotte di metano, c'è innanzitutto da individuare la classificazione della specie: in via Pulliere la distribuzione del metano ha una pressione di esercizio di 0,02 bar e quindi la condotta è di 7° specie. Questa tipologia di condotte è posata ad una profondità minima di 0,6 m. La distanza di sicurezza, nei parallelismi e negli incroci, tra tubazioni di 7° specie e tubazioni per cavi elettrici di energia, misurata tra le due superfici affacciate, non deve essere inferiore alla distanza che consenta di eseguire gli eventuali interventi di manutenzione su entrambi i servizi interrati.

3.4.3 Classificazione dei cavi secondo il Regolamento CPR (UE) 305/2011

I nuovi cavi CPR derivano dal regolamento dell'Unione Europea n. 305/11, che stabilisce condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti di costruzione, comunemente detto regolamento CPR (*Construction Product Regulation*). Per prodotto da costruzione si intende: "qualsiasi prodotto, o kit, fabbricato e immesso nel mercato per essere incorporato in modo permanente in opere di costruzione o in parte di esse e la cui prestazione incide sulla prestazione delle opere di costruzione rispetto ai requisiti di base delle opere stesse". Risulta chiaro che questo regolamento riguarda a tutti gli effetti anche i cavi elettrici incorporati nelle opere di costruzione, che verranno quindi considerati prodotti da costruzione e dovranno essere definiti cavi CPR.

A partire dal 1° luglio 2017, i cavi destinati ad essere incorporati negli edifici potranno essere immessi nel mercato soltanto se conformi al regolamento CPR, in quanto prodotti da costruzione. Il regolamento CPR non ha alcuna influenza su quei cavi non destinati ad essere incorporati negli edifici.

I cavi elettrici rientrano nella categoria prodotti da costruzione in relazione al loro comportamento al fuoco, ovvero la *reazione* e la *resistenza al fuoco* stesso. Anche il *rilascio di sostanze nocive* è tra le prestazioni ritenute rilevanti per i cavi, nonostante al momento non siano stati stabiliti livelli minimi prestazionali in quanto i cavi nel loro utilizzo non rilascino sostanze nocive.

I cavi sono classificati in 7 classi di *reazione al fuoco* A_{ca}, B1_{ca}, B2_{ca}, C_{ca}, D_{ca}, E_{ca} e F_{ca} in funzione delle loro prestazioni decrescenti. Il pedice "ca" (*cable*) ricorda che la classificazione riguarda i cavi.

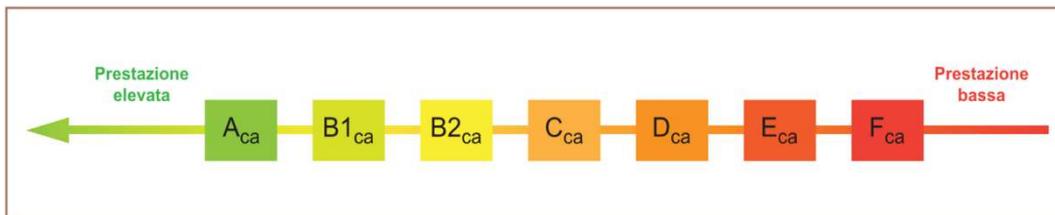


Figura 3.1. Classificazione dei cavi CPR prevista dalle norme europee in base ai parametri principali

La reazione al fuoco esprime le modalità con cui la parte combustibile del cavo partecipa al fuoco. A tal fine vengono presi in considerazione i seguenti parametri principali, per mezzo di prove standard e in condizioni specificate:

- H: altezza della bruciatura di un cavo singolo sottoposto alla fiamma [mm];
- FS (*flame spread*): estensione di propagazione della fiamma, cavi in fascio [m];
- THR (*total heat release*): quantità di calore emesso nella combustione per un determinato tempo [MJ]; questo parametro viene anche indicato con THR₁₂₀₀ per ricordare che il bruciatore viene applicato per 1200 s;
- HRR (*heat release rate*): tasso di rilascio termico [kW valore di picco];
- FIGRA (*fire growth rate index*): indice di crescita del fuoco [W/s].

Oltre a questa classificazione principale, le autorità europee hanno regolamentato anche l'uso dei seguenti *parametri aggiuntivi*:

- a (*acidity*): a1 – a2 – a3

Acidità che definisce la pericolosità dei fumi per le persone e la corrosività per le cose. L'acidità è espressa dal PH e la conduttività elettrica dei fumi in Siemens al millimetro;

- s (*smoke*): s1 – s1a – s1b – s2 – s3

Produzione e opacità dei fumi. I parametri significativi della produzione di fumo sono:

- o TSP (*Total Smoke Production*), produzione di fumo totale [m²]; questo parametro viene anche indicato con TSP₁₂₀₀ per ricordare che il bruciatore viene applicato per 1200 s;
- o SPR (*Smoke Production Rate*), tasso di produzione del fumo [m²/s valore di picco].

L'opacità dei fumi è misurata dalla trasmittanza (percentuale di luce che attraversa il campione).

- d (*droplets*): d0 – d1 – d2

Gocciolamento di particelle infiammate.

I numeri che seguono ogni parametro aggiuntivo, s, d, a sono in ordine decrescente di prestazione del cavo.

La classe di reazione al fuoco di un cavo CPR viene stabilita in base all'insieme dei parametri principali e aggiuntivi.

Teoricamente, dalle possibili combinazioni dei parametri principali e aggiuntivi si potrebbero ottenere 183 classi di reazione al fuoco. Il Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI) ha emesso, in data 1° settembre 2016, la norma CEI UNEL 35016 che fissa, unificando a livello nazionale, soltanto quattro classi di reazione al fuoco per i cavi CPR. Queste quattro classi consentono di rispettare le prescrizioni di installazione previste nell'attuale versione della norma CEI 64-8. Nella seguente tabella vengono riportate le quattro classi di reazione al fuoco di cui sopra, riportando sia i requisiti principali che quelli aggiuntivi.

Tabella 3.1. Classificazione nazionale per i cavi elettrici da costruzione

CLASSE	REQUISITI PRINCIPALI	REQUISITI AGGIUNTIVI		
	PROVE AL FUOCO	FUMO	GOCCE	ACIDITA'
B2CA - s1a, d1, a1	B2CA	s1a	d1	a1
	<p>FS \leq 1.5 m</p> <p>THR1200s \leq 15 MJ</p> <p>Picco HRR \leq 30 kW</p> <p>FIGRA \leq 150 W/s</p> <p>H \leq 425 mm</p>	<p>TSP 1200S \leq 50 m²</p> <p>picco SPR \leq 0.25 m²/s</p> <p>trasmissione \geq 80%</p>	<p>assenza di gocce/particelle ardenti persistenti oltre i 10s entro 1200 s</p>	<p>conduttività $<$ 2.5 μS/mm</p> <p>pH $>$ 4.3</p>
CCA - s1b, d1, a1	B2CA	s1a	d1	a1
	<p>FS \leq 2.0 m</p> <p>THR1200s \leq 30 MJ</p> <p>Picco HRR \leq 60 kW</p> <p>FIGRA \leq 300 W/s</p> <p>H \leq 425 mm</p>	<p>TSP 1200S \leq 50 m²</p> <p>picco SPR \leq 0.25 m²/s</p> <p>trasmissione \geq 60% $<$ 80%</p>	<p>assenza di gocce/particelle ardenti persistenti oltre i 10s entro 1200 s</p>	<p>conduttività $<$ 2.5 μS/mm</p> <p>pH $>$ 4.3</p>
CCA - s3, d1, a3	CCA	s3	d1	a3
	<p>FS \leq 2.0 m</p> <p>THR1200s \leq 30 MJ</p> <p>Picco HRR \leq 60 kW</p> <p>FIGRA \leq 300 W/s</p> <p>H \leq 425 mm</p>	<p>no s1 o s2</p>	<p>assenza di gocce/particelle ardenti persistenti oltre i 10s entro 1200 s</p>	<p>no a1 o a2</p>
ECA	ECA	/	/	/
	<p>H \leq 425 mm</p>			

L'appartenenza ad una determinata classe e la costanza delle prestazioni, dovranno essere controllate e certificate da Organismi Notificati (*Notified Bodies*) indipendenti. Esistono 3 sistemi di Valutazione e Verifica della Costanza delle Prestazioni (AVCP). Per le classi da A_{ca} a C_{ca} è richiesto un controllo più severo (Sistema 1+) che prevede la verifica iniziale, la continua sorveglianza del prodotto e verifiche del sistema di controllo della fabbricazione. Per le classi da D_{ca} a E_{ca}, il controllo prevede solamente la verifica iniziale di prodotto (Sistema 3). La classe F_{ca} è basata invece sulla autodichiarazione del produttore (Sistema 4).

Una volta che l'Organismo Notificato rilascia il certificato di Costanza delle Prestazioni, o il rapporto di prova per le classi inferiori, il fabbricante è in grado di redigere la propria Dichiarazione di Performance (DoP) ed è in possesso dei requisiti per poter porre la marcatura CE al prodotto di costruzione assumendosi la responsabilità della conformità del prodotto a quanto dichiarato.

La marcatura CE per il Regolamento CPR deve essere sempre posta accanto alle indicazioni previste dal Regolamento stesso, come ad esempio il numero di identificazione della DoP, nome e indirizzo della sede legale del fabbricante, classe di prestazione e altre indicazioni che si possono vedere sulla figura 2.

Qualora non risulti possibile fisicamente porre la marcatura CE sul prodotto, quest'ultima dovrà essere riportata sull'etichetta in maniera visibile, leggibile e indelebile. Si riporta qui di seguito un esempio di etichetta per i cavi rispondenti al Sistema 1+, tratta dalla norma EN 50575:

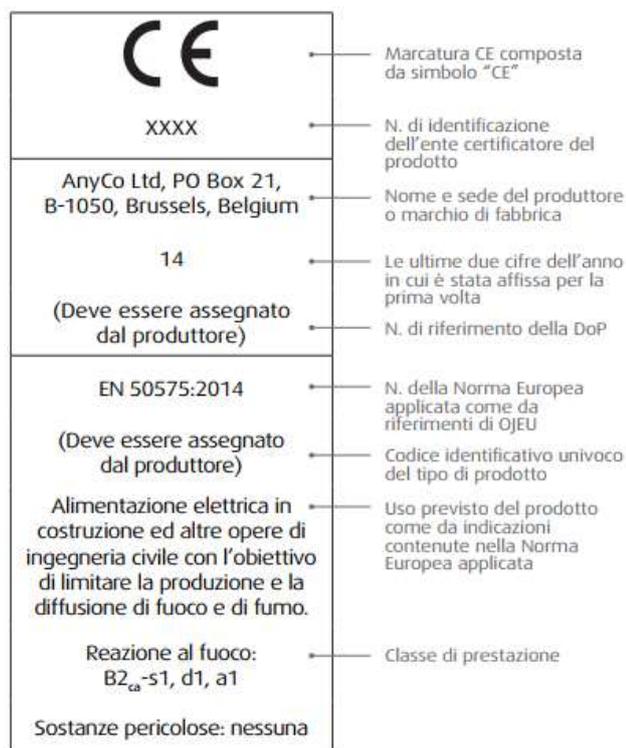


Figura 3.2. Esempio di marcatura informatica CE sull'etichetta di un prodotto CPR

L'etichetta dovrà essere posta su bobine, matasse o altre tipologie di confezionamento dei cavi di energia, controllo e comunicazione.

3.5 Calcolo della sezione dei cavi

Per la determinazione della sezione di un cavo bisogna conoscere la sua portata **I_z**, la corrente di impiego **I_b** del circuito e la sua lunghezza, quest'ultima con lo scopo di limitare la caduta di tensione entro i limiti ammessi.

Il valore della corrente di impiego **I_b**, cioè la corrente che fluisce in un circuito nel servizio ordinario andando ad alimentare i quadri elettrici e gli apparecchi di illuminazione, nota la potenza e la tensione di alimentazione, si determina, nel caso di un circuito monofase, con la relazione:

$$I_b = \frac{P}{V_n * \cos \varphi}, \quad (3.1)$$

mentre nel caso di un circuito trifase, con la relazione:

$$I_b = \frac{P}{\sqrt{3} * V_n * \cos \varphi}, \quad (3.2)$$

essendo:

- **P** la potenza assorbita complessivamente da tutti i proiettori installati e assunta pari alla somma della potenza nominale dei singoli apparecchi di illuminazione e della potenza degli alimentatori degli apparecchi stessi;
- **V_n** la tensione nominale dell'impianto pari a 230 V per circuiti monofase e 400 V per circuiti trifase;
- **cosφ** il fattore di potenza dell'utilizzatore assunto pari a 0,9.

La portata **I_z** di un cavo è il più elevato valore di corrente che a regime termico il cavo può condurre, in determinate condizioni di installazione, senza superare la massima temperatura di servizio, specifica del tipo di isolante. La portata di un cavo dipende dalla sezione, dal tipo di conduttore e di isolante, dalla temperatura ambiente e dalle altre condizioni di posa. Negli impianti di illuminazione esterna e quindi anche nel caso di un impianto di illuminazione sportiva come quello considerato in questo elaborato, la sezione del cavo viene in genere scelta non in base alla portata, bensì alla caduta di tensione, essendo quest'ultima più vincolante della prima. Per cavi con diverse condizioni di posa bisogna sempre far riferimento alla condizione di posa più gravosa. In questo elaborato si applica il metodo che fa riferimento alla tabella CEI

UNEL 35026 fascicolo 5777: tale tabella fornisce gli elementi e il metodo per determinare la portata permanente dei cavi in bassa tensione interrati nelle varie modalità di posa.

Come già precedentemente ricordato, negli impianti di illuminazione esterna, la sezione dei cavi è vincolata alla caduta di tensione (c.d.t.): questo perché l'efficienza luminosa di una lampada (lm/W) diminuisce con il diminuire della tensione di alimentazione. Ecco quindi l'importanza che la c.d.t. sia contenuta entro i limiti ammessi che, per un impianto di illuminazione esterna, non deve superare il 5% della tensione nominale dell'impianto, come specificato nella sezione 714 della norma CEI 64-8. Resta comunque inteso che vanno tenuti in debito conto, in relazione alle caratteristiche delle lampade, i valori di caduta di tensione ammissibili indicati dal costruttore.

Il calcolo della c.d.t. si effettua, per un circuito monofase, con la seguente formula:

$$\Delta V = 2 * I_b * (R * \cos \varphi + X * \sin \varphi), \quad (3.3)$$

mentre per un circuito trifase, con la relazione:

$$\Delta V = \sqrt{3} * I_b * (R * \cos \varphi + X * \sin \varphi), \quad (3.4)$$

essendo:

- **I_b** la corrente di impiego espressa in A;
- **R** la resistenza, in Ω , relativa all'intera lunghezza del conduttore di fase;
- **X** la reattanza, in Ω , relativa all'intera lunghezza del conduttore di fase;
- **cos φ** il fattore di potenza del carico (in generale assunto pari a 0,9 quando la lampada è rifasata).

La c.d.t. percentuale si determina con la relazione:

$$\Delta V\% = \frac{\Delta V}{V_n} * 100, \quad (3.5)$$

essendo:

- **ΔV** la c.d.t.;
- **V_n** la tensione nominale dell'impianto pari a 230 V per circuiti monofase e 400 V per circuiti trifase.

3.6 Prescrizioni per la sicurezza

3.6.1 Protezione contro i contatti diretti

Si ha un contatto diretto quando una persona viene a contatto con una parte attiva dell'impianto, ovvero una parte normalmente in tensione.

Nei confronti dei contatti diretti si applica la regola generale, in base alla quale tutte le parti attive devono essere isolate, oppure protette mediante l'adozione di barriere o involucri.

Per gli impianti di illuminazione esterna vengono applicate anche delle prescrizioni più restrittive: tutti gli elementi di protezione smontabili e installati a meno di 2,5 m dal suolo, devono potersi rimuovere solo con l'ausilio di chiavi o attrezzi. Se uno sportello, pur apribile con chiave o attrezzo, è posto a meno di 2,5 m dal suolo e dà accesso a parti attive, queste devono essere inaccessibili al dito di prova (IPXXB), oppure devono essere protette da un ulteriore schermo, con uguale grado di protezione, a meno che lo sportello stesso non si trovi all'interno di un ambiente accessibile solamente a persone autorizzate, che però non è il caso dell'impianto in questione.

3.6.2 Protezione contro i contatti indiretti

Un contatto indiretto si verifica quando una persona viene in contatto con parti metalliche che si trovano in tensione per cause accidentali e imprevedibili, come ad esempio a seguito di un guasto di isolamento.

La protezione contro questa tipologia di contatti sarà effettuata mediante interruzione automatica del circuito. In alternativa, per la protezione dai contatti indiretti, si può ricorrere all'utilizzo di componenti di classe II (isolamento doppio o rinforzato), oppure per separazione elettrica.

In accordo con la norma CEI 64-8, la protezione attraverso l'interruzione automatica del circuito sarà attuabile con la realizzazione di un apposito impianto di terra che dovrà essere coordinato con i dispositivi di interruzione. Tutte le masse dell'impianto utilizzatore dovranno essere collegate, attraverso appositi conduttori di protezione, all'impianto di terra. Si sottolinea che, essendo il sistema elettrico TT, il conduttore di protezione dovrà obbligatoriamente essere separato dal conduttore di neutro. All'impianto di terra verranno collegate inoltre tutte le masse estranee: questi collegamenti verranno effettuati mediante conduttori di equipotenzialità. L'interruzione automatica dei circuiti in caso di guasto verso terra è consentita andando ad installare, a monte degli utilizzatori, interruttori magnetotermici dotati di relè differenziali.

Per garantire la protezione delle persone, il valore della resistenza di terra dell'impianto dovrà essere coordinata con il valore nominale della corrente di intervento del dispositivo differenziale, in modo tale che sia verificata la seguente relazione:

$$R_t \leq \frac{50}{I_{dn}}, \quad (3.6)$$

dove:

- R_t è la resistenza di terra del dispersore espressa in Ω ;
- I_{dn} è la più elevata tra le correnti differenziali nominali d'intervento degli interruttori differenziali installati, in A.

3.6.3 Protezione contro il sovraccarico

Gli apparecchi di illuminazione, quindi anche i proiettori normalmente utilizzati per l'illuminazione di impianti sportivi, non sono soggetti a correnti di sovraccarico. La protezione delle linee di alimentazione dal sovraccarico viene comunque effettuata, questo per ottenere una maggiore sicurezza: infatti, in mancanza di protezione contro il sovraccarico, il dispositivo di protezione contro il corto circuito potrebbe non proteggere, nel caso di una linea di notevole lunghezza, per un corto circuito in fondo alla linea stessa.

La protezione contro il sovraccarico è garantita quando vengono soddisfatte le relazioni:

$$I_b \leq I_n \leq I_z, \quad (3.7)$$

$$I_f \leq 1,45 * I_z, \quad (3.8)$$

dove:

- I_b è la corrente di impiego del circuito;
- I_n è la corrente nominale dell'interruttore di protezione;
- I_z è la portata del cavo;
- I_f è la corrente che assicura l'effettivo funzionamento del dispositivo di protezione entro il tempo convenzionale in condizioni definite.

Per evitare interventi intempestivi durante la fase di accensione, vale la pena sottolineare che la corrente nominale dell'interruttore deve essere almeno doppia della corrente nominale delle lampade.

3.6.4 Protezione contro il cortocircuito

La protezione contro il cortocircuito è garantita dall'interruttore automatico idoneo anche per la protezione contro il sovraccarico.

Affinché sia verificata la protezione contro il cortocircuito, il dispositivo di protezione deve rispondere alle seguenti condizioni:

- il potere di interruzione I_{cn} non deve essere inferiore alla corrente di cortocircuito presunta I_{cp} nel punto di installazione;
- tutte le correnti provocate da un cortocircuito che si presenti in un punto qualsiasi del circuito devono essere interrotte in un tempo non superiore a quello che porta i conduttori alla temperatura limite ammissibile.

Per i cortocircuiti di durata non superiore a 5 s, il tempo t necessario affinché una data corrente di cortocircuito porti i conduttori dalla temperatura massima ammissibile in servizio ordinario alla temperatura limite può essere calcolato, in prima approssimazione, con la formula:

$$(I^2 * t) \leq K^2 * S^2, \quad (3.9)$$

dove:

- t è la durata in s;
- S è la sezione del cavo in mm^2 ;
- I è la corrente effettiva di cortocircuito in A;
- K costante il cui valore è in funzione del tipo di cavo.

Per esempio il coefficiente K è pari a 115 per conduttori in rame isolati in PVC, a 135 per conduttori in rame isolati con gomma ordinaria o gomma butilica e a 143 per conduttori in rame isolati con gomma etilenpropilenica e propilene reticolato.

Nella relazione 3.9, il termine $I^2 * t$ rappresenta l'energia specifica lasciata passare dal dispositivo di protezione, mentre con il termine $K^2 * S^2$ si indica l'energia specifica tollerabile dal cavo in condizioni adiabatiche.

3.6.5 Protezione con impiego di componenti di classe II

Tutti gli impianti di illuminazione esterna possono essere realizzati utilizzando apparecchi di classe II, con doppio isolamento o rinforzato, e cavi sempre di classe II. Ovviamente, l'utilizzo di cavi di classe II richiede particolare attenzione nella posa dei cavi stessi, per evitare danneggiamenti o abrasioni dell'isolamento, soprattutto all'ingresso nel sostegno. Anche l'eventuale morsettiera alla base del sostegno deve essere di classe II.

Gli impianti realizzati completamente con apparecchi e materiale di classe II non richiedono la messa a terra. Anzi, quest'ultima è proibita dalla norma CEI 64-8: l'esperienza ha infatti dimostrato che la probabilità che sull'involucro metallico siano riportate tensioni pericolose

per l'inefficienza dell'impianto di terra è maggiore della probabilità che la messa a terra sia utile in caso di cedimento dell'isolamento doppio o rinforzato.

Proteggere un impianto elettrico con componenti di classe II permette di evitare la denuncia dell'impianto di terra e le relative verifiche periodiche. Con questo tipo di protezione è inoltre non necessaria l'installazione del dispositivo di protezione che permette di evitare eventuali scatti intempestivi.

3.6.6 Protezione per separazione elettrica

Solitamente per singoli apparecchi o impianti elettrici poco estesi può essere conveniente evitare la realizzazione della messa terra e l'installazione dell'interruttore differenziale, utilizzando la protezione contro i contatti indiretti per separazione elettrica. Questo tipo di protezione si può ottenere mediante un trasformatore che, già secondo l'edizione VI della norma CEI 64-8 uscita nel 2007, non deve essere più necessariamente un trasformatore di isolamento.

Il circuito secondario è completamente isolato da terra e di piccola estensione, sicché al primo guasto d'isolamento la corrente capacitiva che attraversa la persona risulta trascurabile.

Il prodotto della lunghezza del circuito alimentato, espressa in metri, per la tensione nominale del circuito, espressa in volt, non deve superare i 100000 Vm.

Nel caso in cui il trasformatore alimenti più apparecchi, le masse dovranno essere collegate tra di loro: questo perché, un eventuale doppio guasto determini un cortocircuito e l'intervento delle protezioni. Quando il trasformatore va ad alimentare più apparecchi è richiesto che l'impianto sia sotto la supervisione di persone elettricamente addestrate, come specificato sempre nella norma CEI 64-8. Il collegamento a terra intenzionale delle masse degli apparecchi alimentati dal trasformatore è proibito; le ragioni per cui tale collegamento è proibito sono le stesse per cui è proibito collegare a terra gli apparecchi di classe II.

Risulta opportuno che il trasformatore utilizzato sia di classe II, abbia cioè un isolamento doppio o rinforzato verso massa. Così facendo si evita completamente la necessità dell'impianto di terra.

3.7 Quadri elettrici

Un quadro elettrico deve essere considerato a tutti gli effetti un componente dell'impianto.

I quadri elettrici utilizzati negli impianti di illuminazione degli impianti sportivi possono rientrare:

- nel campo di applicazione della norma CEI 23-51 se la corrente nominale in entrata I_{ne} (pari all'85% della corrente nominale del dispositivo di protezione e/o manovra di ingresso del quadro) è non superiore a 125 A e la corrente presunta di cortocircuito I_{cp} nel punto di installazione è non superiore a 10 kA;
- nel campo di applicazione della norma CEI EN 60439-1 se la corrente nominale in entrata I_{ne} è superiore a 125 A.

Tutti i quadri elettrici dovranno riportare tassativamente una targa, come richiesto dalla norma CEI 23-51. Secondo tale normativa, la targa deve portare in modo indelebile i seguenti dati:

- nome o marchio del costruttore che è colui che si assume la responsabilità del quadro;
- tipo del quadro;
- corrente nominale del quadro;
- natura della corrente e frequenza della stessa;
- tensione nominale di funzionamento;
- grado di protezione se superiore a IP 2XC;
- il simbolo di isolamento doppio o rinforzato (classe II), se applicabile.

I quadri saranno dotati di interruttori automatici con funzione di protezione delle linee contro gli effetti prodotti dalle correnti di sovraccarico e di cortocircuito e per la protezione contro i contatti indiretti. L'interruttore utilizzato per proteggere il circuito contro le sovracorrenti svolgerà anche la funzione di sezionare il circuito.

3.8 Protezione contro i fulmini

La valutazione del rischio legato alla fulminazione si rende necessaria, nel caso di un impianto di illuminazione di un centro sportivo, in quanto si ha contemporaneità di questi due elementi:

- probabile permanenza di un numero elevato di persone nelle immediate vicinanze del sostegno dove vengono installati i proiettori;
- sostegni con rilevanti altezze fuori terra.

La norma CEI EN 62305 (CEI 81-10), nella parte 2, è applicabile alla valutazione del rischio dovuto a fulmini a terra in una struttura o in un servizio. Questa norma fornisce la procedura per la determinazione di detto rischio. Una volta che sia stato stabilito un limite superiore per il rischio tollerabile, questa procedura permette la scelta di appropriate misure di protezione da adottare per ridurre il rischio al limite tollerabile o a valori inferiori.

Capitolo 4

Progetto illuminotecnico impianto sportivo via Pulliere – Santa Giustina (BL)

In questo capitolo vengono descritte le varie fasi di esecuzione del progetto illuminotecnico, partendo dalla scelta della classe illuminotecnica fino alla verifica dei vari parametri quantitativi e qualitativi riferiti alla classe stessa, passando per la scelta del proiettore e per le varie valutazioni sulla corretta disposizione dei sostegni. Si prenderanno in considerazione due tipologie di lampade tipicamente utilizzate per l'illuminazione degli impianti sportivi: lampade a ioduri metallici e lampade a tecnologia LED. Vista l'improponibilità di eseguire un dimensionamento illuminotecnico a mano, per il calcolo si è utilizzato il software DIALux nella versione 4.13.

Nella parte finale di questo capitolo viene effettuata un'analisi energetica delle due varianti e inoltre vengono confrontati i flussi dispersi, diretti e indiretti, causati dai proiettori che montano lampade a ioduri e dai proiettori con lampade a tecnologia LED. Questi flussi vengono valutati sia al di sotto che al di sopra dell'altezza di installo dei proiettori. Anche in questo caso, per ottenere i risultati cercati si è utilizzato il software DIALux.

4.1 Scelta della classe d'illuminazione

L'impianto sportivo di via Pulliere, nel Comune di Santa Giustina in Provincia di Belluno, come già ricordato, è costituito da un campo da calcio e da una pista di atletica leggera.

Da un sopralluogo in sito e in base alle planimetrie fornite dall'ufficio tecnico comunale, il campo da calcio ha una lunghezza di 105 m e una larghezza di 63 m, mentre la pista di atletica leggera comprende due semicerchi con raggio di 37 m, che sono uniti da due rettilinee parallele, ognuno lungo 82 m. La pista ha quindi uno schema non regolamentare: infatti, per avere una linea teorica di corsa in prima corsia pari a 400 m (schema regolamentare), i due semicerchi dovrebbero avere un raggio di 36,50 m ed essere uniti da due rettilinee parallele ognuno lungo 84,39 m, così come stabilito dalla FIDAL

Attualmente l'impianto sportivo è sprovvisto di un impianto di illuminazione e il progetto di quest'ultimo vuole garantire un illuminamento adeguato alla tipologia di competizioni che vengono svolte all'interno della struttura.

Sul campo da calcio vengono svolte attività agonistiche a livello locale (campionato di Prima categoria Regione Veneto; campionati giovanili regionali e provinciali), mentre sulla pista da atletica, viste anche le dimensioni non regolamentari, vengono effettuati solamente allenamenti o comunque attività non agonistiche.

Nella tabella 4.1 sono indicati i valori dell'illuminamento orizzontale dei campi da calcio raccomandati dal CONI (Comitato Olimpico Nazionale Italiano). Tali valori corrispondono a quelli previsti dalla norma UNI EN 12193:2007.

Tabella 4.1. Campo da calcio. Valori dell'illuminamento medio orizzontale mantenuto (E_m) e dell'uniformità (E_{min}/E_m) raccomandati dal CONI e previsti dalla norma UNI EN 12193:2007

LIVELLO DI ATTIVITA'	E_m (lux)	E_{min}/E_m
Attività agonistiche a livello nazionale o internazionale (livello III)	500	0.7
Attività agonistiche a livello locale (livello II)	200	0.6
Attività non agonistiche (livello I)	75	0.5

Per quanto riguarda invece la pista di atletica leggera, nella tabella 4.2 sono indicati i valori dell'illuminamento orizzontale raccomandati dal CONI e previsti dalla norma UNI EN 12193:2007 per l'attività sportiva in questione.

Tabella 4.2. Pista di atletica leggera. Valori dell'illuminamento medio orizzontale mantenuto (E_m) e dell'uniformità (E_{min}/E_m) raccomandata dal CONI e previsti dalla norma UNI EN 12193:2007

LIVELLO DI ATTIVITA'	E_m (lux)	E_{min}/E_m
Attività agonistiche a livello nazionale o internazionale (livello III)	500	0.7
Attività agonistiche a livello locale (livello II)	200	0.5
Attività non agonistiche (livello I)	100	0.5

Considerando la tipologia di attività che vengono svolte sul campo da calcio, che come già ricordato sono agonistiche a livello locale, la scelta della classe d'illuminazione cadrebbe sul **livello II**, dove sono richiesti **200 lux** per l'illuminamento medio e un'uniformità E_{min}/E_{med} pari a **0,6**.

Oltre a quanto raccomandato dal CONI e previsto dalla norma UNI EN 12193, per il campo da calcio vale la pena valutare anche quanto specificato dalle linee guida della LND.

Quest'ultime distinguono tre tipi di campo da gioco in base alle dimensioni e tre classi di illuminazione in base alle dimensioni stesse e alla capienza, in termini di spettatori. Nelle seguenti tabelle viene specificato quanto appena affermato:

Tabella 4.3. *Tipologia dei campi di gioco in base alle dimensioni minime dettate dai regolamenti F.I.G.C. e LND.*

TIPO DI CAMPO DI GIOCO	DIMENSIONI MINIME (larghezza x lunghezza) [m]	COMPETIZIONE
A	65 x 105	Campionato Nazionale Dilettanti; Campionato di Eccellenza; Campionato di Promozione.
B	50 x 100	Campionato di Prima Categoria; Campionato di Seconda Categoria.
C	45 x 90	Campionato di Terza Categoria e Amatoriale; Campionato per Attività Giovanile e Scolastica; Campionato di Calcio Femminile.

Tabella 4.4. *Classi di illuminazione, dettate dai regolamenti F.I.G.C. e LND, in base alla tipologia dei campi di gioco e alla capienza degli impianti sportivi.*

CLASSE DI ILLUMINAZIONE	TIPO DI CAMPO DA GIOCO	CAPIENZA
I	A e B	Fino a 20000 spettatori
II	A e B	Fino a 5000 spettatori
III	C	Fino a 3000 spettatori

Tabella 4.5. *Livelli dei parametri quantitativi e qualitativi in base alle dimensioni minime dei campi di gioco e alle classi di illuminazione*

Dimensioni [m]	Classe illuminazione	Em [lux]	Uniformità		Abbagliamento GRmax	Pmax [kW]
			Emin/Emed	Emin/Emax		
105 x 65	I	300	0.70	0.60	50	78
			0.70	0.60	50	70
	II	150	0.60	0.50	50	40
			0.60	0.50	50	35
100 x 50	I	300	0.70	0.60	50	60
			0.70	0.60	50	55
	II	150	0.60	0.50	50	35
90 x 45	III	100	0.60	0.40	55	25

Seguendo quanto specificato dalle linee guida, il campo da calcio di via Pulliere può essere considerato, anche se la larghezza è di poco inferiore alla quota minima di 65 m, di tipo A e avendo una capienza dell'impianto inferiore ai 5000 spettatori, la classe d'illuminazione cadrebbe sulla **classe II**, con una richiesta, in questo caso, di **150 lux** per l'illuminamento medio e un'uniformità E_{min}/E_{med} pari a **0,6**.

Si nota che, tra quanto raccomandato dal CONI, che si rifà a quello previsto dalla norma UNI EN 12193 e quanto specificato dalle linee guida della LND, c'è una discordanza tra gli illuminamenti medi richiesti: nel primo caso infatti è di 200 lux, mentre nel secondo è di 150 lux.

Nel proseguo dell'elaborato, per quanto riguarda il campo da calcio, si è scelto di soddisfare la richiesta specificata dalle linee guida della LND e quindi di avere, sul piano orizzontale, coincidente con la superficie dello spazio di attività, un illuminamento medio di **150 lux**, con un'uniformità E_{min}/E_{med} pari a **0,6** e un livello ammissibile dell'indice di abbagliamento *glare rating* GR pari a **50**. Questa scelta è stata fatta dopo un confronto con il Dott. Andrea Bertolo, responsabile dell'Unità Operativa Fisica Ambientale dell'ARPAV di Padova. Effettivamente l'illuminamento medio di **200 lux** richiesto dalla norma UNI 12193 è troppo elevato per partite dilettantistiche e comporterebbe sia un consumo notevole di energia elettrica e anche un grosso impatto sull'inquinamento luminoso.

Inoltre, per garantire quanto richiesto dalla legge regionale n.17 sul contenimento dell'inquinamento luminoso, l'impianto di illuminazione verrà dotato di comandi appositi per l'ottimizzazione dei consumi energetici che permetteranno di ottenere, oltre ai **150 lux**, anche illuminamenti medi pari a **100** e **75 lux**, il primo con un'uniformità E_{min}/E_{med} pari a **0,6** e il secondo con E_{min}/E_{med} pari a **0,5**. Sempre in riferimento a quest'ultimi due illuminamenti medi, il livello ammissibile dell'indice di abbagliamento *glare rating* GR sarà pari a **55**.

Si è infine voluto soddisfare i valori di illuminamento medio e di uniformità sopra indicati non superando una massima potenza attiva di **40 kW** per l'ottenimento dei **150 lux** e una massima potenza attiva di **25 kW** per l'ottenimento dei **100** e dei **75 lux**, così come specificato sempre sulle linee guida.

Per quanto riguarda invece la pista di atletica leggera, la Federazione Italiana di Atletica Leggera (FIDAL) non ha realizzato delle linee guida da seguire per la progettazione dell'impianto di illuminazione, ma ha semplicemente specificato di fare riferimento alle "*Norme CONI per l'impiantistica sportiva*". In base a quanto specificato dalla norma UNI EN 12193, la classe di illuminazione cadrebbe sul **livello I**, dove sono richiesti **100 lux** per l'illuminamento medio, un'uniformità E_{min}/E_{med} pari a **0,5** e un livello ammissibile dell'indice di abbagliamento *glare rating* GR pari a **55**. La norma, inoltre, precisa che per la sola corsa sarebbero sufficienti **50 lux**. Anche qui, dopo un'attenta valutazione condotta con il supporto dell'Unità Operativa Fisica Ambientale dell'ARPAV di Padova e considerando il fatto che la

pista viene sfruttata principalmente proprio per l'allenamento della corsa, si è optato per ottenere un illuminamento medio di **50 lux**, con la possibilità di raggiungere un illuminamento di **75 lux** da sfruttare quando si svolgono allenamenti di salto in lungo, lancio del peso e del giavellotto.

I valori di illuminamento fin qui elencati fanno riferimento all'area principale (PA). Per il campo da calcio, le dimensioni dell'area principale sono 105 x 63 m, mentre per la pista di atletica sono 172,25 x 91,55 m. Se per la pista l'area principale corrisponde all'area totale (TA), la stessa cosa non vale per il campo da calcio, dove le dimensioni di TA sono 112 x 75 m. C'è quindi un'area aggiuntiva di sicurezza immediatamente esterna alla zona principale dove, i livelli di illuminamento dovranno necessariamente essere pari ad un minimo di un 75% di quelli dell'area principale (§ 2.5).

La tabella 4.6 riassume quanto appena descritto a riguardo dell'area principale e dell'area totale:

Tabella 4.6. *Dimensioni delle aree principali e totali del campo da calcio e della pista di atletica*

SPORT	DIMENSIONI AREA PRINCIPALE [m]		DIMENSIONI AREA TOTALE [m]	
	L	P	L	P
Campo da calcio	105.00	63.00	112.00	75.00
Pista di atletica	172.25	91.55	172.25	91.55

Nelle seguenti tabelle vengono riepilogati i parametri quantitativi e qualitativi che si vogliono ottenere sia per il campo da calcio che per la pista di atletica.

Tabella 4.7. *Livelli di illuminamento e altri requisiti da rispettare nel progetto illuminotecnico del campo da calcio di via Pulliere*

ILLUMINAMENTO MEDIO [lux]	UNIFORMITA' (E_{min}/E_{med})	ABBAGLIAMENTO (GR max)	POTENZA MASSIMA [kW]
75	0.5	55	25
100	0.6	55	25
150	0.6	50	40

Tabella 4.8. Livelli di illuminamento e altri requisiti da rispettare nel progetto illuminotecnico della pista di atletica di via Pulliere

ILLUMINAMENTO MEDIO [lux]	UNIFORMITA' (E_{min}/E_{med})	ABBAGLIAMENTO (GR_{max})
50	0.5	55
75	0.5	55

4.2 Disposizione e altezza torri faro

Prima di procedere con le varie simulazioni illuminotecniche, è di fondamentale importanza scegliere il corretto posizionamento delle torri faro e la loro altezza. Posizione e altezza dei sostegni devono essere scelte con criterio, questo con l'obiettivo di evitare fenomeni di abbagliamento ai giocatori e agli spettatori.

Come già ricordato nel § 4.1, sul campo da calcio vengono svolte attività agonistiche a livello locale che rientrano nella categoria delle competizioni amatoriali – dilettantistiche. Se non fosse presente la pista di atletica, sarebbe stato possibile posizionare le torri faro lungo le linee laterali del campo, come del resto suggerito anche dalle linee guida della LND per le competizioni amatoriali e come già specificato nel § 2.4.

La presenza della pista di atletica complica e non poco la scelta di come disporre i sostegni. Tale scelta è resa ancora più complicata dalla presenza di due tribune davanti alle quali, ovviamente, non è possibile installare torri faro per non limitare la visibilità delle attività sportive da parte degli spettatori. Risulta quindi impossibile scegliere di disporre i sostegni in posizione parallela alle linee perimetrali laterali del campo da calcio ed esternamente alla pista di atletica.

Per individuare la giusta disposizione delle quattro torri faro, si è quindi deciso di trovare un giusto compromesso tra la disposizione prevista per competizioni di tipo amatoriale e quella prevista per competizioni professionistiche (anche quest'ultima specificata nel § 2.4).

I proiettori verranno quindi collocati su sostegni posti diagonalmente agli angoli del campo, come è tipico per le competizioni professionistiche, purché siano posti, come è invece tipico per le competizioni amatoriali, ad almeno 10° dalle linee di fondo. La figura che segue vuole essere chiarificatrice in tal senso: in essa si può inoltre notare che anche la zona dietro l'area di rigore è interdetta e non è quindi possibile posizionare lì torri faro. Quest'ultima zona interdetta fa riferimento alle norme FIFA (*Fédération Internationale de Football Association*) che aggiungono ulteriori indicazioni rispetto alle linee guida della LND.

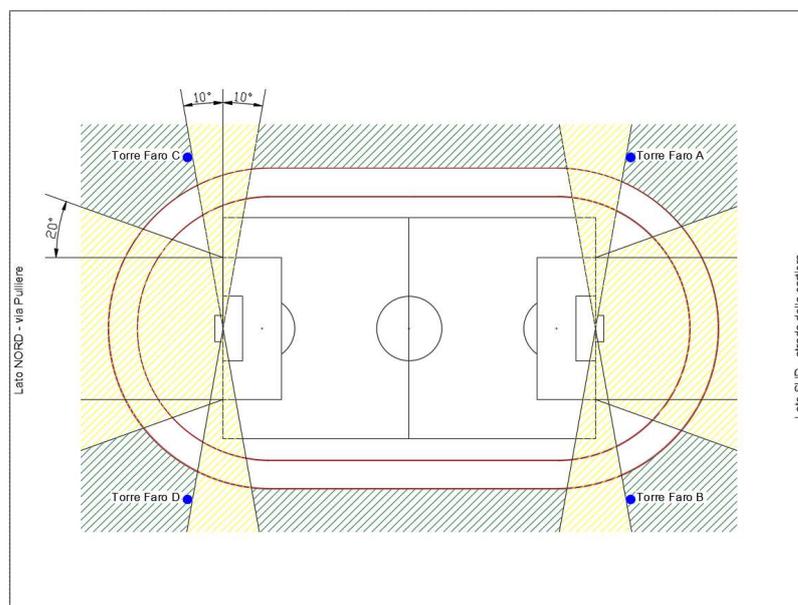


Figura 4.1. Zone per il posizionamento delle torri faro: in verde sottolineate le zone idonee, mentre in giallo le zone interdette

Prima di indicare nel dettaglio il posizionamento delle torri faro, è necessario analizzare con precisione la geometria del campo da calcio e quella della pista di atletica. Infatti, il centro del campo da calcio non risulta perfettamente coincidente con la linea che, ipoteticamente, andrebbe a dividere verticalmente a metà la pista di atletica, ma esiste uno scostamento pari a 1,25 m, come mostrato nella figura 4.2.

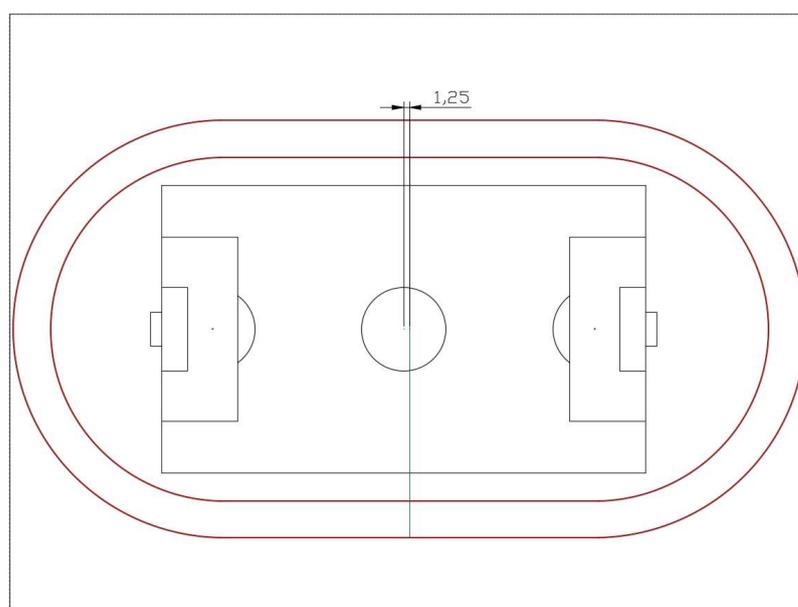


Figura 4.2. Scostamento tra il centro del campo da calcio e la linea verticale che divide la pista di atletica

Detto di questo scostamento, è ora possibile andare a individuare la precisa posizione delle torri faro. Considerate le dimensioni non regolamentari della pista di atletica, che come detto viene utilizzata solamente per gli allenamenti, si è deciso di posizionare i sostegni prediligendo l'illuminazione del campo da calcio, dove invece si svolgono gare ufficiali.

Ecco quindi che le quattro torri faro saranno poste in maniera simmetrica, sia orizzontalmente che verticalmente, rispetto al centro del campo da calcio.

A seguire, per una maggior chiarezza, le posizioni dei sostegni vengono specificate sia prendendo come origine degli assi di riferimento il centrocampo, sia il punto medio della retta verticale che taglia a metà la pista di atletica.

Nella figura 4.3 è possibile visualizzare, oltre alla simmetria, anche le distanze, espresse in metri, dei sostegni rispetto al centro del rettangolo destinato al gioco del calcio.

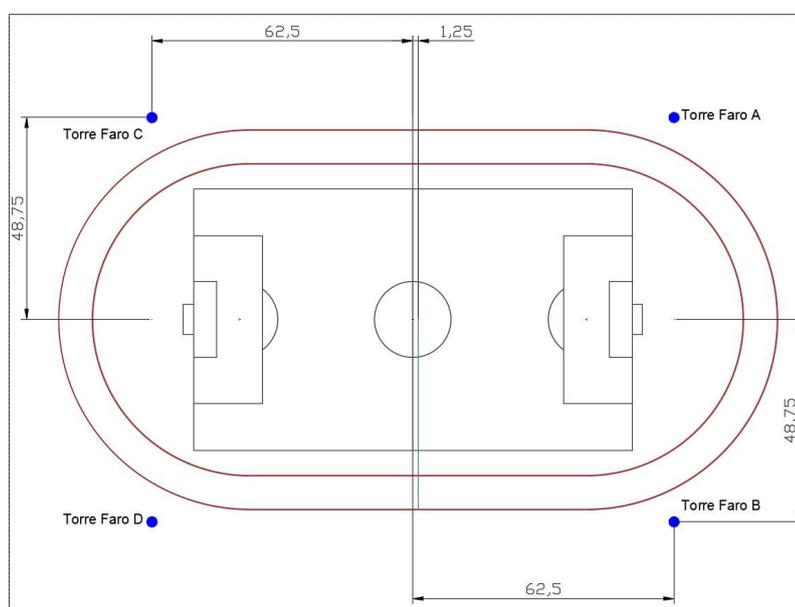


Figura 4.3. Posizione secondo gli assi X e Y delle torri faro: origine posta al centro del campo da calcio

Prendendo quindi come origine degli assi di riferimento il centro del campo da calcio, le posizioni dei pali sono quelle riportate nella seguente tabella:

Tabella 4.9. Lista della posizione dei pali rispetto al centro del campo da calcio

Denominazione	Posizione [m]	
	X	Y
Torre faro A	62.250	48.750
Torre faro B	62.250	-48.750
Torre faro C	-62.250	48.750
Torre faro D	-62.250	-48.750

Se si prende invece come origine degli assi di riferimento il punto medio della retta verticale che taglia a metà la pista di atletica, le posizioni dei pali sono le seguenti:

Tabella 4.10. Lista della posizione dei pali rispetto al punto medio della retta verticale che divide a metà la pista di atletica

Denominazione	Posizione [m]	
	X	Y
Torre faro A	61.250	48.750
Torre faro B	61.250	-48.750
Torre faro C	-63.750	48.750
Torre faro D	-63.750	-48.750

Nella figura che segue è possibile visualizzare le distanze, sempre espresse in metri, dei sostegni rispetto al punto medio della retta verticale che taglia a metà la pista di atletica.

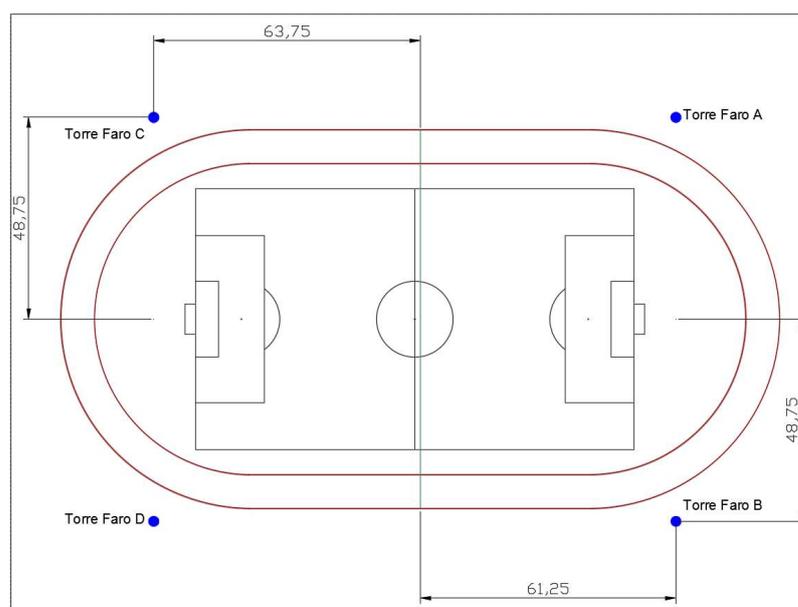


Figura 4.4. Posizione secondo gli assi X e Y delle torri faro: origine posta nel punto medio della retta verticale che divide a metà la pista di atletica

Per quanto riguarda l'altezza delle torri faro, questa è stata determinata in modo tale che l'angolo tra la linea congiungente il centro del campo con il centro ottico equivalente dei proiettori installati e il piano orizzontale non sia inferiore a 25°. Successivamente, per una questione di semplicità, questo angolo sarà definito con la lettera greca ξ (xi).

Nel § 2.4 sono state elencate quelle che sono le altezze normalizzate dei sostegni: 16, 20, 25 e 30 metri. Nelle linee guida della LND è specificato che, per attività dilettantistiche ufficiali, l'altezza minima delle torri faro ammessa è di 18 m.

Per rispettare quanto sopra puntualizzato, cioè che l'angolo ξ non deve essere inferiore a 25° , si è optato per torri faro alte 25 m, come è dimostrato anche nella figura 4.5, dove di può notare che ξ è pari a 27° .

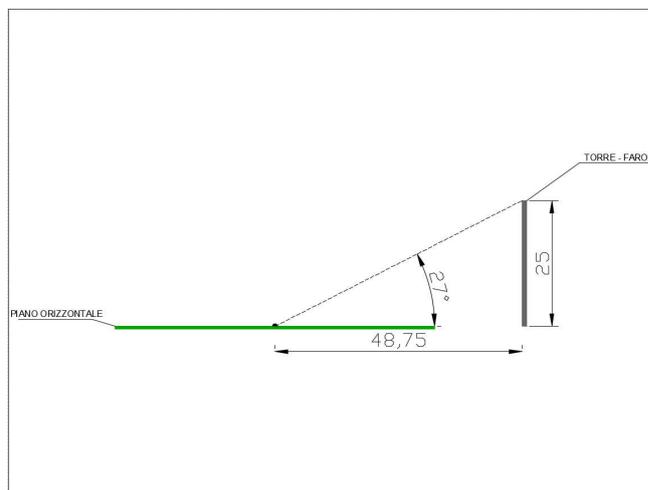


Figura 4.5. Angolo ξ con torre faro alta 25 metri

Considerato il grande impatto architettonico rappresentato dalle torri faro, era stata inizialmente presa in considerazione la possibilità di utilizzare sostegni con un'altezza di 20 m, ma purtroppo quest'ultimi non permettevano di ottenere un angolo ξ maggiore ai 25° , come è possibile vedere nella figura 4.6 ($\xi = 22^\circ$).

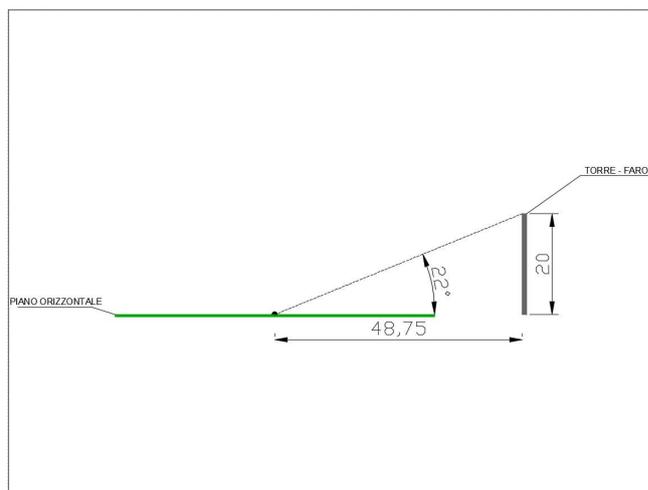


Figura 4.6. Angolo ξ con torre faro alta 20 metri

4.3 Informazioni generali al fine della progettazione illuminotecnica

In questo paragrafo si vogliono fornire informazioni utili per comprendere al meglio le simulazioni illuminotecniche che verranno presentate in seguito.

Innanzitutto si sottolinea il fatto che per il campo da calcio si andrà a verificare il rispetto dei livelli di illuminamento richiesti sia per l'area principale (PA) che per l'area totale (TA), mentre per la pista di atletica la verifica riguarderà solamente la PA perché, come già ricordato, le due aree coincidono.

Le griglie di calcolo, che sono generate automaticamente dal software DIALux, rispettano ovviamente quanto stabilito dalla norma UNI 12193. Per il campo da calcio, con riferimento all'area principale, il numero dei punti del reticolo sono 273 (21 punti lungo l'asse delle ascisse X distanziati di 5 m e 13 punti lungo l'asse delle ordinate Y distanziati di 4,846 m), mentre per l'area totale sono 315 (21 punti lungo l'asse delle ascisse X distanziati di 5,333 m e 15 punti lungo l'asse delle ordinate Y distanziati di 5 m).

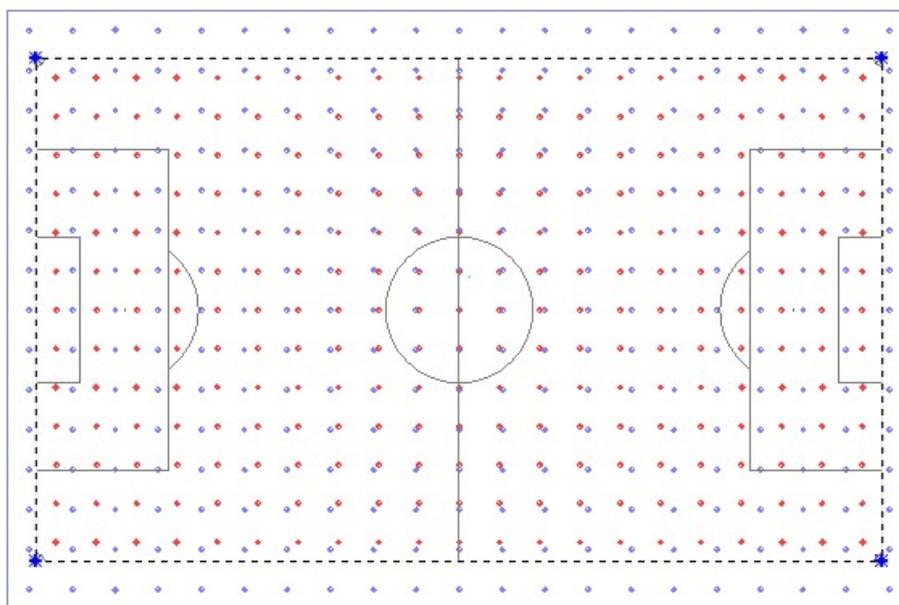


Figura 4.7. *Punti della griglia di calcolo per il campo da calcio: in rosso indicati i punti dell'area principale (PA) e in blu i punti dell'area totale (TA)*

Per la pista di atletica invece, il numero dei punti del reticolo sono 63: 21 punti lungo il senso di marcia distanziati di 18,995 m e 3 punti trasversali al senso di marcia distanziati di 2,658 m. Ovvio che i 63 punti del reticolo della pista di atletica, di cui si sono appena date le distanze lungo gli assi, si trovano distribuiti all'interno della pista stessa e non all'esterno di essa.

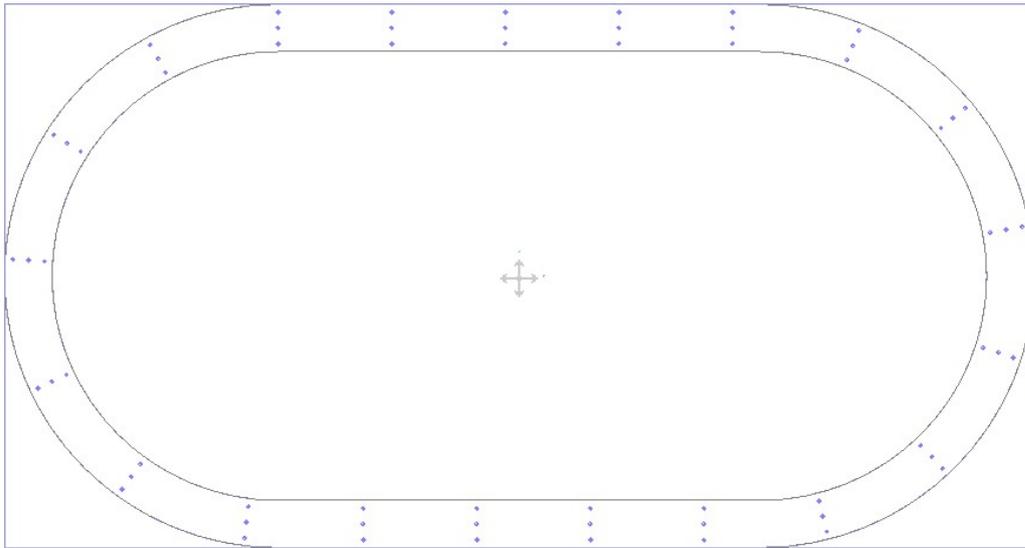


Figura 4.8. Punti della griglia di calcolo per la pista di atletica

Per il campo da calcio, che ovviamente è in erba, il coefficiente di riflessione scelto è pari a 0,29, mentre per la pista di atletica, che per quasi la sua totalità è in cemento, il coefficiente di riflessione è pari al 0,54. Entrambi questi valori sono quelli che il software DIALux fornisce di default per i materiali sopra menzionati.

La limitazione dell'abbagliamento viene valutata attraverso l'indice GR (*glare rating*): per fare questa valutazione sono stati inseriti 19 punti di calcolo per il campo da calcio, mentre ne sono stati inseriti 20 per la pista di atletica; in entrambi i casi l'osservatore è posto a 1,5 m d'altezza rispetto al terreno. Il numero e la posizione di questi punti di calcolo sono stati scelti per valutare l'abbagliamento in concordate posizioni degli osservatori. Per il campo da calcio si può notare che i punti di calcolo permettono sostanzialmente di dividere il rettangolo di gioco in 4 aree di valutazione identiche tra di loro: per ogni metà campo, infatti, sono individuabili due aree orizzontali. Quest'ultime, come si può verificare dalle figure 4.9 e 4.9.bis, hanno ciascuna 7 punti di calcolo. Si consideri, ad esempio, la metà campo sinistra della fig. 4.9: la prima area orizzontale di riferimento è delimitata dai punti 2, 3, 12, 5, 4 e 10, dove nel centro esatto si trova il punto 17; la seconda area di riferimento è invece delimitata dai punti 2, 10, 4, 6, 11, 1 e questa volta nel centro esatto si trova il punto 16. Per quanto riguarda invece la pista di atletica, il modo di procedere non dista poi molto da quello appena visto per il campo da calcio. Anche qui, infatti, la pista viene divisa in 4 aree di valutazione identiche tra di loro e ognuna di queste 4 aree ha anche questa volta 7 punti di calcolo. Facendo riferimento alle figure 4.10 e 4.10 bis, considerando la metà pista posta alla sinistra della linea verticale che divide in due la pista stessa, la prima area è delimitata dai punti 1, 2, 7 e 8, con al centro della pista altri tre punti di calcolo che sono il 19, 10 e il 15; la seconda area invece è delimitata dai punti 1, 2, 5 e 6, con al centro sempre tre punti che sono questa volta il 20, 16 e 11.

Tali punti rimarranno gli stessi sia per la variante con lampade a ioduri metallici che per quella con lampade a tecnologia LED. Nelle figure e tabelle seguenti è possibile visualizzare la disposizione dei punti di calcolo, la loro numerazione e le precise coordinate di quest'ultimi.

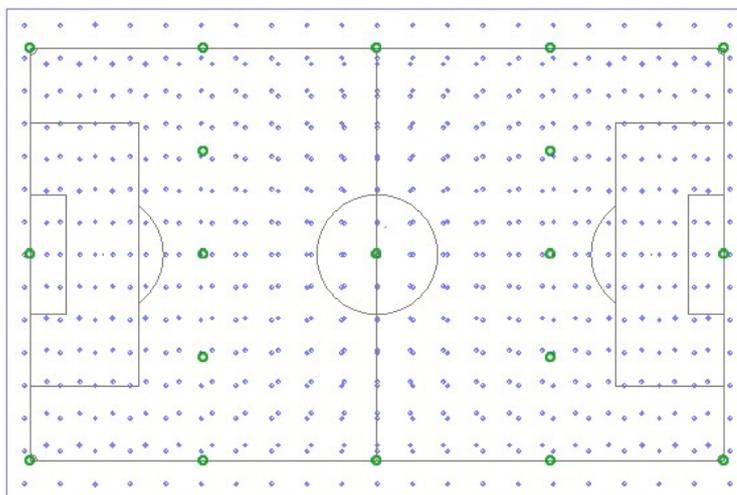


Figura 4.9. *Disposizione dei punti di calcolo GR per il campo da calcio (indicati in verde)*

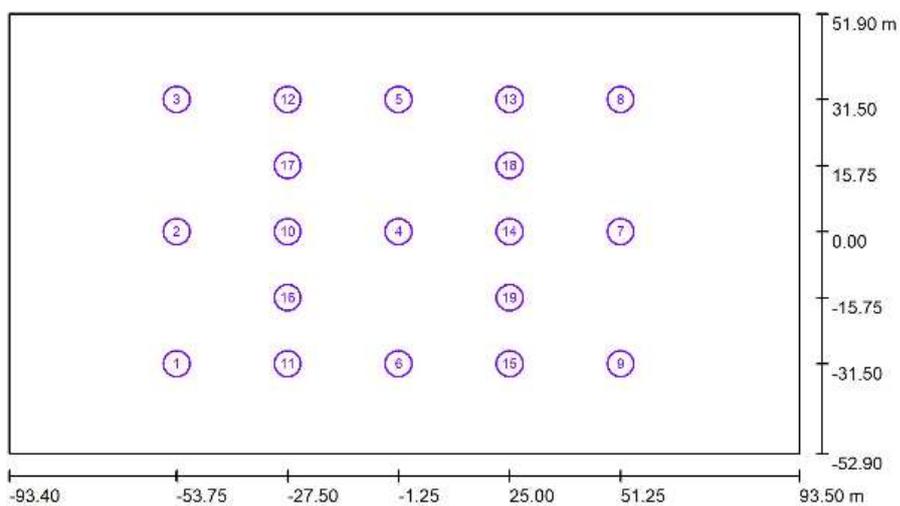


Figura 4.9.bis. *Numerazione dei punti di calcolo GR per il campo da calcio*

Tabella 4.11. Lista dei punti di calcolo GR per il campo da calcio

No.	Denominazione	Posizione [m]			Avvio	Fine	Area angolo di mira [°]	
		X	Y	Z			Grandezza	intervallo
1	Osservatore GR 1	-53.750	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
2	Osservatore GR 2	-53.750	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
3	Osservatore GR 3	-53.750	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
4	Osservatore GR 4	-1.250	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
5	Osservatore GR 5	-1.250	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
6	Osservatore GR 6	-1.250	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
7	Osservatore GR 7	51.250	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
8	Osservatore GR 8	51.250	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
9	Osservatore GR 9	51.250	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
10	Osservatore GR 10	-27.500	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
11	Osservatore GR 11	-27.500	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
12	Osservatore GR 12	-27.500	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
13	Osservatore GR 13	25.000	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
14	Osservatore GR 14	25.000	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
15	Osservatore GR 15	25.000	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
16	Osservatore GR 16	-27.500	-15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
17	Osservatore GR 17	-27.500	15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
18	Osservatore GR 18	25.000	15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
19	Osservatore GR 19	25.000	-15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0

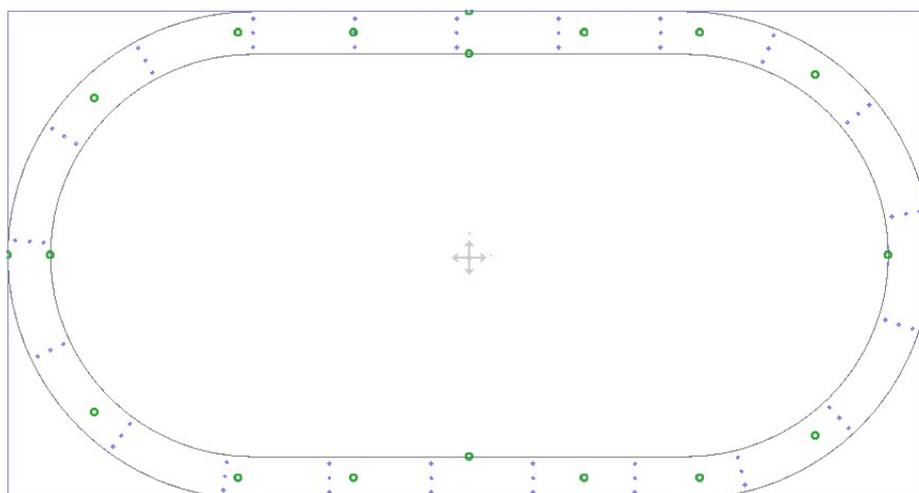


Figura 4.10. Disposizione dei punti di calcolo GR per la pista di atletica (indicati in verde)

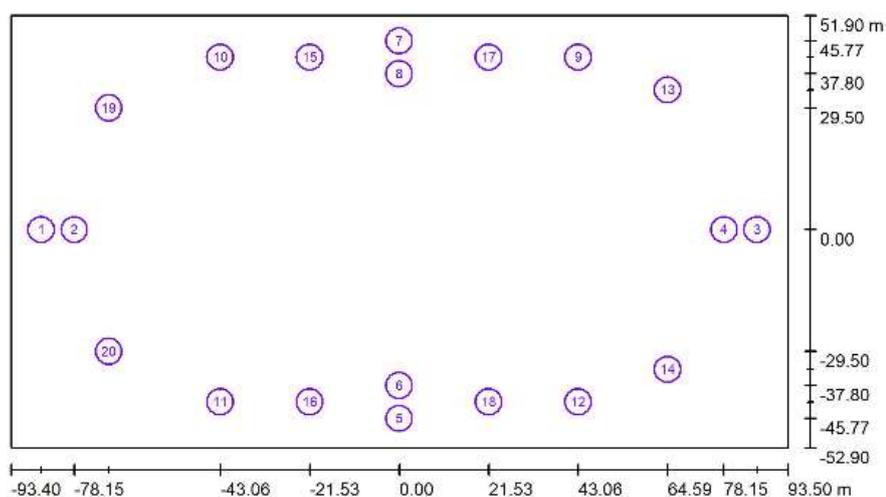


Figura 4.10.bis. Numerazione dei punti di calcolo GR per la pista di atletica

Tabella 4.12. Lista dei punti di calcolo GR per la pista di atletica

No.	Denominazione	Posizione [m]			Avvio	Fine	Area angolo di mira [°]	
		X	Y	Z			Grandezza	intervallo
1	Osservatore GR 1	-86.125	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
2	Osservatore GR 2	-78.150	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
3	Osservatore GR 3	86.125	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
4	Osservatore GR 4	78.150	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
5	Osservatore GR 5	0.000	-45.775	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
6	Osservatore GR 6	0.000	-37.800	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
7	Osservatore GR 7	0.000	45.775	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
8	Osservatore GR 8	0.000	37.800	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
9	Osservatore GR 9	43.063	41.788	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
10	Osservatore GR 10	-43.062	41.788	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
11	Osservatore GR 11	-43.062	-41.787	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
12	Osservatore GR 12	43.063	-41.787	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
13	Osservatore GR 13	64.594	33.900	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
14	Osservatore GR 14	64.594	-33.900	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
15	Osservatore GR 15	-21.531	41.788	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
16	Osservatore GR 16	-21.531	-41.787	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
17	Osservatore GR 17	21.531	41.788	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
18	Osservatore GR 18	21.531	-41.787	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
19	Osservatore GR 19	-69.900	29.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0
20	Osservatore GR 20	-69.900	-29.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0

4.4 Variante di progetto di illuminazione con lampade a ioduri metallici

Lo scopo di questa prima variante è quello di voler rispettare, sia per il campo da calcio che per la pista di atletica, i livelli di illuminamento, l'uniformità e il limite massimo di abbagliamento GR, già prefissati nel § 4.1, con l'utilizzo di una tecnologia "matura" e collaudata, cioè con l'utilizzo di proiettori che montano lampade a scarica a ioduri metallici.

4.4.1 Scelta del proiettore e della lampada

Per questa alternativa si sono scelti i proiettori *Champion* della THORN che, oltre a rispettare tutte le caratteristiche richieste dalle linee guida della LND, rappresentano anche uno dei prodotti più performanti, se non il più performante, nel mercato per l'illuminazione sportiva. Tra i vari modelli facenti parte della famiglia di proiettori *Champion*, la scelta è ricaduta sul modello CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI. Si tratta di un proiettore a scarica asimmetrica ad alta prestazione per 1 lampada a ioduri metallici modello HIT-DE-MF (OS) da 2000W, classe d'isolamento I, con compartimento ottica e alimentazione IP66, IK08 (con IK si va ad indicare il grado di protezione contro gli impatti meccanici esterni e permette di identificare il grado di robustezza: il grado IK08 definisce un impatto pari a 5 Joule). Il corpo è in alluminio pressofuso (EN AB-44300, EN AC-44300) non verniciato stampato a iniezione, caratterizzato da una chiusura in vetro piano temperato di spessore 4 mm ad elevata trasparenza.

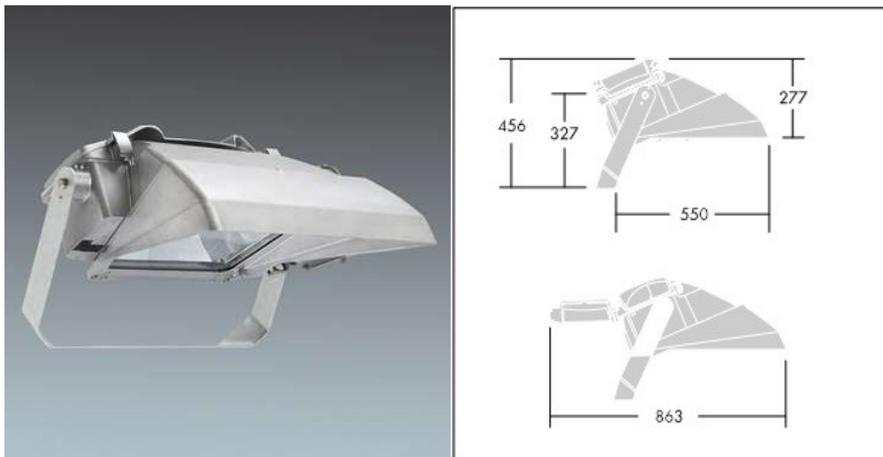


Figura 4.11. Proiettore Champion della THORN e dimensioni

L'apparecchio è caratterizzato da un flusso luminoso pari a **166980 lm** (a 25° C), un'efficienza luminosa di **77 lm/W** e un rendimento ottico η uguale a **0,73** (η in alto 0,00; η in basso 0,73). Nella figura seguente viene mostrata la curva fotometrica asimmetrica del proiettore che permette di notare la ripartizione delle intensità luminose.

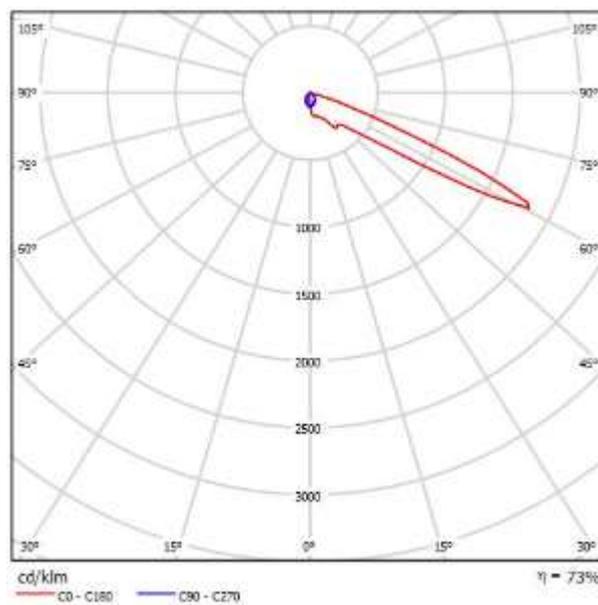


Figura 4.12. Curva fotometrica proiettore CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 W1

La lampada HIT-DE-MF da 2000 W è del tipo a ioduri metallici, ad alta potenza e doppio attacco (k12S). Nella seguente tabella vengono riportati i dati fondamentali di questa tipologia di lampade:

Tabella 4.13. Dati fondamentali della lampada HIT-DE-MF

Potenza [W]	2000
Vita media [h]	6000
Flusso luminoso [lm]	230000
Efficienza luminosa [lm/W]	106
Temperatura di colore [K]	5800
Indice minimo di resa cromatica (Ra)	85

Il proiettore *Champion* garantisce una intensità non superiore a 0,49 cd per 1000 lm per angoli superiori ai 90°, come richiesto dalla legge regionale n.17 sul contenimento dell'inquinamento luminoso ed è quindi adatto per le aree in cui il controllo della luce dispersa è critico. Vale la pena sottolineare che, anziché avere un'effettiva struttura a vetro piano che può limitare l'efficienza luminosa, il concetto ottico del proiettore *Champion* è costruito intorno a un vetro inclinato all'interno del corpo del proiettore. La parte anteriore di quest'ultimo funge da schermo *cut-off* per una totale schermatura, consentendo di trasmettere l'88% della luce emessa (fig. 4.13) e fornendo quindi una superficie per l'emissione di luce "virtuale" che rimane parallela al suolo. Il portalampane di questo proiettore è regolabile in tre posizioni e permette così di ottimizzare l'uniformità dei puntamenti senza la necessità di inclinare l'apparecchio stesso.

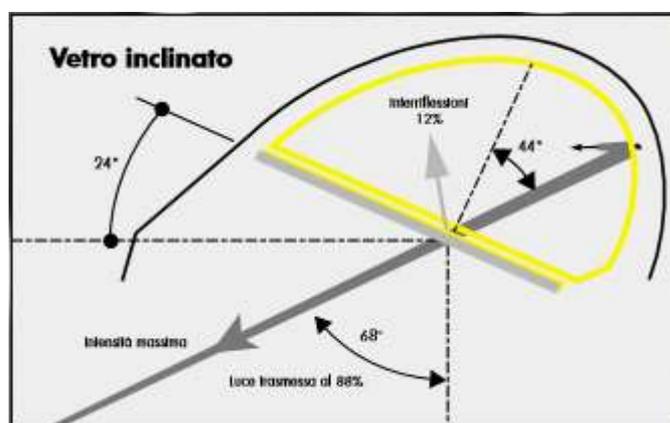


Figura 4.13. Concetto ottico ottimizzato del proiettore Champion

Per un corretto puntamento del proiettore *Champion*, lo stesso viene fornito con mirini integrati.

4.4.2 Illuminazione campo da calcio – illuminamento medio 75 lux

Facendo i dovuti calcoli illuminotecnici con il software DIALux, per ottenere il valore di illuminamento desiderato sono stati utilizzati 8 proiettori *Champion*, 2 per ognuna delle 4 torri faro. Le coordinate dei proiettori e dei punti di proiezione di quest'ultimi, necessari per

ottenere i parametri illuminotecnici richiesti, sono individuabili sulla figura e sulla tabella che seguono.

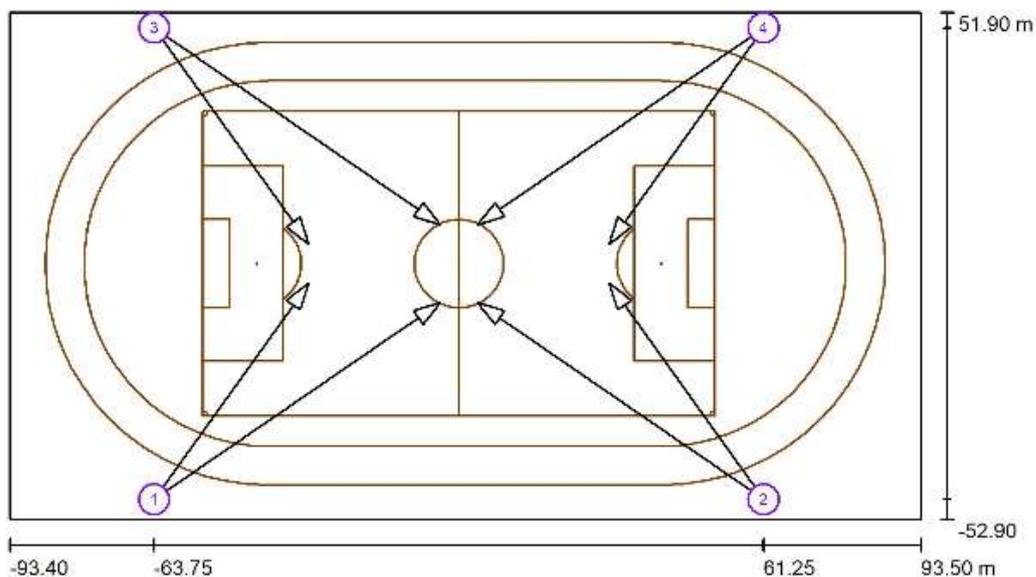


Figura 4.14. Puntamenti degli 8 proiettori all'interno del campo da calcio

Tabella 4.14. Lista coordinate dei proiettori e dei loro punti di proiezione

Lampada	Indice	Posizione [m]			Punto di proiezione [m]			Angolo di proiezione [°]	Orientamento	Palo
		X	Y	Z	X	Y	Z			
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	1	-63.750	-48.750	25.000	-32.000	-4.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo D
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	2	61.250	-48.750	25.000	29.500	-4.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo B
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	3	-63.750	48.750	25.000	-32.000	4.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo C
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	4	61.250	48.750	25.000	29.500	4.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo A
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	1	-63.750	-48.750	25.000	-5.000	-8.000	0.000	19.3	(C 0, G IMax)	Palo D
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	2	61.250	-48.750	25.000	2.500	-8.000	0.000	19.3	(C 0, G IMax)	Palo B
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	3	-63.750	48.750	25.000	-5.000	8.000	0.000	19.3	(C 0, G IMax)	Palo C
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	4	61.250	48.750	25.000	2.500	8.000	0.000	19.3	(C 0, G IMax)	Palo A

Lanciando la simulazione in base alle coordinate sopra riportate, il riepilogo dei risultati illuminotecnici che si ottengono per la PA sono i seguenti:

Tabella 4.15. Riepilogo risultati della simulazione illuminotecnica dell'area principale del campo da calcio – 75 lux

TIPO ILLUMINAMENTO	Em [lux]	Emin [lux]	Emax [lux]	Emin/Em	Emin/Emax
orizzontale	76	60	107	0.79	0.56

Dalla tabella è possibile vedere che i valori dell'illuminamento medio E_m e dell'uniformità E_{min}/E_m ottenuti, soddisfano quelli che erano i requisiti illuminotecnici richiesti, specificati nel § 4.1.

Nelle seguenti figure è possibile visualizzare quelli che sono i risultati illuminotecnici della simulazione: nella figura 4.15 vengono riportati i valori di illuminamento orizzontale nei vari punti della griglia di calcolo che vengono poi trasformati in isolinee (fig. 4.16). Viene inoltre riportata, nella figura 4.17, la griglia di calcolo con i livelli di grigio riferiti sempre all'illuminamento orizzontale.

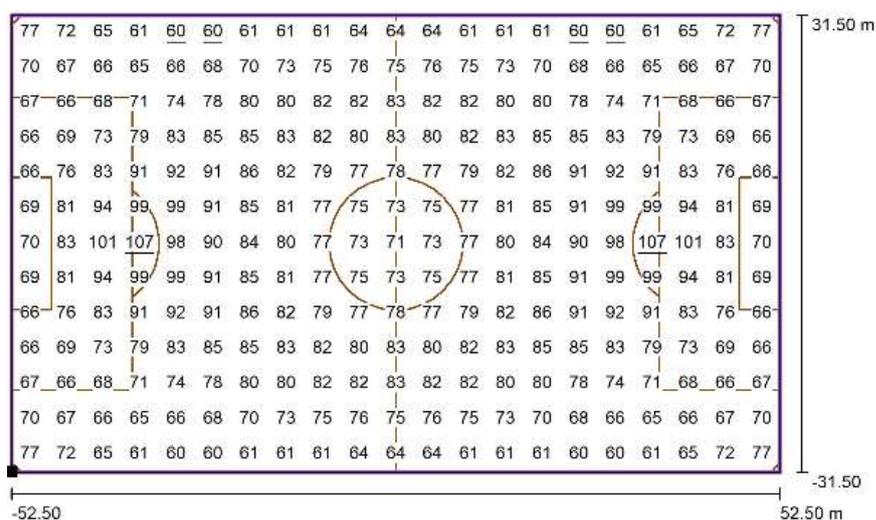


Figura 4.15. Grafica dei valori dell'illuminamento orizzontale nella griglia di calcolo

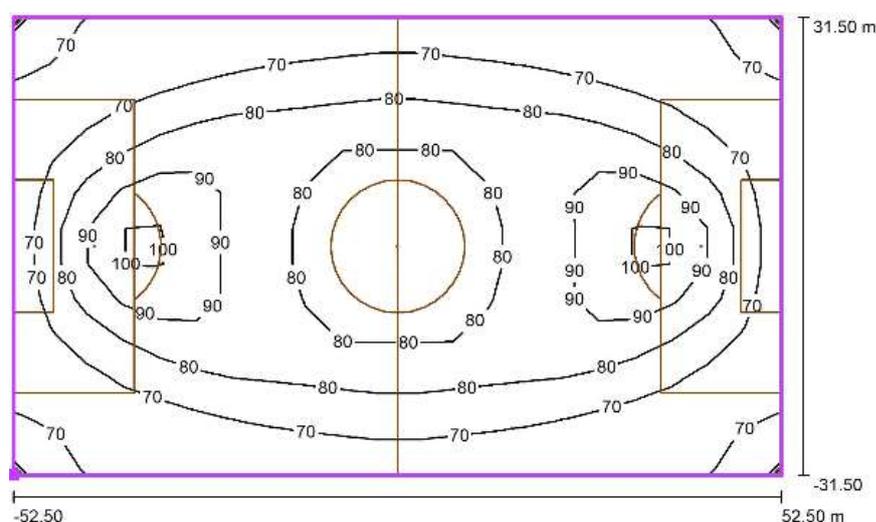


Figura 4.16. Isolinee dei valori di illuminamento orizzontale

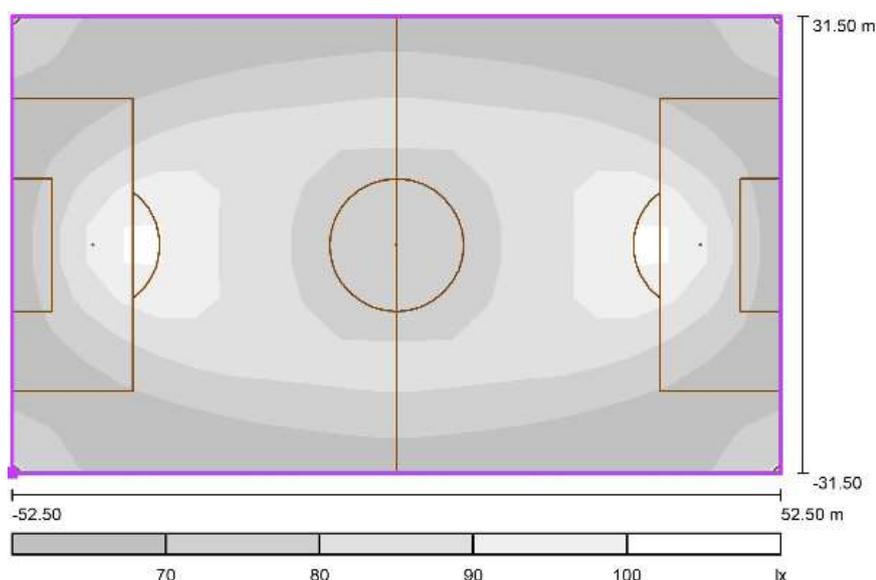


Figura 4.17. Livelli di grigio dei valori di illuminamento orizzontale

Per quanto riguarda la verifica del livello ammissibile dell'indice di abbagliamento *glare rating* GR, facendo riferimento ai 19 punti di calcolo visti prima, i risultati che si ottengono sono elencati nella seguente tabella:

Tabella 4.16. Valori massimi di GR nei diversi punti di calcolo

No.	Denominazione	Posizione [m]			Awio	Fine	Area angolo di mira [°]		Max
		X	Y	Z			Grandezza intervallo	Inclinazione	
1	Osservatore GR 1	-53.750	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	33 ²⁾
2	Osservatore GR 2	-53.750	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	44 ²⁾
3	Osservatore GR 3	-53.750	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	33 ²⁾
4	Osservatore GR 4	-1.250	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	46 ²⁾
5	Osservatore GR 5	-1.250	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	48 ²⁾
6	Osservatore GR 6	-1.250	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	48 ²⁾
7	Osservatore GR 7	51.250	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	44 ²⁾
8	Osservatore GR 8	51.250	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	33 ²⁾
9	Osservatore GR 9	51.250	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	33 ²⁾
10	Osservatore GR 10	-27.500	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	50 ²⁾
11	Osservatore GR 11	-27.500	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	43 ²⁾
12	Osservatore GR 12	-27.500	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	43 ²⁾
13	Osservatore GR 13	25.000	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	43 ²⁾
14	Osservatore GR 14	25.000	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	50 ²⁾
15	Osservatore GR 15	25.000	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	43 ²⁾
16	Osservatore GR 16	-27.500	-15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	50 ²⁾
17	Osservatore GR 17	-27.500	15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	50 ²⁾
18	Osservatore GR 18	25.000	15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	50 ²⁾
19	Osservatore GR 19	25.000	-15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	50 ²⁾

L'ultima colonna della tabella riporta i valori massimi dell'indice di GR (2): la luminanza di velo equivalente calcolata dell'ambiente si basa sul presupposto che le caratteristiche riflettenti dell'ambiente siano pienamente diffuse, come previsto dalla norma EN 12464-2): si nota che il valore massimo calcolato, presente in 6 punti, è pari a 50 ed è quindi inferiore al valore massimo ammissibile per questa simulazione che, si ricorda, è fissato a 55.

L'analisi della simulazione illuminotecnica in questione si chiude con la valutazione dell'illuminamento medio E_m della TA che dovrà essere pari ad un minimo di un 75% di quello della PA e quindi superiore a 56,25 lux.

In riferimento alla TA, i risultati illuminotecnici che si ottengono sono i seguenti:

Tabella 4.17. Riepilogo risultati della simulazione illuminotecnica dell'area totale del campo da calcio – 75 lux

TIPO ILLUMINAMENTO	E_m [lux]	E_{min} [lux]	E_{max} [lux]	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
orizzontale	73	45	106	0.62	0.43

L'illuminamento E_m è abbondantemente superiore al valore minimo di 56,25 lux.

Essendo stati utilizzati 8 proiettori *Champion* da 2000 W, la potenza attiva totale impiegata risulta pari a 16 kW che è inferiore ai 25 kW massimi previsti dalle linee guida della LND per ottenere un illuminamento medio di 75 lux.

4.4.3 Illuminazione campo da calcio – illuminamento medio 100 lux

Per ottenere il valore di illuminamento desiderato sono stati utilizzati 12 proiettori *Champion*, 3 per ognuna delle 4 torri faro. Le coordinate dei proiettori e dei punti di proiezione di quest'ultimi, necessari per ottenere i parametri illuminotecnici richiesti, sono individuabili sulla figura e sulla tabella che seguono.

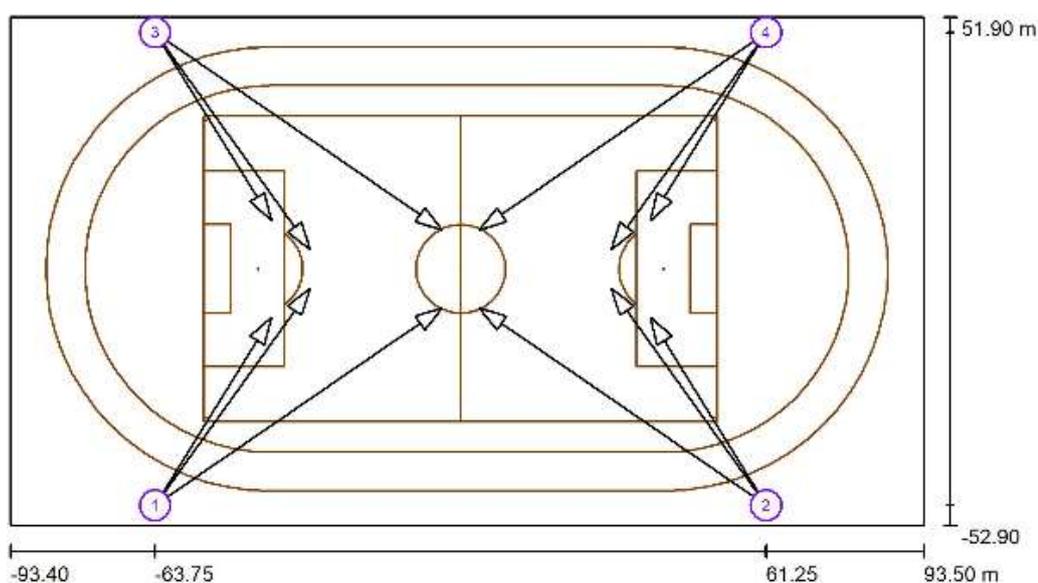


Figura 4.18. Puntamenti dei 12 proiettori all'interno del campo da calcio

Tabella 4.18. Lista coordinate dei proiettori e dei loro punti di proiezione

Lampada	Indice	Posizione [m]			Punto di proiezione [m]			Angolo di proiezione [°]	Orientamento	Palo
		X	Y	Z	X	Y	Z			
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	1	-63.750	-48.750	25.000	-32.000	-4.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo D
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	2	61.250	-48.750	25.000	29.500	-4.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo B
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	3	-63.750	48.750	25.000	-32.000	4.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo C
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	4	61.250	48.750	25.000	29.500	4.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo A
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	1	-63.750	-48.750	25.000	-40.000	-10.000	0.000	28.8	(C 0, G IMax)	Palo D
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	2	61.250	-48.750	25.000	37.500	-10.000	0.000	28.8	(C 0, G IMax)	Palo B
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	3	-63.750	48.750	25.000	-40.000	10.000	0.000	28.8	(C 0, G IMax)	Palo C
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	4	61.250	48.750	25.000	37.500	10.000	0.000	28.8	(C 0, G IMax)	Palo A
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	1	-63.750	-48.750	25.000	-5.000	-8.000	0.000	19.3	(C 0, G IMax)	Palo D
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	2	61.250	-48.750	25.000	2.500	-8.000	0.000	19.3	(C 0, G IMax)	Palo B
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	3	-63.750	48.750	25.000	-5.000	8.000	0.000	19.3	(C 0, G IMax)	Palo C
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	4	61.250	48.750	25.000	2.500	8.000	0.000	19.3	(C 0, G IMax)	Palo A

Prima di proseguire con l'analisi dei risultati della simulazione vale la pena sottolineare, come del resto è possibile notare nella tabella 4.18, che i punti di proiezione degli 8 proiettori già presenti nella simulazione precedente non sono stati modificati.

Lanciando la simulazione in base alle coordinate sopra riportate, il riepilogo dei risultati illuminotecnici che si ottengono per la PA sono i seguenti:

Tabella 4.19. Riepilogo risultati della simulazione illuminotecnica dell'area principale del campo da calcio – 100 lux

TIPO ILLUMINAMENTO	Em [lux]	Emin [lux]	Emax [lux]	Emin/Em	Emin/Emax
orizzontale	111	74	154	0.67	0.48

Dalla tabella è possibile vedere che i valori dell'illuminamento medio E_m e dell'uniformità E_{min}/E_m ottenuti, soddisfano quelli che erano i requisiti illuminotecnici richiesti (§ 4.1).

A seguire si riportano alcune figure dove è possibile visualizzare quelli che sono i risultati illuminotecnici della simulazione.

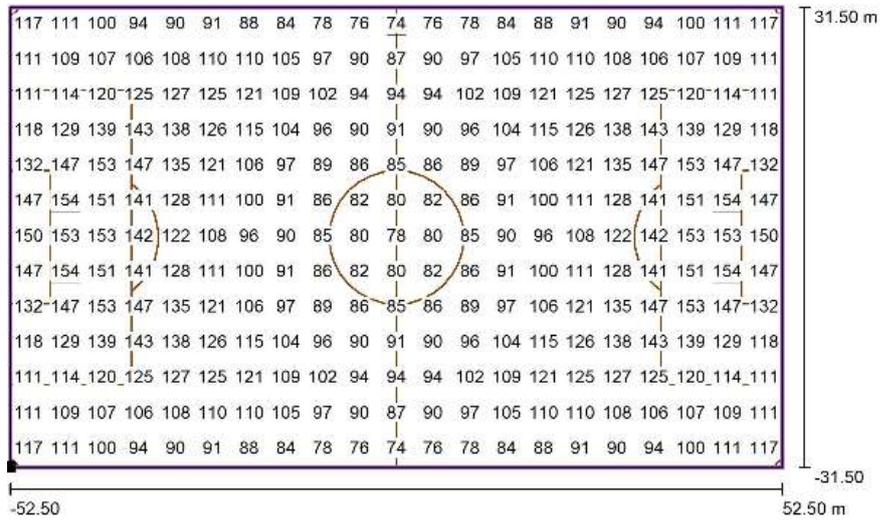


Figura 4.19. Grafica dei valori dell'illuminamento orizzontale nella griglia di calcolo

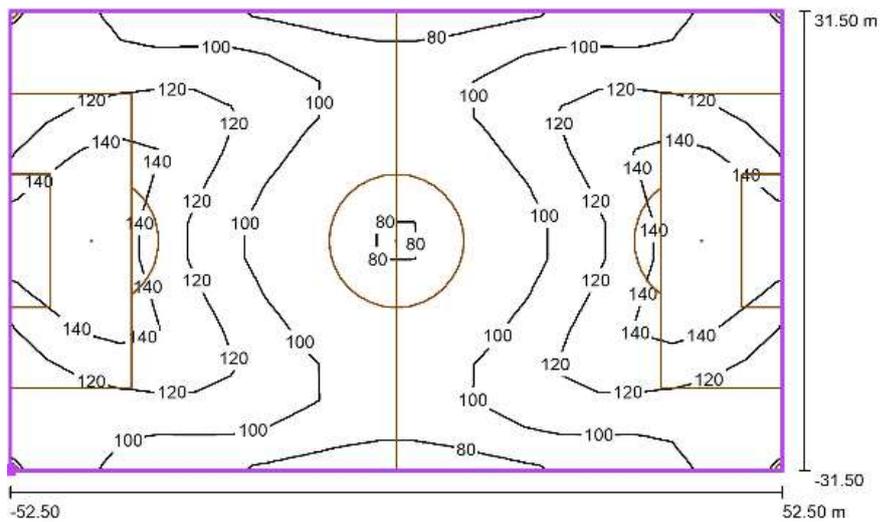


Figura 4.20. Isolinee dei valori di illuminamento orizzontale

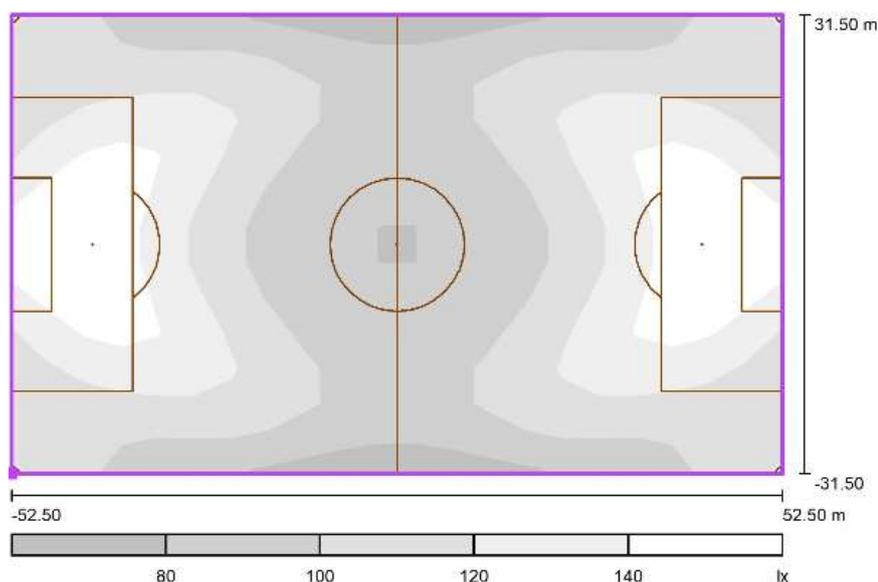


Figura 4.21. Livelli di grigio dei valori di illuminazione orizzontale

Per quanto riguarda la verifica del livello ammissibile dell'indice di abbagliamento *glare rating* GR, i risultati che si ottengono sono elencati nella seguente tabella:

Tabella 4.20. Valori massimi di GR nei diversi punti di calcolo

No.	Denominazione	Posizione [m]			Awio	Fine	Area angolo di mira [°]		Inclinazione	Max
		X	Y	Z			Grandezza	intervallo		
1	Osservatore GR 1	-53.750	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	32 ²⁾	
2	Osservatore GR 2	-53.750	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	48 ²⁾	
3	Osservatore GR 3	-53.750	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	32 ²⁾	
4	Osservatore GR 4	-1.250	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	43 ²⁾	
5	Osservatore GR 5	-1.250	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	46 ²⁾	
6	Osservatore GR 6	-1.250	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	46 ²⁾	
7	Osservatore GR 7	51.250	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	48 ²⁾	
8	Osservatore GR 8	51.250	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	32 ²⁾	
9	Osservatore GR 9	51.250	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	32 ²⁾	
10	Osservatore GR 10	-27.500	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	47 ²⁾	
11	Osservatore GR 11	-27.500	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	42 ²⁾	
12	Osservatore GR 12	-27.500	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	42 ²⁾	
13	Osservatore GR 13	25.000	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	42 ²⁾	
14	Osservatore GR 14	25.000	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	47 ²⁾	
15	Osservatore GR 15	25.000	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	42 ²⁾	
16	Osservatore GR 16	-27.500	-15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	51 ²⁾	
17	Osservatore GR 17	-27.500	15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	51 ²⁾	
18	Osservatore GR 18	25.000	15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	51 ²⁾	
19	Osservatore GR 19	25.000	-15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	51 ²⁾	

Sempre con riferimento all'ultima colonna si nota che il valore massimo di GR calcolato, presente questa volta su 4 punti di calcolo, è pari a 51 ed è quindi inferiore al valore massimo ammissibile di 55.

L'illuminamento medio E_m della TA dovrà essere pari ad un minimo del 75% di quello della PA e quindi, in questo caso, superiore a 75 lux.

In riferimento alla TA, i risultati illuminotecnici che si ottengono sono i seguenti:

Tabella 4.21. Riepilogo risultati della simulazione illuminotecnica dell'area totale del campo da calcio – 100 lux

TIPO ILLUMINAMENTO	E_m [lux]	E_{min} [lux]	E_{max} [lux]	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
orizzontale	107	51	154	0.47	0.33

L'illuminamento E_m pari a 107 lux è abbondantemente superiore al valore minimo di 75 lux. I 12 proiettori *Champion* utilizzati per questa simulazione impiegano una potenza attiva totale di 24 kW che risulta, anche in questo caso, inferiore alla massima potenza prevista dalle linee guida per ottenere un E_m di 100 lux che è fissata ancora una volta pari a 25 kW.

4.4.4 Illuminazione campo da calcio – illuminamento medio 150 lux

Per ottenere il valore di illuminamento desiderato sono stati utilizzati 12 proiettori *Champion*, 4 per ognuna delle 4 torri faro. Le coordinate dei proiettori e dei punti di proiezione di quest'ultimi, necessari per ottenere i parametri illuminotecnici richiesti, sono individuabili sulla figura e sulla tabella che seguono. Anche qui si nota come i punti di proiezione dei 12 proiettori già presenti nelle simulazioni precedenti non sono stati modificati.

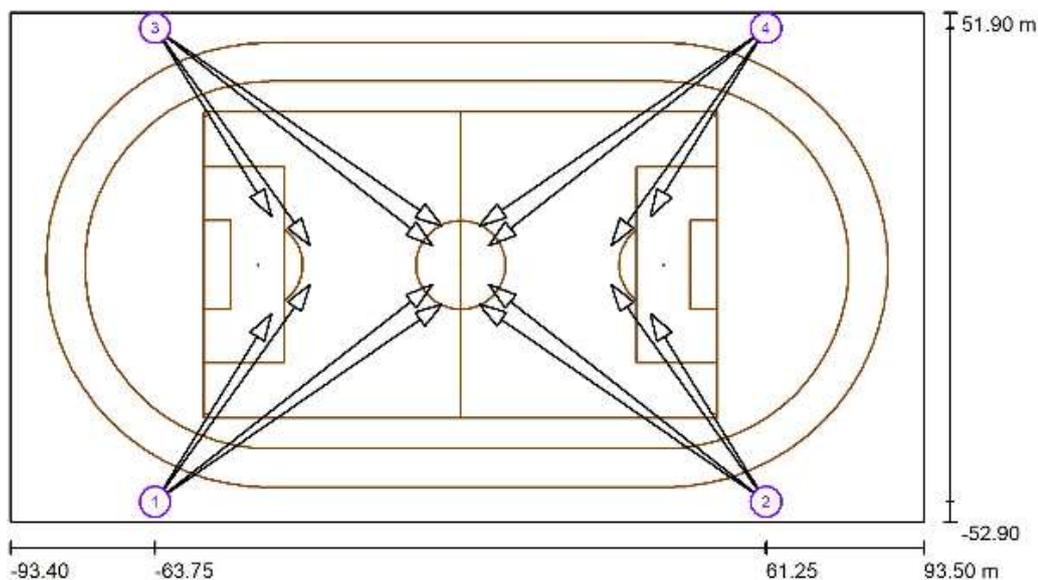


Figura 4.22. Puntamenti dei 16 proiettori all'interno del campo da calcio

Tabella 4.22. Lista coordinate dei proiettori e dei loro punti di proiezione

Lampada	Indice	Posizione [m]			Punto di proiezione [m]			Angolo di proiezione [°]	Orientamento	Palo
		X	Y	Z	X	Y	Z			
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	1	-63.750	-48.750	25.000	-7.000	-4.000	0.000	19.1	(C 0, G IMax)	Palo D
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	2	61.250	-48.750	25.000	4.500	-4.000	0.000	19.1	(C 0, G IMax)	Palo B
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	3	-63.750	48.750	25.000	-7.000	4.000	0.000	19.1	(C 0, G IMax)	Palo C
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	4	61.250	48.750	25.000	4.500	4.000	0.000	19.1	(C 0, G IMax)	Palo A
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	1	-63.750	-48.750	25.000	-32.000	-4.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo D
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	2	61.250	-48.750	25.000	29.500	-4.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo B
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	3	-63.750	48.750	25.000	-32.000	4.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo C
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	4	61.250	48.750	25.000	29.500	4.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo A
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	1	-63.750	-48.750	25.000	-40.000	-10.000	0.000	28.8	(C 0, G IMax)	Palo D
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	2	61.250	-48.750	25.000	37.500	-10.000	0.000	28.8	(C 0, G IMax)	Palo B
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	3	-63.750	48.750	25.000	-40.000	10.000	0.000	28.8	(C 0, G IMax)	Palo C
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	4	61.250	48.750	25.000	37.500	10.000	0.000	28.8	(C 0, G IMax)	Palo A
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	1	-63.750	-48.750	25.000	-5.000	-8.000	0.000	19.3	(C 0, G IMax)	Palo D
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	2	61.250	-48.750	25.000	2.500	-8.000	0.000	19.3	(C 0, G IMax)	Palo B
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	3	-63.750	48.750	25.000	-5.000	8.000	0.000	19.3	(C 0, G IMax)	Palo C
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	4	61.250	48.750	25.000	2.500	8.000	0.000	19.3	(C 0, G IMax)	Palo A

Il riepilogo dei risultati illuminotecnici ottenuti dalla simulazione e riferiti alla PA sono i seguenti:

Tabella 4.23. Riepilogo risultati della simulazione illuminotecnica dell'area principale del campo da calcio – 150 lux

TIPO ILLUMINAMENTO	Em [lux]	Emin [lux]	Emax [lux]	Emin/Em	Emin/Emax
orizzontale	150	114	182	0.76	0.63

Anche con questa simulazione, come è possibile verificare dalla tabella, i valori dell'illuminamento medio E_m e dell'uniformità E_{min}/E_m ottenuti, soddisfano quelli che erano i requisiti illuminotecnici richiesti.

Si riportano ancora una volta alcune figure dove è possibile visualizzare quelli che sono i risultati illuminotecnici della simulazione.

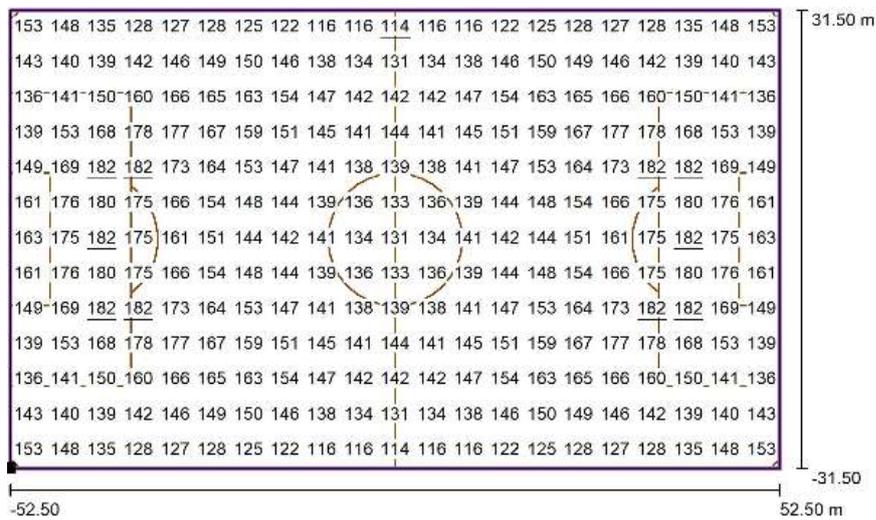


Figura 4.23. Grafica dei valori dell'illuminamento orizzontale nella griglia di calcolo

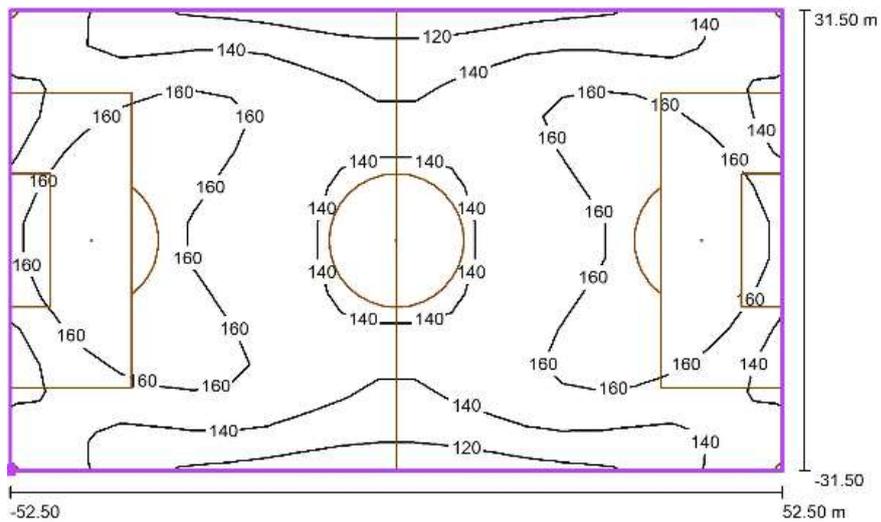


Figura 4.24. Isolinee dei valori di illuminamento orizzontale

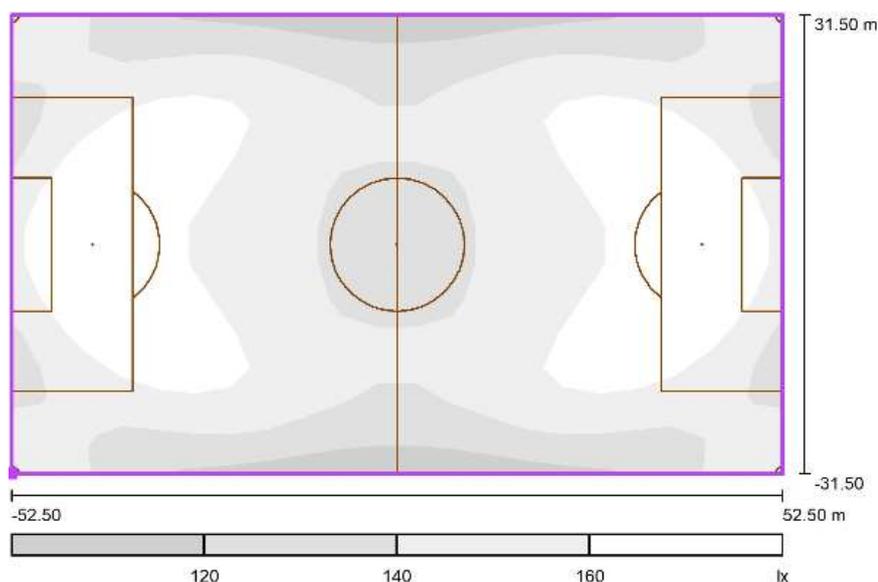


Figura 4.25. Livelli di grigio dei valori di illuminamento orizzontale

Nella seguente tabella è possibile verificare il livello ammissibile dell'indice di abbagliamento *glare rating* GR:

Tabella 4.24. Valori massimi di GR nei diversi punti di calcolo

No.	Denominazione	Posizione [m]			Awio	Fine	Area angolo di mira [°]		Inclinazione	Max
		X	Y	Z			Grandezza	intervallo		
1	Osservatore GR 1	-53.750	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	32 ²⁾	
2	Osservatore GR 2	-53.750	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	46 ²⁾	
3	Osservatore GR 3	-53.750	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	32 ²⁾	
4	Osservatore GR 4	-1.250	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	46 ²⁾	
5	Osservatore GR 5	-1.250	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	48 ²⁾	
6	Osservatore GR 6	-1.250	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	48 ²⁾	
7	Osservatore GR 7	51.250	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	46 ²⁾	
8	Osservatore GR 8	51.250	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	32 ²⁾	
9	Osservatore GR 9	51.250	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	32 ²⁾	
10	Osservatore GR 10	-27.500	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	49 ²⁾	
11	Osservatore GR 11	-27.500	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	43 ²⁾	
12	Osservatore GR 12	-27.500	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	43 ²⁾	
13	Osservatore GR 13	25.000	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	43 ²⁾	
14	Osservatore GR 14	25.000	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	49 ²⁾	
15	Osservatore GR 15	25.000	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	43 ²⁾	
16	Osservatore GR 16	-27.500	-15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	50 ²⁾	
17	Osservatore GR 17	-27.500	15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	50 ²⁾	
18	Osservatore GR 18	25.000	15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	50 ²⁾	
19	Osservatore GR 19	25.000	-15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	50 ²⁾	

Da un'analisi dell'ultima colonna si nota che il valore massimo di GR calcolato, presente anche questa volta su 4 punti di calcolo, è pari a 50. In questo caso il valore massimo ammissibile era proprio 50 e quindi anche per questa simulazione il valore GR non viene superato.

L'illuminamento medio E_m della TA dovrà essere pari ad un minimo del 75% di quello della PA e quindi, in questo caso, superiore a 112,5 lux.

In riferimento alla TA, i risultati illuminotecnici che si ottengono sono i seguenti:

Tabella 4.25. Riepilogo risultati della simulazione illuminotecnica dell'area totale del campo da calcio – 150 lux

TIPO ILLUMINAMENTO	E_m [lux]	E_{min} [lux]	E_{max} [lux]	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
orizzontale	144	85	186	0.59	0.45

L'illuminamento medio E_m dell'area totale risulta pari a 144 lux e quindi superiore al valore minimo ammissibile di 112,5 lux.

Per ottenere i 150 lux si sono utilizzati 16 proiettori *Champion*, per una potenza attiva totale pari a 32 kW che anche in questo caso risulta inferiore ai 40 kW massimi previsti dalle linee guida.

4.4.5 Illuminazione pista di atletica – illuminamento medio 50 lux

Facendo i dovuti calcoli illuminotecnici, per ottenere il valore di illuminamento desiderato sono stati utilizzati 8 proiettori *Champion*, 2 per ognuna delle 4 torri faro. Le coordinate dei proiettori e dei punti di proiezione di quest'ultimi, necessari per ottenere i parametri illuminotecnici richiesti, sono individuabili sulla figura e sulla tabella che seguono.

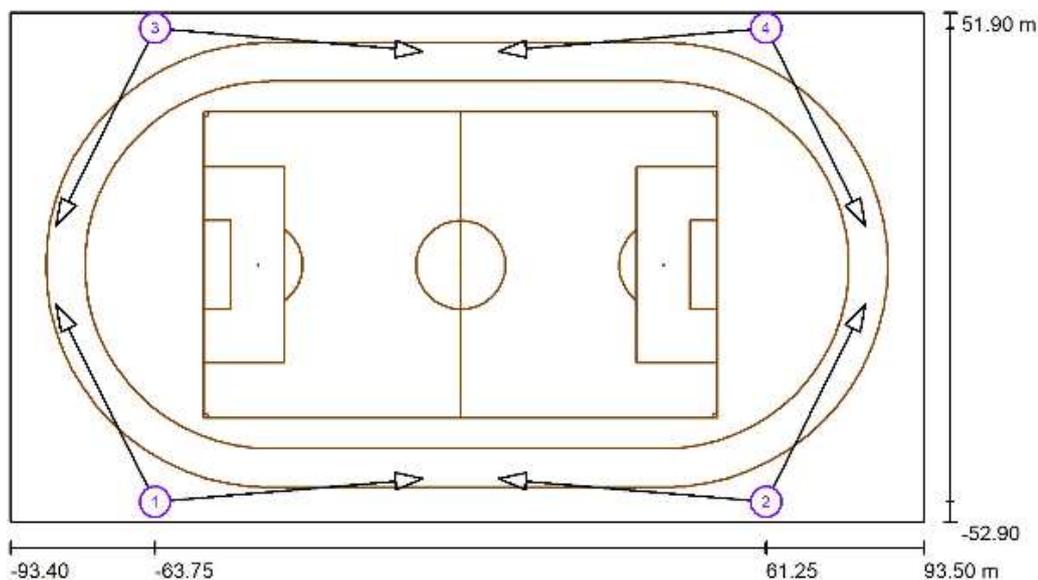


Figura 4.26. Puntamenti degli 8 proiettori all'interno della pista di atletica

Tabella 4.26. Lista coordinate dei proiettori e dei loro punti di proiezione

Lampada	Indice	Posizione [m]			Punto di proiezione [m]			Angolo di proiezione [°]	Orientamento	Palo
		X	Y	Z	X	Y	Z			
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	1	-63.750	-48.750	25.000	-9.000	-44.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo D
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	2	61.250	-48.750	25.000	6.500	-44.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo B
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	3	-63.750	48.750	25.000	-9.000	44.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo C
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	4	61.250	48.750	25.000	6.500	44.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo A
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	1	-63.750	-48.750	25.000	-84.000	-8.000	0.000	28.8	(C 0, G IMax)	Palo D
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	2	61.250	-48.750	25.000	81.500	-8.000	0.000	28.8	(C 0, G IMax)	Palo B
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	3	-63.750	48.750	25.000	-84.000	8.000	0.000	28.8	(C 0, G IMax)	Palo C
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	4	61.250	48.750	25.000	81.500	8.000	0.000	28.8	(C 0, G IMax)	Palo A

Lanciando la simulazione in base alle coordinate sopra riportate, il riepilogo dei risultati illuminotecnici che si ottengono per la PA sono i seguenti:

Tabella 4.27. Riepilogo risultati della simulazione illuminotecnica dell'area principale della pista di atletica – 50 lux

TIPO ILLUMINAMENTO	Em [lux]	Emin [lux]	Emax [lux]	Emin/Em	Emin/Emax
orizzontale	50	30	87	0.60	0.35

Dalla tabella è possibile vedere che i valori dell'illuminamento medio E_m e dell'uniformità E_{min}/E_m ottenuti, soddisfano quelli che erano i requisiti illuminotecnici richiesti (§ 4.1).

Nella figura che segue vengono riportati i 21 punti della griglia nel senso di marcia; viene inoltre riportata la tabella nella quale è possibile visualizzare i valori di illuminamento nei vari punti della griglia, ricordando che, per ognuno dei 21 punti appena citati, ne sono presenti 3 trasversali al senso di marcia.

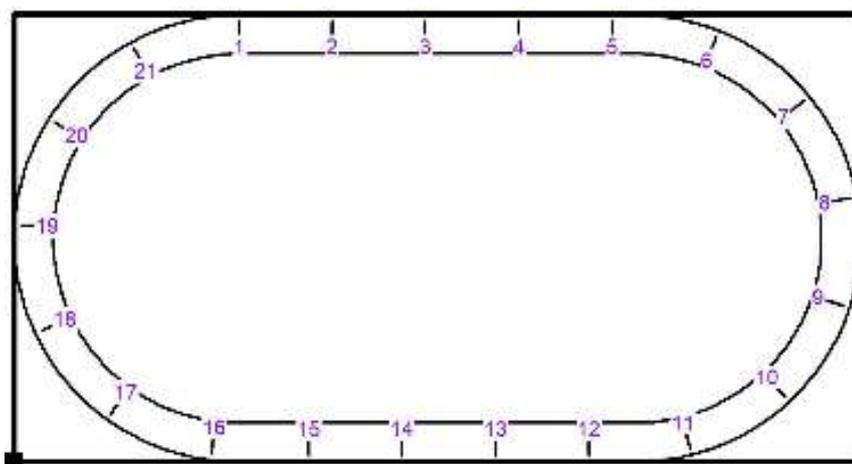


Figura 4.27. Posizione dei 21 punti della griglia di calcolo nel senso di marcia

Tabella 4.28. Tabella radiale degli illuminamenti orizzontali

III	39	37	43	40	35	87	42	68	64	55	70	32	47	47	33	49	56	48	58	43	76
II	37	37	42	40	34	75	42	73	66	51	71	32	46	46	33	49	56	49	66	43	75
I	36	36	41	39	32	69	43	75	67	48	64	30	45	44	31	51	59	49	74	44	68
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

Dalla tabella radiale degli illuminamenti si può verificare come il minimo illuminamento orizzontale sia pari a 30 lux, mentre quello massimo corrisponde ad 87 lux.

Per quanto riguarda la verifica del livello ammissibile dell'indice di abbagliamento *glare rating* GR, facendo riferimento questa volta ai 20 punti di calcolo precedentemente specificati, i risultati che si ottengono sono elencati nella seguente tabella:

Tabella 4.29. Valori massimi di GR nei diversi punti di calcolo

No.	Denominazione	Posizione [m]			Avvio	Fine	Area angolo di mira [°]		Inclinazione	Max
		X	Y	Z			Grandezza	intervallo		
1	Osservatore GR 1	-86.125	0.000	1.500	0.0	360.0		15.0	-2.0	35 ²⁾
2	Osservatore GR 2	-78.150	0.000	1.500	0.0	360.0		15.0	-2.0	39 ²⁾
3	Osservatore GR 3	86.125	0.000	1.500	0.0	360.0		15.0	-2.0	34 ²⁾
4	Osservatore GR 4	78.150	0.000	1.500	0.0	360.0		15.0	-2.0	38 ²⁾
5	Osservatore GR 5	0.000	-45.775	1.500	0.0	360.0		15.0	-2.0	40 ²⁾
6	Osservatore GR 6	0.000	-37.800	1.500	0.0	360.0		15.0	-2.0	39 ²⁾
7	Osservatore GR 7	0.000	45.775	1.500	0.0	360.0		15.0	-2.0	40 ²⁾
8	Osservatore GR 8	0.000	37.800	1.500	0.0	360.0		15.0	-2.0	39 ²⁾
9	Osservatore GR 9	43.063	41.788	1.500	0.0	360.0		15.0	-2.0	21 ²⁾
10	Osservatore GR 10	-43.062	41.788	1.500	0.0	360.0		15.0	-2.0	22 ²⁾
11	Osservatore GR 11	-43.062	-41.787	1.500	0.0	360.0		15.0	-2.0	22 ²⁾
12	Osservatore GR 12	43.063	-41.787	1.500	0.0	360.0		15.0	-2.0	21 ²⁾
13	Osservatore GR 13	64.594	33.900	1.500	0.0	360.0		15.0	-2.0	18 ²⁾
14	Osservatore GR 14	64.594	-33.900	1.500	0.0	360.0		15.0	-2.0	18 ²⁾
15	Osservatore GR 15	-21.531	41.788	1.500	0.0	360.0		15.0	-2.0	38 ²⁾
16	Osservatore GR 16	-21.531	-41.787	1.500	0.0	360.0		15.0	-2.0	38 ²⁾
17	Osservatore GR 17	21.531	41.788	1.500	0.0	360.0		15.0	-2.0	36 ²⁾
18	Osservatore GR 18	21.531	-41.787	1.500	0.0	360.0		15.0	-2.0	36 ²⁾
19	Osservatore GR 19	-69.900	29.500	1.500	0.0	360.0		15.0	-2.0	21 ²⁾
20	Osservatore GR 20	-69.900	-29.500	1.500	0.0	360.0		15.0	-2.0	21 ²⁾

L'ultima colonna della tabella riporta i valori massimi dell'indice di GR (2): la luminanza di velo equivalente calcolata dell'ambiente si basa sul presupposto che le caratteristiche riflettenti dell'ambiente siano pienamente diffuse, come previsto dalla norma EN 12464-2): si nota che il valore massimo calcolato, presente in 2 punti, è pari a 40 ed è quindi abbondantemente inferiore al valore massimo ammissibile per questa simulazione che, si ricorda, è fissato a 55.

4.4.6 Illuminazione pista di atletica – illuminamento medio 75 lux

Per ottenere il valore di illuminamento desiderato sono stati utilizzati 12 proiettori *Champion*, 3 per ognuna delle 4 torri faro. Le coordinate dei proiettori e dei punti di proiezione di quest'ultimi, necessari per ottenere i parametri illuminotecnici richiesti, sono individuabili sulla figura e sulla tabella che seguono.

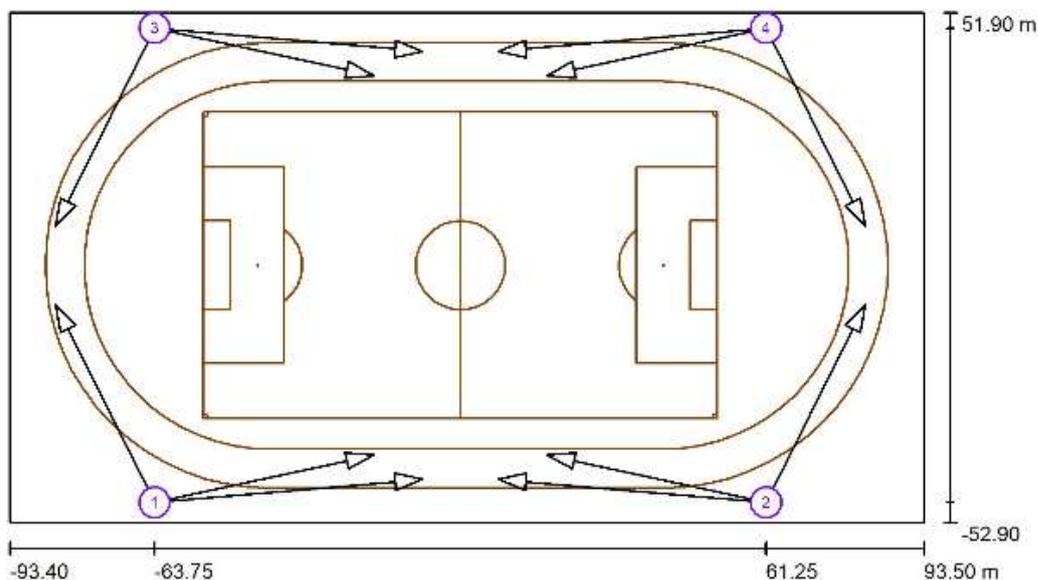


Figura 4.28. Puntamenti dei 12 proiettori all'interno della pista di atletica

Tabella 4.30. Lista coordinate dei proiettori e dei loro punti di proiezione

Lampada	Indice	Posizione [m]			Punto di proiezione [m]			Angolo di proiezione [°]	Orientamento	Palo
		X	Y	Z	X	Y	Z			
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	1	-63.750	-48.750	25.000	-9.000	-44.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo D
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	2	61.250	-48.750	25.000	6.500	-44.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo B
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	3	-63.750	48.750	25.000	-9.000	44.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo C
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	4	61.250	48.750	25.000	6.500	44.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo A
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	1	-63.750	-48.750	25.000	-84.000	-8.000	0.000	28.8	(C 0, G IMax)	Palo D
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	2	61.250	-48.750	25.000	81.500	-8.000	0.000	28.8	(C 0, G IMax)	Palo B
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	3	-63.750	48.750	25.000	-84.000	8.000	0.000	28.8	(C 0, G IMax)	Palo C
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	4	61.250	48.750	25.000	81.500	8.000	0.000	28.8	(C 0, G IMax)	Palo A
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	1	-63.750	-48.750	25.000	-19.000	-39.000	0.000	28.6	(C 0, G IMax)	Palo D
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	2	61.250	-48.750	25.000	16.500	-39.000	0.000	28.6	(C 0, G IMax)	Palo B
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	3	-63.750	48.750	25.000	-19.000	39.000	0.000	28.6	(C 0, G IMax)	Palo C
Thorn 96261235 CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI [V2]	4	61.250	48.750	25.000	16.500	39.000	0.000	28.6	(C 0, G IMax)	Palo A

Prima di proseguire con l'analisi dei risultati della simulazione vale ancora una volta la pena sottolineare, come del resto è possibile notare nella tabella 4.30, che i punti di proiezione degli 8 proiettori già presenti nella simulazione precedente sono rimasti gli stessi.

Lanciando la simulazione in base alle coordinate sopra riportate, il riepilogo dei risultati illuminotecnici che si ottengono per la PA sono i seguenti:

Tabella 4.31. Riepilogo risultati della simulazione illuminotecnica dell'area principale della pista di atletica – 75 lux

TIPO ILLUMINAMENTO	Em [lux]	Emin [lux]	E _{max} [lux]	Emin/Em	Emin/E _{max}
orizzontale	77	44	131	0.57	0.34

Dalla tabella è possibile vedere che i valori dell'illuminamento medio E_m e dell'uniformità E_{min}/E_m ottenuti, soddisfano ancora una volta quelli che erano i requisiti illuminotecnici richiesti (§ 4.1).

Prendendo anche in questo caso come riferimento la figura 4.27 vista nel § 4.4.5, è possibile valutare la tabella radiale degli illuminamenti orizzontali.

Tabella 4.32. Tabella radiale degli illuminamenti orizzontali

III	77	97	59	101	73	131	45	68	65	60	117	72	92	69	83	100	75	49	58	44	114
II	75	99	57	102	72	115	45	73	67	56	114	72	90	66	85	95	82	50	66	45	110
I	73	99	55	101	70	105	45	75	67	52	105	70	87	63	86	93	81	50	74	45	100
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

Ecco che da quest'ultima tabella è possibile verificare che l'illuminamento orizzontale minimo è pari a 44 lux, mentre quello massimo corrisponde a 131 lux.

Per quanto riguarda la verifica del livello ammissibile dell'indice di abbagliamento *glare rating* GR, i risultati che si ottengono sono elencati nella seguente tabella:

Tabella 4.33. Valori massimi di GR nei diversi punti di calcolo

No.	Denominazione	Posizione [m]			Area angolo di mira [°]		Grandezza intervallo	Inclinazione	Max
		X	Y	Z	Avvio	Fine			
1	Ossevatore GR 1	-86.125	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	36 ²⁾
2	Ossevatore GR 2	-78.150	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	41 ²⁾
3	Ossevatore GR 3	86.125	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	35 ²⁾
4	Ossevatore GR 4	78.150	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	40 ²⁾
5	Ossevatore GR 5	0.000	-45.775	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	44 ²⁾
6	Ossevatore GR 6	0.000	-37.800	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	43 ²⁾
7	Ossevatore GR 7	0.000	45.775	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	44 ²⁾
8	Ossevatore GR 8	0.000	37.800	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	43 ²⁾
9	Ossevatore GR 9	43.063	41.788	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	29 ²⁾
10	Ossevatore GR 10	-43.062	41.788	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	31 ²⁾
11	Ossevatore GR 11	-43.062	-41.787	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	31 ²⁾
12	Ossevatore GR 12	43.063	-41.787	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	29 ²⁾
13	Ossevatore GR 13	64.594	33.900	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	22 ²⁾
14	Ossevatore GR 14	64.594	-33.900	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	22 ²⁾
15	Ossevatore GR 15	-21.531	41.788	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	50 ²⁾
16	Ossevatore GR 16	-21.531	-41.787	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	50 ²⁾
17	Ossevatore GR 17	21.531	41.788	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	48 ²⁾
18	Ossevatore GR 18	21.531	-41.787	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	48 ²⁾
19	Ossevatore GR 19	-69.900	29.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	24 ²⁾
20	Ossevatore GR 20	-69.900	-29.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	24 ²⁾

Sempre con riferimento all'ultima colonna si nota che il valore massimo di GR, presente questa volta sempre su 2 punti di calcolo, è pari a 50 ed è quindi inferiore al valore massimo ammissibile di 55.

4.4.7 Considerazioni sulla simulazione illuminotecnica con lampade a ioduri metallici

Nei sottoparagrafi precedenti non si è mai fatto riferimento all'inclinazione verso terra, espressa in gradi (°), dei proiettori *Champion* utilizzati e delle loro lampade. Il motivo è legato a quanto già ampiamente descritto nel § 4.4.1 e più precisamente proprio al concetto ottico del proiettore che, si ricorda, è costruito intorno a un vetro inclinato all'interno del corpo del proiettore stesso.

In tutte e cinque le simulazioni appena presentate, il valore di ULR (*Upward Light Ratio*) fornito dal codice di calcolo per la specifica installazione è pari allo 0,0%. Il valore ULR è indicativo della percentuale di flusso luminoso emesso verso l'alto e quindi, il fatto che sia sempre pari allo 0,0% sottolinea come il modello di proiettore CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI della Thorn, scelto in questa variante, rispetti in pieno la legge regionale n. 17.

4.5 Variante di progetto di illuminazione con lampade a tecnologia LED

La seconda variante illuminotecnica prevede di voler garantire i livelli di illuminamento, l'uniformità e il limite massimo di abbagliamento GR, già prefissati nel § 4.1, con l'utilizzo di una tecnologia che negli ultimi anni ha avuto una grande espansione, cioè con l'utilizzo di proiettori che montano lampade a tecnologia LED.

4.5.1 Scelta del proiettore e della lampada

Per questa seconda alternativa si sono scelti i proiettori *Titan EVO – 4S* della AMSTRA. Questo proiettore rispetta tutte le caratteristiche richieste dalle linee guida della LND, tanto che è stato addirittura approvato dalla LND stessa e dalla F.I.G.C..

Tra i vari modelli facenti parte della famiglia di proiettori *Titan EVO - 4S*, la scelta è ricaduta sul modello TITAN EVO – 4S 800W. La sorgente luminosa è costituita da 168 LED marca Cree serie XPG-3 ad alta efficienza, suddivisi in 4 moduli da 42 LED ciascuno. Il proiettore è in classe d'isolamento I, caratterizzato da un grado di protezione IP65, IK 08. Il dissipatore,

con alette fino a 8,5 cm d'altezza e la cornice sono in alluminio estruso, anodizzato a 20 μm e resistente alle nebbie saline, colore argento (RAL 7001).



Figura 4.29. Proiettore TITAN EVO – 4S 800W

Si tratta di un proiettore che presenterebbe 4 differenti ottiche, 3 simmetriche (ottica a 20°, ottica a 60° e ottica a 120°) e un'ottica asimmetrica. Purtroppo il proiettore con ottica asimmetrica è ancora in fase di sviluppo e non è stato quindi possibile ottenere il file fotometrico. Per le simulazioni che seguono si è quindi optato per l'utilizzo dell'ottica simmetrica a 20° che, tra le 3 ottiche di questa tipologia, era quella che meglio si prestava per riuscire a soddisfare le richieste illuminotecniche di questo progetto. Nella figura che segue viene mostrata la curva fotometrica simmetrica a 20° del proiettore che permette di notare la ripartizione delle intensità luminose.

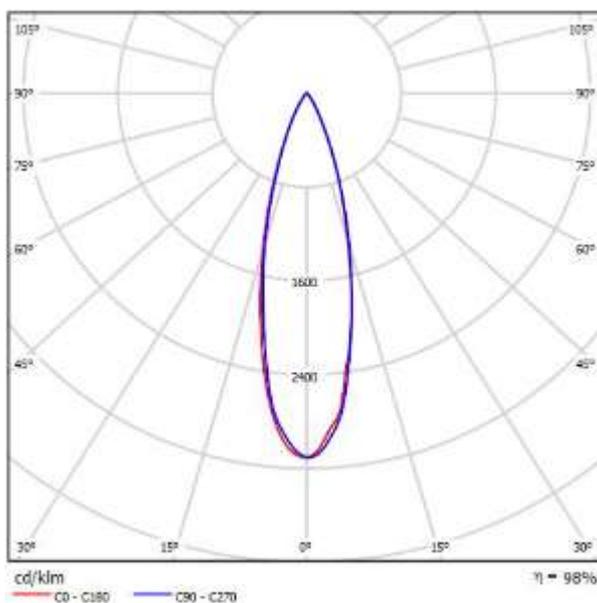


Figura 4.30. Curva fotometrica proiettore TITAN EVO – 4S 800W ottica simmetrica a 20°

La chiusura è in vetro piano temperato float superchiaro di spessore 5 mm.

L'apparecchio è caratterizzato da un flusso luminoso pari a **91000 lm** (a 25° C), un'efficienza luminosa di **110 lm/W** e un rendimento ottico η uguale a **0,875**.

Nella seguente tabella vengono riportati i dati fondamentali che caratterizzano la sorgente luminosa a LED:

Tabella 4.34. Dati fondamentali della sorgente luminosa costituita dai 168 LED Cree serie XPG-3

Potenza [W]	800
Vita media [h]	80000
Flusso luminoso [lm]	104000
Efficienza luminosa [lm/W]	130
Temperatura di colore [K]	5700
Indice minimo di resa cromatica (Ra)	$70 \geq Ra \leq 80$

4.5.2 Illuminazione campo da calcio – illuminamento medio 75 lux

Con l'utilizzo del software DIALux è stato possibile verificare che, per ottenere il valore di illuminamento desiderato, si rende necessario l'utilizzo di 12 proiettori *Titan EVO – 4S*, 3 per ognuna delle 4 torri faro. Le coordinate dei proiettori e dei punti di proiezione di quest'ultimi, necessari per ottenere i parametri illuminotecnici richiesti, sono individuabili sulla figura e sulla tabella che seguono.

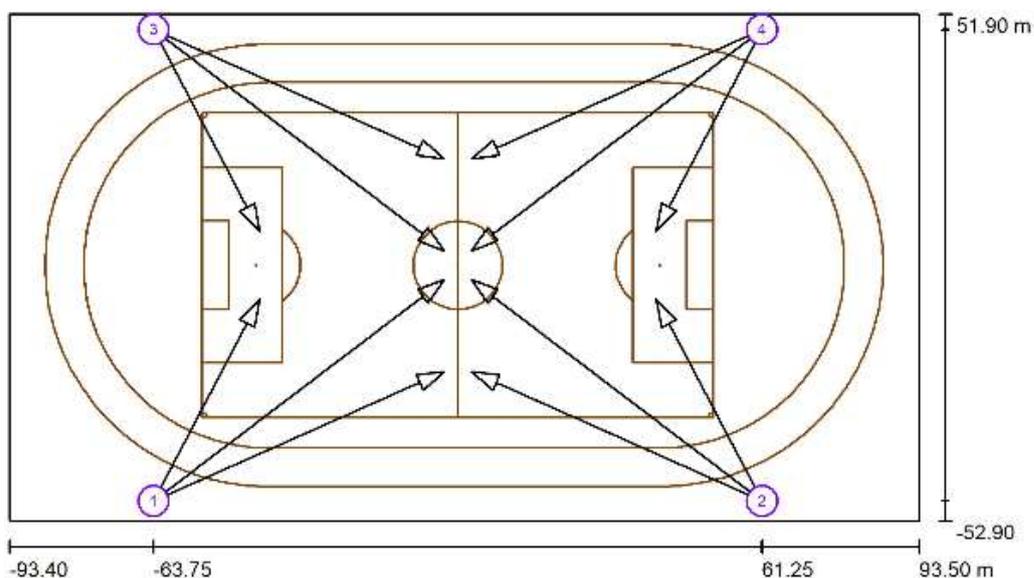


Figura 4.31. Puntamenti dei 12 proiettori all'interno del campo da calcio

Tabella 4.35. Lista coordinate dei proiettori e dei loro punti di proiezione

Lampada	Indice	Posizione [m]			Punto di proiezione [m]			Angolo di proiezione [°]	Orientamento	Palo
		X	Y	Z	X	Y	Z			
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	1	-63.750	-48.750	25.000	-4.000	-3.000	0.000	18.4	(C 0, G IMax)	Palo D
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	2	61.250	-48.750	25.000	1.500	-3.000	0.000	18.4	(C 0, G IMax)	Palo B
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	3	-63.750	48.750	25.000	-4.000	3.000	0.000	18.4	(C 0, G IMax)	Palo C
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	4	61.250	48.750	25.000	1.500	3.000	0.000	18.4	(C 0, G IMax)	Palo A
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	1	-63.750	-48.750	25.000	-42.000	-7.000	0.000	28.0	(C 0, G IMax)	Palo D
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	2	61.250	-48.750	25.000	39.500	-7.000	0.000	28.0	(C 0, G IMax)	Palo B
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	3	-63.750	48.750	25.000	-42.000	7.000	0.000	28.0	(C 0, G IMax)	Palo C
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	4	61.250	48.750	25.000	39.500	7.000	0.000	28.0	(C 0, G IMax)	Palo A
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	1	-63.750	-48.750	25.000	-4.000	-22.000	0.000	20.9	(C 0, G IMax)	Palo D
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	2	61.250	-48.750	25.000	1.500	-22.000	0.000	20.9	(C 0, G IMax)	Palo B
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	3	-63.750	48.750	25.000	-4.000	22.000	0.000	20.9	(C 0, G IMax)	Palo C
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	4	61.250	48.750	25.000	1.500	22.000	0.000	20.9	(C 0, G IMax)	Palo A

Lanciando la simulazione in base alle coordinate sopra riportate, il riepilogo dei risultati illuminotecnici che si ottengono per la PA sono i seguenti:

Tabella 4.36. Riepilogo risultati della simulazione illuminotecnica dell'area principale del campo da calcio – 75 lux

TIPO ILLUMINAMENTO	Em [lux]	Emin [lux]	Emax [lux]	Emin/Em	Emin/Emax
orizzontale	78	55	96	0.71	0.58

Dalla tabella è possibile vedere che i valori dell'illuminamento medio E_m e dell'uniformità E_{min}/E_m ottenuti, soddisfano quelli che erano i requisiti illuminotecnici richiesti, specificati nel § 4.1.

Nelle seguenti figure è possibile visualizzare quelli che sono i risultati illuminotecnici della simulazione.

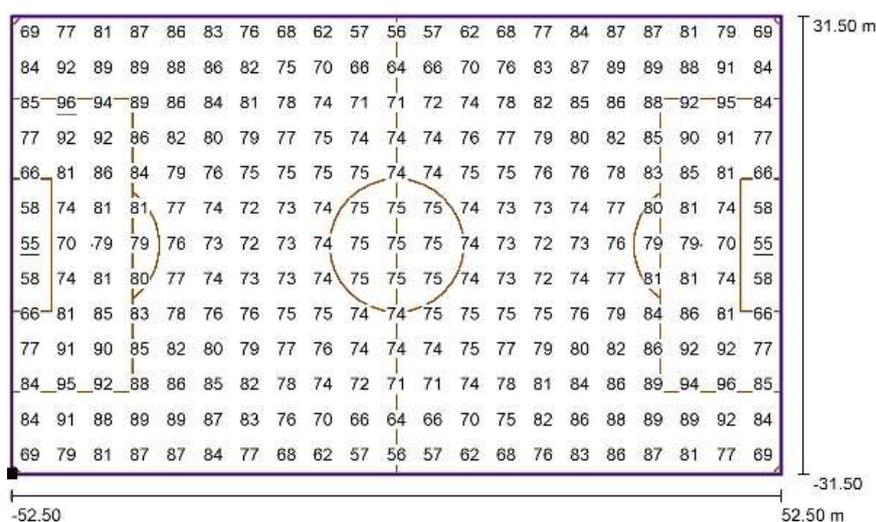


Figura 4.32. Grafica dei valori dell'illuminamento orizzontale nella griglia di calcolo

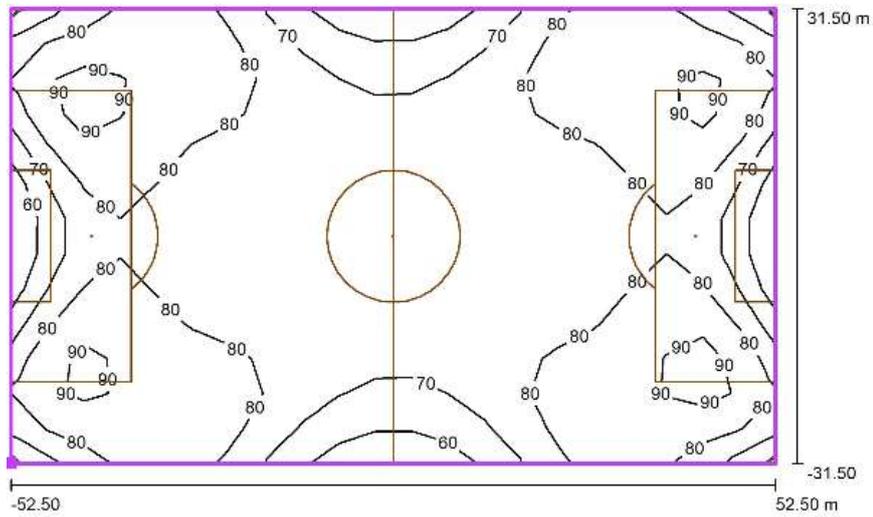


Figura 4.33. *Isolinee dei valori di illuminamento orizzontale*

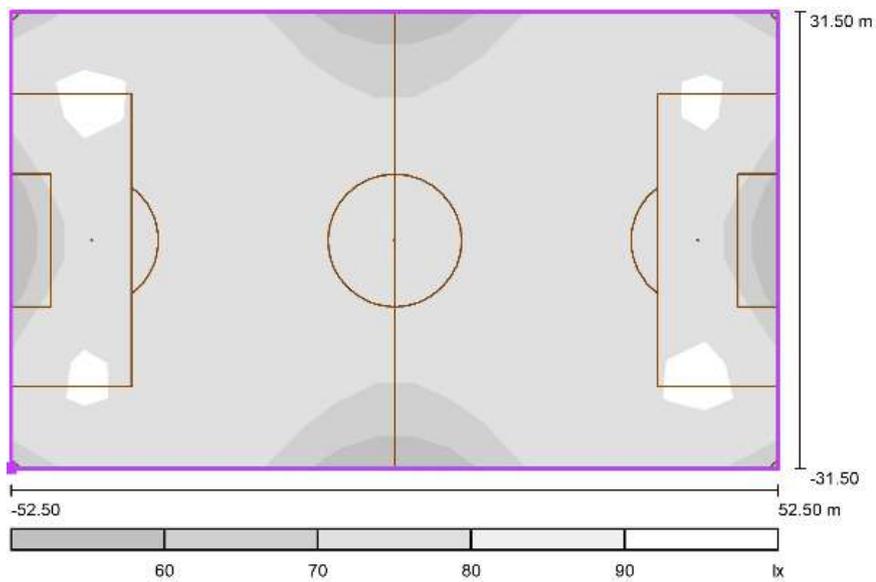


Figura 4.34. *Livelli di grigio dei valori di illuminamento orizzontale*

Per quanto riguarda la verifica del livello ammissibile dell'indice di abbagliamento *glare rating* GR, facendo riferimento ai soliti 19 punti di calcolo stabiliti per il campo da calcio, i risultati che si ottengono sono elencati nella seguente tabella:

Tabella 4.37. Valori massimi di GR nei diversi punti di calcolo

No.	Denominazione	Posizione [m]			Awio	Fine	Area angolo di mira [°]		Max
		X	Y	Z			Grandezza intervallo	Inclinazione	
1	Osservatore GR 1	-53.750	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	47 ²⁾
2	Osservatore GR 2	-53.750	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	45 ²⁾
3	Osservatore GR 3	-53.750	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	47 ²⁾
4	Osservatore GR 4	-1.250	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	51 ²⁾
5	Osservatore GR 5	-1.250	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	47 ²⁾
6	Osservatore GR 6	-1.250	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	47 ²⁾
7	Osservatore GR 7	51.250	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	45 ²⁾
8	Osservatore GR 8	51.250	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	47 ²⁾
9	Osservatore GR 9	51.250	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	47 ²⁾
10	Osservatore GR 10	-27.500	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	51 ²⁾
11	Osservatore GR 11	-27.500	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	48 ²⁾
12	Osservatore GR 12	-27.500	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	48 ²⁾
13	Osservatore GR 13	25.000	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	48 ²⁾
14	Osservatore GR 14	25.000	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	51 ²⁾
15	Osservatore GR 15	25.000	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	48 ²⁾
16	Osservatore GR 16	-27.500	-15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	50 ²⁾
17	Osservatore GR 17	-27.500	15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	51 ²⁾
18	Osservatore GR 18	25.000	15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	50 ²⁾
19	Osservatore GR 19	25.000	-15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	51 ²⁾

L'ultima colonna della tabella riporta i valori massimi dell'indice di GR (2): la luminanza di velo equivalente calcolata dell'ambiente si basa sul presupposto che le caratteristiche riflettenti dell'ambiente siano pienamente diffuse, come previsto dalla norma EN 12464-2): si nota che il valore massimo calcolato, presente in 5 punti, è pari a 51 ed è quindi inferiore al valore massimo ammissibile per questa simulazione che, si ricorda, è fissato a 55.

Si valuta infine l'illuminamento medio E_m della TA che dovrà essere pari ad un minimo di un 75% di quello della PA ($\geq 56,25$ lux).

In riferimento alla TA, i risultati illuminotecnici che si ottengono sono i seguenti:

Tabella 4.38. Riepilogo risultati della simulazione illuminotecnica dell'area totale del campo da calcio – 75 lux

TIPO ILLUMINAMENTO	E_m [lux]	E_{min} [lux]	E_{max} [lux]	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
orizzontale	73	34	97	0.47	0.35

L'illuminamento E_m è abbondantemente superiore al valore minimo di 56,25 lux.

Essendo stati utilizzati 12 proiettori *Titan EVO – 4S* da 800 W, la potenza attiva totale impiegata risulta pari a 9,6 kW che è inferiore ai 25 kW massimi previsti dalle linee guida della LND per ottenere un illuminamento medio di 75 lux.

4.5.3 Illuminazione campo da calcio – illuminamento medio 100 lux

Per ottenere il valore di illuminamento desiderato sono stati utilizzati 16 proiettori *Titan EVO* – 4S, 4 per ognuna delle 4 torri faro. I parametri illuminotecnici richiesti sono stati ottenuti seguendo le coordinate dei proiettori e i punti di proiezione di quest'ultimi, individuabili sulla figura e sulla tabella che seguono.

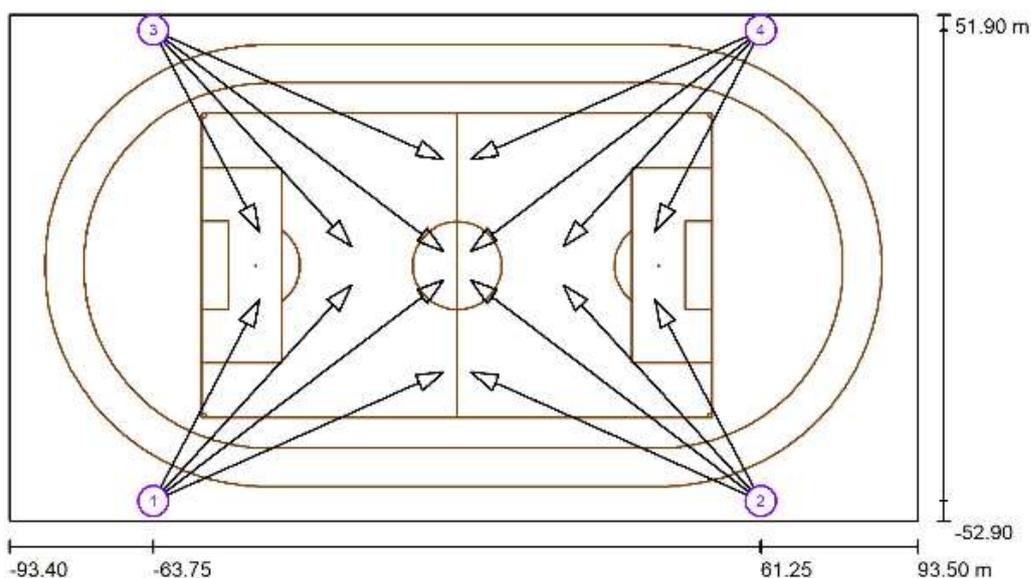


Figura 4.35. Puntamenti dei 16 proiettori all'interno del campo da calcio

Tabella 4.39. Lista coordinate dei proiettori e dei loro punti di proiezione

Lampada	Indice	Posizione [m]			Punto di proiezione [m]			Angolo di proiezione [°]	Orientamento	Palo
		X	Y	Z	X	Y	Z			
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	1	-63.750	-48.750	25.000	-4.000	-3.000	0.000	18.4	(C 0, G IMax)	Palo D
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	2	61.250	-48.750	25.000	1.500	-3.000	0.000	18.4	(C 0, G IMax)	Palo B
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	3	-63.750	48.750	25.000	-4.000	3.000	0.000	18.4	(C 0, G IMax)	Palo C
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	4	61.250	48.750	25.000	1.500	3.000	0.000	18.4	(C 0, G IMax)	Palo A
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	1	-63.750	-48.750	25.000	-42.000	-7.000	0.000	28.0	(C 0, G IMax)	Palo D
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	2	61.250	-48.750	25.000	39.500	-7.000	0.000	28.0	(C 0, G IMax)	Palo B
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	3	-63.750	48.750	25.000	-42.000	7.000	0.000	28.0	(C 0, G IMax)	Palo C
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	4	61.250	48.750	25.000	39.500	7.000	0.000	28.0	(C 0, G IMax)	Palo A
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	1	-63.750	-48.750	25.000	-4.000	-22.000	0.000	20.9	(C 0, G IMax)	Palo D
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	2	61.250	-48.750	25.000	1.500	-22.000	0.000	20.9	(C 0, G IMax)	Palo B
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	3	-63.750	48.750	25.000	-4.000	22.000	0.000	20.9	(C 0, G IMax)	Palo C
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	4	61.250	48.750	25.000	1.500	22.000	0.000	20.9	(C 0, G IMax)	Palo A
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	1	-63.750	-48.750	25.000	-23.000	-4.000	0.000	22.4	(C 0, G IMax)	Palo D
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	2	61.250	-48.750	25.000	20.500	-4.000	0.000	22.4	(C 0, G IMax)	Palo B
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	3	-63.750	48.750	25.000	-23.000	4.000	0.000	22.4	(C 0, G IMax)	Palo C
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	4	61.250	48.750	25.000	20.500	4.000	0.000	22.4	(C 0, G IMax)	Palo A

Si sottolinea ancora una volta, come è possibile notare nella tabella 4.39, che i punti di proiezione dei 12 proiettori già presenti nella simulazione precedente non sono stati modificati. Lanciando la simulazione, i risultati illuminotecnici che si ottengono per la PA sono i seguenti:

Tabella 4.40. Riepilogo risultati della simulazione illuminotecnica dell'area principale del campo da calcio – 100 lux

TIPO ILLUMINAMENTO	Em [lux]	Emin [lux]	Emax [lux]	Emin/Em	Emin/Emax
orizzontale	109	66	140	0.6	0.47

Anche in questo caso è possibile vedere che i valori dell'illuminamento medio E_m e dell'uniformità E_{min}/E_m ottenuti, soddisfano quelli che erano i requisiti illuminotecnici richiesti.

Nelle seguenti figure è possibile visualizzare quelli che sono i risultati illuminotecnici della simulazione.

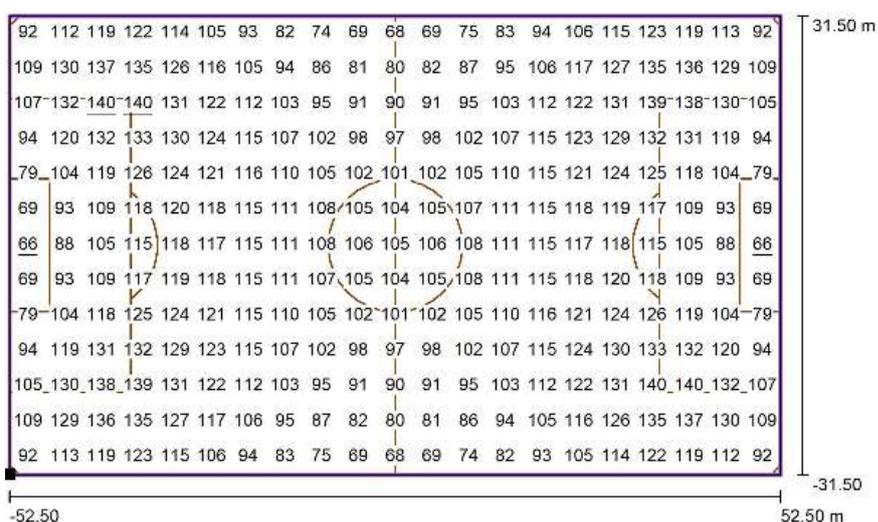


Figura 4.36. Grafica dei valori dell'illuminamento orizzontale nella griglia di calcolo

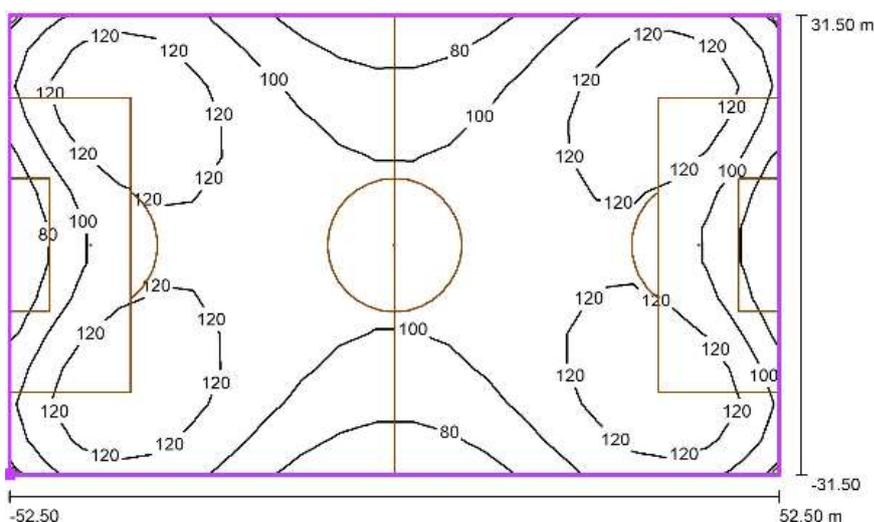


Figura 4.37. Isolinee dei valori di illuminamento orizzontale

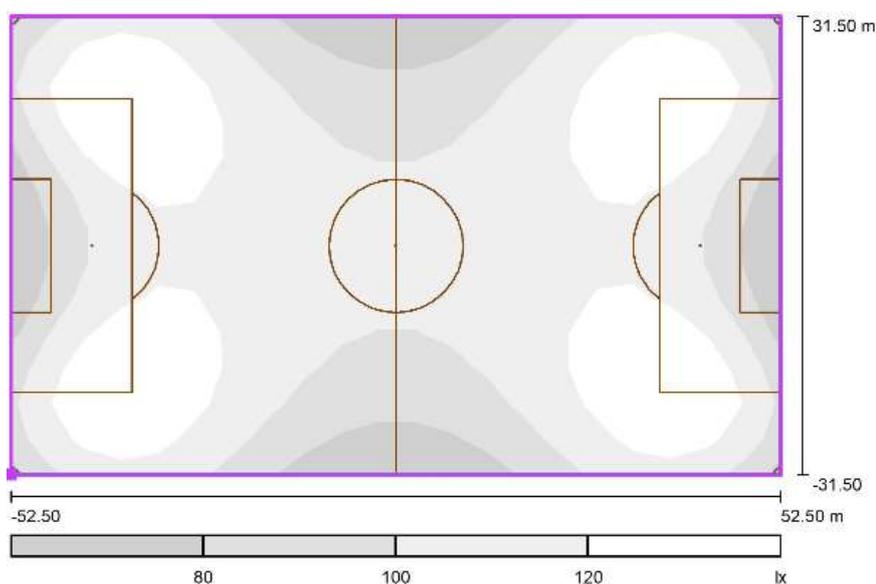


Figura 4.38. Livelli di grigio dei valori di illuminazione orizzontale

Per quanto riguarda la verifica del livello ammissibile dell'indice di abbagliamento *glare rating* GR, i risultati che si ottengono sono elencati nella seguente tabella:

Tabella 4.41. Valori massimi di GR nei diversi punti di calcolo

No.	Denominazione	Posizione [m]			Awio	Fine	Area angolo di mira [°]		Inclinazione	Max
		X	Y	Z			Grandezza intervallo			
1	Osservatore GR 1	-53.750	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	46 ²⁾	
2	Osservatore GR 2	-53.750	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	43 ²⁾	
3	Osservatore GR 3	-53.750	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	46 ²⁾	
4	Osservatore GR 4	-1.250	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	51 ²⁾	
5	Osservatore GR 5	-1.250	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	46 ²⁾	
6	Osservatore GR 6	-1.250	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	46 ²⁾	
7	Osservatore GR 7	51.250	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	43 ²⁾	
8	Osservatore GR 8	51.250	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	46 ²⁾	
9	Osservatore GR 9	51.250	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	46 ²⁾	
10	Osservatore GR 10	-27.500	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	51 ²⁾	
11	Osservatore GR 11	-27.500	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	49 ²⁾	
12	Osservatore GR 12	-27.500	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	49 ²⁾	
13	Osservatore GR 13	25.000	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	49 ²⁾	
14	Osservatore GR 14	25.000	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	51 ²⁾	
15	Osservatore GR 15	25.000	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	49 ²⁾	
16	Osservatore GR 16	-27.500	-15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	53 ²⁾	
17	Osservatore GR 17	-27.500	15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	53 ²⁾	
18	Osservatore GR 18	25.000	15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	53 ²⁾	
19	Osservatore GR 19	25.000	-15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	53 ²⁾	

Sempre con riferimento all'ultima colonna si nota che il valore massimo di GR calcolato, presente questa volta su 4 punti di calcolo, è pari a 53 ed è quindi inferiore al valore massimo ammissibile di 55.

L'illuminamento medio E_m della TA dovrà essere pari ad un minimo del 75% di quello della PA (≥ 75 lux).

In riferimento alla TA, i risultati illuminotecnici che si ottengono sono i seguenti:

Tabella 4.42. Riepilogo risultati della simulazione illuminotecnica dell'area totale del campo da calcio – 100 lux

TIPO ILLUMINAMENTO	E_m [lux]	E_{min} [lux]	E_{max} [lux]	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
orizzontale	100	44	141	0.44	0.31

L'illuminamento E_m pari a 100 lux è abbondantemente superiore al valore minimo di 75 lux. I 16 proiettori *Titan EVO – 4S* utilizzati per questa simulazione impiegano una potenza attiva totale di 12,8 kW che risulta, anche in questo caso, inferiore alla massima potenza prevista dalle linee guida per ottenere un E_m di 100 lux che è fissata ancora una volta pari a 25 kW.

4.5.4 Illuminazione campo da calcio – illuminamento medio 150 lux

Per ottenere il valore di illuminamento desiderato sono stati utilizzati 24 proiettori *Titan EVO – 4S*, 6 per ognuna delle 4 torri faro. Le coordinate dei proiettori e dei punti di proiezione di quest'ultimi, necessari per ottenere i parametri illuminotecnici richiesti, sono individuabili sulla figura e sulla tabella che seguono. Anche qui si nota come i punti di proiezione dei 16 proiettori già presenti nelle simulazioni precedenti non sono stati modificati.

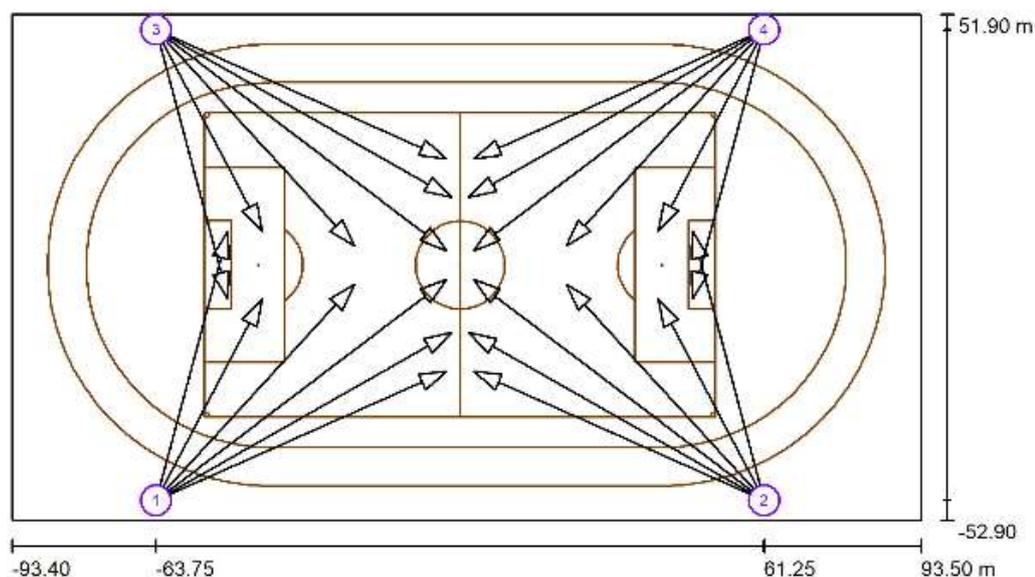


Figura 4.39. Puntamenti dei 24 proiettori all'interno del campo da calcio

Tabella 4.43. Lista coordinate dei proiettori e dei loro punti di proiezione

Lampada	Indice	Posizione [m]			Punto di proiezione [m]			Angolo di proiezione [°]	Orientamento	Palo
		X	Y	Z	X	Y	Z			
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	1	-63.750	-48.750	25.000	-4.000	-3.000	0.000	18.4	(C 0, G IMax)	Palo D
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	2	61.250	-48.750	25.000	1.500	-3.000	0.000	18.4	(C 0, G IMax)	Palo B
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	3	-63.750	48.750	25.000	-4.000	3.000	0.000	18.4	(C 0, G IMax)	Palo C
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	4	61.250	48.750	25.000	1.500	3.000	0.000	18.4	(C 0, G IMax)	Palo A
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	1	-63.750	-48.750	25.000	-42.000	-7.000	0.000	28.0	(C 0, G IMax)	Palo D
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	2	61.250	-48.750	25.000	39.500	-7.000	0.000	28.0	(C 0, G IMax)	Palo B
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	3	-63.750	48.750	25.000	-42.000	7.000	0.000	28.0	(C 0, G IMax)	Palo C
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	4	61.250	48.750	25.000	39.500	7.000	0.000	28.0	(C 0, G IMax)	Palo A
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	1	-63.750	-48.750	25.000	-4.000	-22.000	0.000	20.9	(C 0, G IMax)	Palo D
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	2	61.250	-48.750	25.000	1.500	-22.000	0.000	20.9	(C 0, G IMax)	Palo B
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	3	-63.750	48.750	25.000	-4.000	22.000	0.000	20.9	(C 0, G IMax)	Palo C
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	4	61.250	48.750	25.000	1.500	22.000	0.000	20.9	(C 0, G IMax)	Palo A
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	1	-63.750	-48.750	25.000	-23.000	-4.000	0.000	22.4	(C 0, G IMax)	Palo D
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	2	61.250	-48.750	25.000	20.500	-4.000	0.000	22.4	(C 0, G IMax)	Palo B
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	3	-63.750	48.750	25.000	-23.000	4.000	0.000	22.4	(C 0, G IMax)	Palo C
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	4	61.250	48.750	25.000	20.500	4.000	0.000	22.4	(C 0, G IMax)	Palo A
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	1	-63.750	-48.750	25.000	-49.000	7.000	0.000	23.4	(C 0, G IMax)	Palo D
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	2	61.250	-48.750	25.000	46.500	7.000	0.000	23.4	(C 0, G IMax)	Palo B
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	3	-63.750	48.750	25.000	-49.000	-7.000	0.000	23.4	(C 0, G IMax)	Palo C
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	4	61.250	48.750	25.000	46.500	-7.000	0.000	23.4	(C 0, G IMax)	Palo A
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	1	-63.750	-48.750	25.000	-3.000	-14.000	0.000	19.7	(C 0, G IMax)	Palo D
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	2	61.250	-48.750	25.000	0.500	-14.000	0.000	19.7	(C 0, G IMax)	Palo B
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	3	-63.750	48.750	25.000	-3.000	14.000	0.000	19.7	(C 0, G IMax)	Palo C
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	4	61.250	48.750	25.000	0.500	14.000	0.000	19.7	(C 0, G IMax)	Palo A

Il riepilogo dei risultati illuminotecnici ottenuti dalla simulazione e riferiti alla PA sono i seguenti:

Tabella 4.44. Riepilogo risultati della simulazione illuminotecnica dell'area principale del campo da calcio – 150 lux

TIPO ILLUMINAMENTO	E_m [lux]	E_{min} [lux]	E_{max} [lux]	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
orizzontale	152	95	184	0.63	0.52

I valori di illuminamento medio E_m e dell'uniformità E_{min}/E_m ottenuti, soddisfano ancora una volta quelli che erano i requisiti illuminotecnici richiesti.

Nelle figure che seguono è possibile visualizzare quelli che sono i risultati illuminotecnici della simulazione.

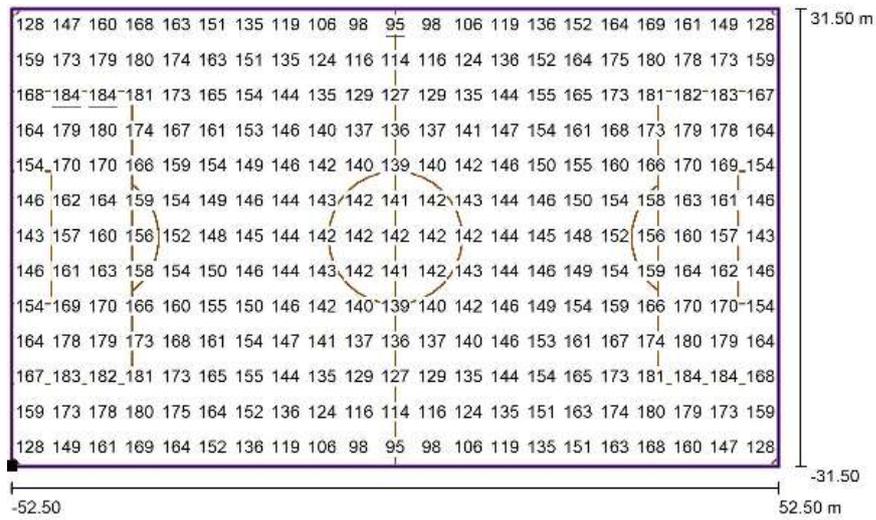


Figura 4.40. Grafica dei valori dell'illuminamento orizzontale nella griglia di calcolo

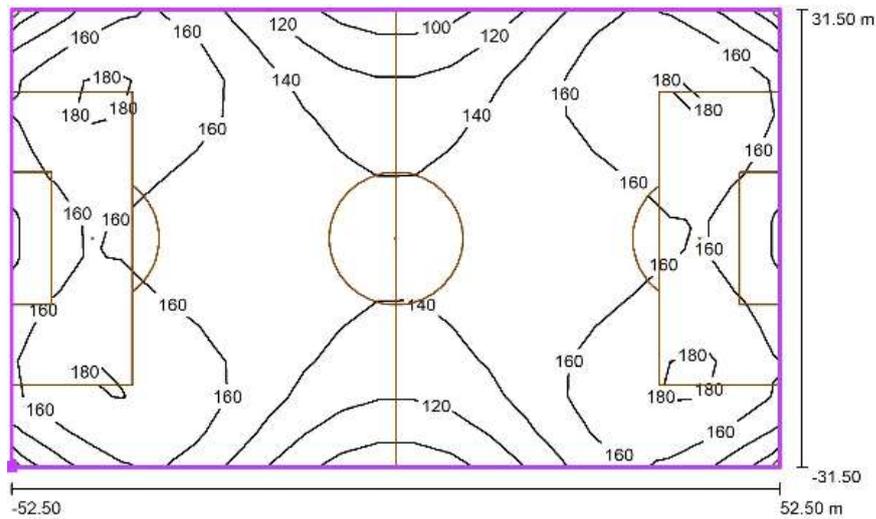


Figura 4.41. Isolinee dei valori di illuminamento orizzontale

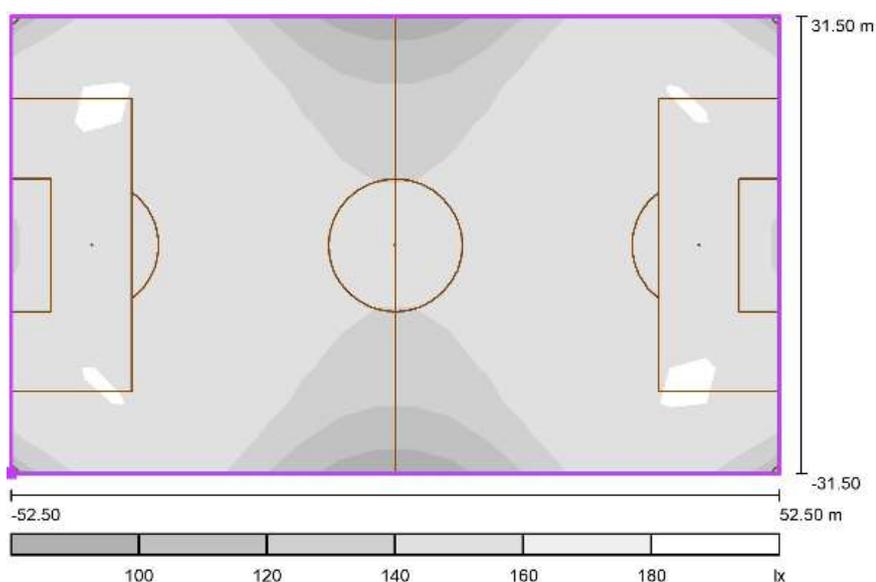


Figura 4.42. Livelli di grigio dei valori di illuminamento orizzontale

Nella seguente tabella è possibile verificare il livello ammissibile dell'indice di abbagliamento glare rating GR:

Tabella 4.45. Valori massimi di GR nei diversi punti di calcolo

No.	Denominazione	Posizione [m]			Awio	Fine	Area angolo di mira [°]		Max
		X	Y	Z			Grandezza intervallo	Inclinazione	
1	Osservatore GR 1	-53.750	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	46 ²⁾
2	Osservatore GR 2	-53.750	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	45 ²⁾
3	Osservatore GR 3	-53.750	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	46 ²⁾
4	Osservatore GR 4	-1.250	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	51 ²⁾
5	Osservatore GR 5	-1.250	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	46 ²⁾
6	Osservatore GR 6	-1.250	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	46 ²⁾
7	Osservatore GR 7	51.250	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	45 ²⁾
8	Osservatore GR 8	51.250	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	46 ²⁾
9	Osservatore GR 9	51.250	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	46 ²⁾
10	Osservatore GR 10	-27.500	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	50 ²⁾
11	Osservatore GR 11	-27.500	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	48 ²⁾
12	Osservatore GR 12	-27.500	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	48 ²⁾
13	Osservatore GR 13	25.000	31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	48 ²⁾
14	Osservatore GR 14	25.000	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	50 ²⁾
15	Osservatore GR 15	25.000	-31.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	48 ²⁾
16	Osservatore GR 16	-27.500	-15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	52 ²⁾
17	Osservatore GR 17	-27.500	15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	52 ²⁾
18	Osservatore GR 18	25.000	15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	52 ²⁾
19	Osservatore GR 19	25.000	-15.750	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	52 ²⁾

Da un'analisi dell'ultima colonna si nota che il valore massimo di GR calcolato, presente anche questa volta su 4 punti di calcolo, è pari a 52. In questo caso il valore massimo ammissibile era 50 e quindi, per la prima volta in questo elaborato, non viene soddisfatto uno dei requisiti illuminotecnici alla base del progetto.

L'illuminamento medio E_m della TA dovrà essere pari ad un minimo del 75% di quello della PA e quindi, in questo caso, superiore a 112,5 lux.

In riferimento alla TA, i risultati illuminotecnici che si ottengono sono i seguenti:

Tabella 4.46. Riepilogo risultati della simulazione illuminotecnica dell'area totale del campo da calcio – 150 lux

TIPO ILLUMINAMENTO	E_m [lux]	E_{min} [lux]	E_{max} [lux]	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
orizzontale	142	65	186	0.46	0.35

L'illuminamento medio E_m dell'area totale risulta pari a 142 lux e quindi superiore al valore minimo ammissibile di 112,5 lux.

Per ottenere i 150 lux si sono utilizzati 24 proiettori *Titan EVO – 4S*, per una potenza attiva totale pari a 19,2 kW che anche in questo caso risulta inferiore ai 40 kW massimi previsti dalle linee guida.

4.5.5 Illuminazione pista di atletica – illuminamento medio 50 lux

Facendo i dovuti calcoli illuminotecnici, per ottenere il valore di illuminamento desiderato sono stati utilizzati 12 proiettori *Titan EVO – 4S*, 3 per ognuna delle 4 torri faro. Le coordinate dei proiettori e dei punti di proiezione di quest'ultimi, necessari per ottenere i parametri illuminotecnici richiesti, sono individuabili sulla figura e sulla tabella che seguono.

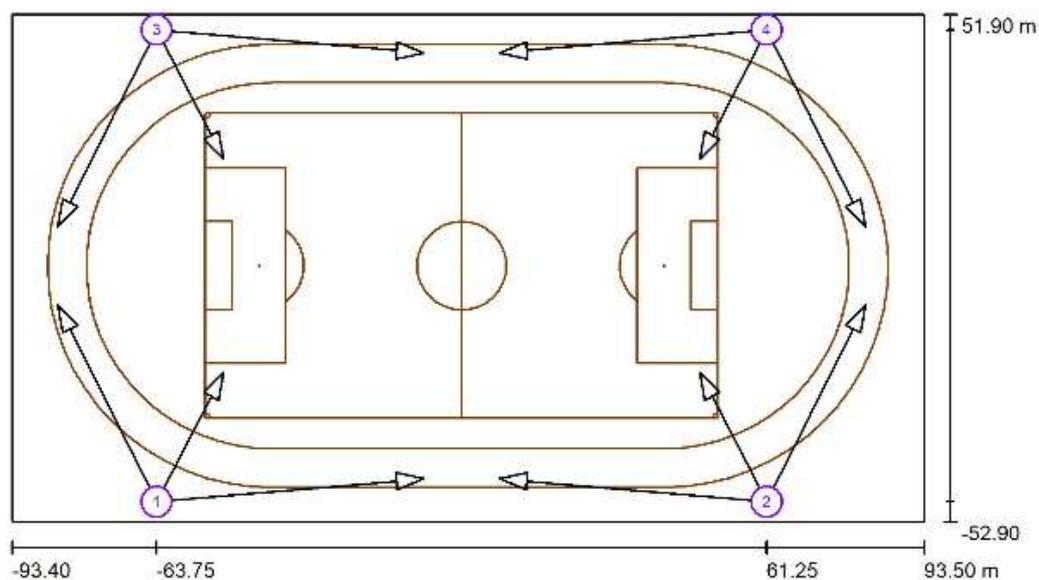


Figura 4.43. Puntamenti dei 12 proiettori all'interno della pista di atletica

Tabella 4.47. Lista coordinate dei proiettori e dei loro punti di proiezione

Lampada	Indice	Posizione [m]			Punto di proiezione [m]			Angolo di proiezione [°]	Orientamento	Palo
		X	Y	Z	X	Y	Z			
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	1	-63.750	-48.750	25.000	-9.000	-44.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo D
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	2	61.250	-48.750	25.000	6.500	-44.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo B
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	3	-63.750	48.750	25.000	-9.000	44.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo C
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	4	61.250	48.750	25.000	6.500	44.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo A
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	1	-63.750	-48.750	25.000	-84.000	-8.000	0.000	28.8	(C 0, G IMax)	Palo D
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	2	61.250	-48.750	25.000	81.500	-8.000	0.000	28.8	(C 0, G IMax)	Palo B
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	3	-63.750	48.750	25.000	-84.000	8.000	0.000	28.8	(C 0, G IMax)	Palo C
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	4	61.250	48.750	25.000	81.500	8.000	0.000	28.8	(C 0, G IMax)	Palo A
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	1	-63.750	-48.750	25.000	-50.000	-22.000	0.000	39.7	(C 0, G IMax)	Palo D
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	2	61.250	-48.750	25.000	47.500	-22.000	0.000	39.7	(C 0, G IMax)	Palo B
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	3	-63.750	48.750	25.000	-50.000	22.000	0.000	39.7	(C 0, G IMax)	Palo C
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	4	61.250	48.750	25.000	47.500	22.000	0.000	39.7	(C 0, G IMax)	Palo A

Lanciando la simulazione in base alle coordinate sopra riportate, il riepilogo dei risultati illuminotecnici che si ottengono per la PA sono i seguenti:

Tabella 4.48. Riepilogo risultati della simulazione illuminotecnica dell'area principale della pista di atletica – 50 lux

TIPO ILLUMINAMENTO	Em [lux]	Emin [lux]	Emax [lux]	Emin/Em	Emin/Emax
orizzontale	53	27	80	0.52	0.34

Dalla tabella è possibile vedere che i valori dell'illuminamento medio E_m e dell'uniformità E_{min}/E_m ottenuti, soddisfano quelli che erano i requisiti illuminotecnici richiesti (§ 4.1).

Nella figura che segue, già vista nel § 4.4.5, vengono riportati i 21 punti della griglia nel senso di marcia; anche questa volta viene riportata la tabella nella quale è possibile visualizzare i valori di illuminamento nei vari punti della griglia, ricordando che, per ognuno dei 21 punti, ne sono presenti 3 trasversali al senso di marcia.

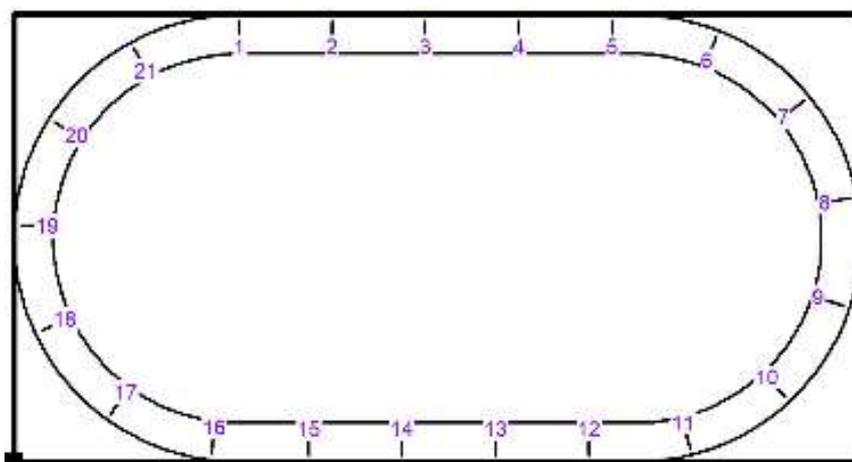


Figura 4.44. Posizione dei 21 punti della griglia di calcolo nel senso di marcia

Tabella 4.49. Tabella radiale degli illuminamenti orizzontali

III	41	57	42	55	47	<u>27</u>	60	62	67	41	28	56	49	43	60	31	31	78	62	76	33
II	41	53	41	52	45	46	70	66	72	50	42	52	48	43	57	36	42	<u>80</u>	61	79	53
I	38	48	39	47	42	74	68	65	72	54	65	46	44	41	50	41	59	75	58	74	78
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

Dalla tabella radiale degli illuminamenti si può verificare come il minimo illuminamento orizzontale sia pari a 27 lux, mentre quello massimo corrisponde ad 80 lux.

Per quanto riguarda la verifica del livello ammissibile dell'indice di abbagliamento *glare rating* GR, facendo riferimento ai 20 punti di calcolo precedentemente specificati, i risultati che si ottengono sono elencati nella seguente tabella:

Tabella 4.50. Valori massimi di GR nei diversi punti di calcolo

No.	Denominazione	Posizione [m]			Avvio	Fine	Area angolo di mira [°]		Max
		X	Y	Z			Grandezza intervallo	Inclinazione	
1	Osservatore GR 1	-86.125	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	46 ²⁾
2	Osservatore GR 2	-78.150	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	44 ²⁾
3	Osservatore GR 3	86.125	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	46 ²⁾
4	Osservatore GR 4	78.150	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	45 ²⁾
5	Osservatore GR 5	0.000	-45.775	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	47 ²⁾
6	Osservatore GR 6	0.000	-37.800	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	45 ²⁾
7	Osservatore GR 7	0.000	45.775	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	46 ²⁾
8	Osservatore GR 8	0.000	37.800	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	45 ²⁾
9	Osservatore GR 9	43.063	41.788	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	41 ²⁾
10	Osservatore GR 10	-43.062	41.788	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	41 ²⁾
11	Osservatore GR 11	-43.062	-41.787	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	41 ²⁾
12	Osservatore GR 12	43.063	-41.787	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	40 ²⁾
13	Osservatore GR 13	64.594	33.900	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	36 ²⁾
14	Osservatore GR 14	64.594	-33.900	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	36 ²⁾
15	Osservatore GR 15	-21.531	41.788	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	45 ²⁾
16	Osservatore GR 16	-21.531	-41.787	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	45 ²⁾
17	Osservatore GR 17	21.531	41.788	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	44 ²⁾
18	Osservatore GR 18	21.531	-41.787	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	44 ²⁾
19	Osservatore GR 19	-69.900	29.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	35 ²⁾
20	Osservatore GR 20	-69.900	-29.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	35 ²⁾

L'ultima colonna della tabella riporta i valori massimi dell'indice di GR (2): la luminanza di velo equivalente calcolata dell'ambiente si basa sul presupposto che le caratteristiche riflettenti dell'ambiente siano pienamente diffuse, come previsto dalla norma EN 12464-2): si nota che il valore massimo calcolato, presente in 1 punto, è pari a 47 ed è quindi inferiore al valore massimo ammissibile per questa simulazione che, si ricorda, è fissato a 55.

4.5.6 Illuminazione pista di atletica – illuminamento medio 75 lux

Per ottenere il valore di illuminamento desiderato sono stati utilizzati 16 proiettori *Titan EVO* – 4S, 4 per ognuna delle 4 torri faro. Le coordinate dei proiettori e dei punti di proiezione di

quest'ultimi, necessari per ottenere i parametri illuminotecnici richiesti, sono individuabili sulla figura e sulla tabella che seguono.

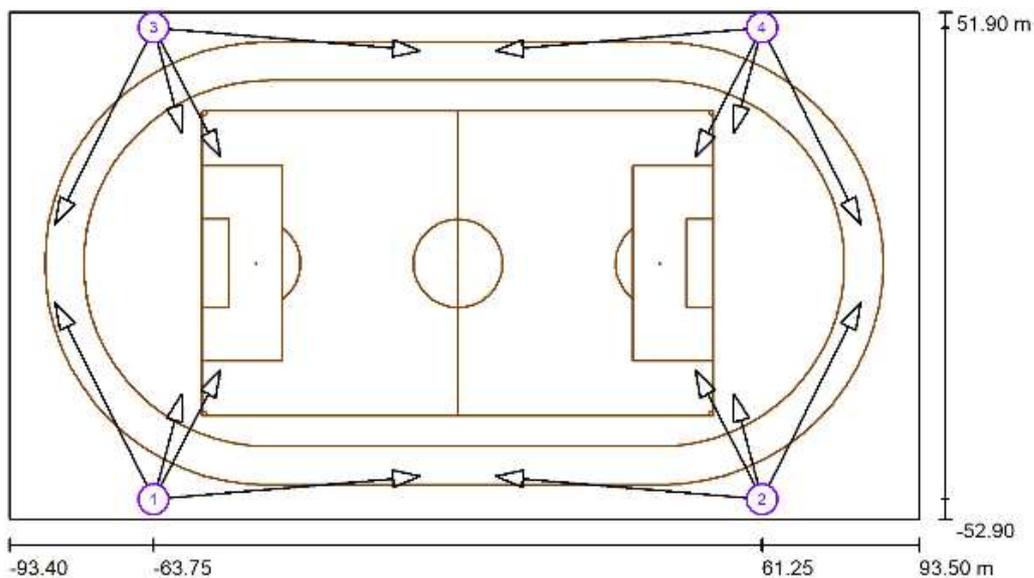


Figura 4.45. Puntamenti dei 16 proiettori all'interno della pista di atletica

Tabella 4.51. Lista coordinate dei proiettori e dei loro punti di proiezione

Lampada	Indice	Posizione [m]			Punto di proiezione [m]			Angolo di proiezione [°]	Orientamento	Palo
		X	Y	Z	X	Y	Z			
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	1	-63.750	-48.750	25.000	-9.000	-44.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo D
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	2	61.250	-48.750	25.000	6.500	-44.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo B
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	3	-63.750	48.750	25.000	-9.000	44.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo C
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	4	61.250	48.750	25.000	6.500	44.000	0.000	24.5	(C 0, G IMax)	Palo A
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	1	-63.750	-48.750	25.000	-84.000	-8.000	0.000	28.8	(C 0, G IMax)	Palo D
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	2	61.250	-48.750	25.000	81.500	-8.000	0.000	28.8	(C 0, G IMax)	Palo B
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	3	-63.750	48.750	25.000	-84.000	8.000	0.000	28.8	(C 0, G IMax)	Palo C
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	4	61.250	48.750	25.000	81.500	8.000	0.000	28.8	(C 0, G IMax)	Palo A
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	1	-63.750	-48.750	25.000	-50.000	-22.000	0.000	39.7	(C 0, G IMax)	Palo D
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	2	61.250	-48.750	25.000	47.500	-22.000	0.000	39.7	(C 0, G IMax)	Palo B
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	3	-63.750	48.750	25.000	-50.000	22.000	0.000	39.7	(C 0, G IMax)	Palo C
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	4	61.250	48.750	25.000	47.500	22.000	0.000	39.7	(C 0, G IMax)	Palo A
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	1	-63.750	-48.750	25.000	-58.000	-27.000	0.000	48.0	(C 0, G IMax)	Palo D
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	2	61.250	-48.750	25.000	55.500	-27.000	0.000	48.0	(C 0, G IMax)	Palo B
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	3	-63.750	48.750	25.000	-58.000	27.000	0.000	48.0	(C 0, G IMax)	Palo C
Titan Evo-4S 800W ottica 20? 1xLED/4000	4	61.250	48.750	25.000	55.500	27.000	0.000	48.0	(C 0, G IMax)	Palo A

Prima di proseguire con l'analisi dei risultati della simulazione, vale la pena ancora una volta sottolineare, come del resto è possibile notare nella tabella 4.51, che i punti di proiezione degli 12 proiettori già presenti nella simulazione precedente sono rimasti gli stessi.

Lanciando la simulazione in base alle coordinate sopra riportate, il riepilogo dei risultati illuminotecnici che si ottengono per la PA sono i seguenti:

Tabella 4.52. Riepilogo risultati della simulazione illuminotecnica dell'area principale della pista di atletica – 75 lux

TIPO ILLUMINAMENTO	Em [lux]	Emin [lux]	E _{max} [lux]	Emin/Em	Emin/E _{max}
orizzontale	76	39	249	0.51	0.16

Dalla tabella è possibile vedere che i valori dell'illuminamento medio E_m e dell'uniformità E_{min}/E_m ottenuti, soddisfano ancora una volta quelli che erano i requisiti illuminotecnici richiesti (§ 4.1).

Prendendo anche in questo caso come riferimento la figura 4.44, è possibile valutare la tabella radiale degli illuminamenti orizzontali.

Tabella 4.53. Tabella radiale degli illuminamenti orizzontali

III	44	57	42	55	50	84	68	64	69	62	54	57	50	44	61	<u>39</u>	106	81	64	83	121
II	45	54	42	53	49	139	83	68	74	84	85	54	48	43	58	47	154	86	64	90	189
I	44	49	40	48	46	206	88	68	76	104	128	48	44	41	51	56	209	83	61	89	<u>249</u>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

Ecco che da quest'ultima tabella è possibile verificare che l'illuminamento orizzontale minimo è pari a 39 lux, mentre quello massimo corrisponde a 249 lux.

Per quanto riguarda la verifica del livello ammissibile dell'indice di abbagliamento *glare rating* GR, i risultati che si ottengono sono elencati nella seguente tabella:

Tabella 4.54. Valori massimi di GR nei diversi punti di calcolo

No.	Denominazione	Posizione [m]			Avio	Fine	Area angolo di mira [°]		Max
		X	Y	Z			Grandezza intervallo	Inclinazione	
1	Osservatore GR 1	-86.125	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	43 ²⁾
2	Osservatore GR 2	-78.150	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	41 ²⁾
3	Osservatore GR 3	86.125	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	43 ²⁾
4	Osservatore GR 4	78.150	0.000	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	42 ²⁾
5	Osservatore GR 5	0.000	-45.775	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	43 ²⁾
6	Osservatore GR 6	0.000	-37.800	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	42 ²⁾
7	Osservatore GR 7	0.000	45.775	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	43 ²⁾
8	Osservatore GR 8	0.000	37.800	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	42 ²⁾
9	Osservatore GR 9	43.063	41.788	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	37 ²⁾
10	Osservatore GR 10	-43.062	41.788	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	38 ²⁾
11	Osservatore GR 11	-43.062	-41.787	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	38 ²⁾
12	Osservatore GR 12	43.063	-41.787	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	37 ²⁾
13	Osservatore GR 13	64.594	33.900	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	33 ²⁾
14	Osservatore GR 14	64.594	-33.900	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	33 ²⁾
15	Osservatore GR 15	-21.531	41.788	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	42 ²⁾
16	Osservatore GR 16	-21.531	-41.787	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	42 ²⁾
17	Osservatore GR 17	21.531	41.788	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	41 ²⁾
18	Osservatore GR 18	21.531	-41.787	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	41 ²⁾
19	Osservatore GR 19	-69.900	29.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	32 ²⁾
20	Osservatore GR 20	-69.900	-29.500	1.500	0.0	360.0	15.0	-2.0	32 ²⁾

Sempre con riferimento all'ultima colonna si nota che il valore massimo di GR, presente questa volta su 4 punti di calcolo, è pari a 43 ed è quindi inferiore al valore massimo ammissibile di 55.

4.5.7 Considerazioni sulla simulazione illuminotecnica con lampade a tecnologia LED

In riferimento all'illuminazione dell'impianto sportivo realizzato con i proiettori *Champion*, che si ricorda montano lampade a ioduri metallici, era stato possibile affermare che, grazie al concetto ottico ottimizzato costruito intorno a un vetro inclinato all'interno del proiettore stesso, l'inclinazione, espressa in gradi (°), dei proiettori poteva essere trascurata ai fini dell'inquinamento luminoso.

In questa simulazione con lampade a tecnologia LED è invece necessario considerare l'inclinazione, in gradi (°), dei proiettori modello *Titan EVO – 4S*. Questo perché i proiettori *Titan EVO – 4S* non presentano un concetto ottico ottimizzato come quello visto per i corpi illuminanti *Champion* e per ottenere gli illuminamenti descritti nei sottoparagrafi precedenti è stato necessario inclinarli.

Nelle tabelle che seguono è possibile osservare la rotazione di tutti i vari proiettori *Titan EVO – 4S* utilizzati per l'illuminazione del campo da calcio e della pista di atletica.

Tabella 4.55. Lista coordinate della posizione e della rotazione dei 24 proiettori utilizzati per l'illuminazione del campo da calcio

No.	Posizione [m]			Rotazione [°]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-63.750	-48.750	25.000	0.0	-71.6	37.4
2	61.250	-48.750	25.000	0.0	-71.6	142.6
3	-63.750	48.750	25.000	0.0	-71.6	-37.4
4	61.250	48.750	25.000	0.0	-71.6	-142.6
5	-63.750	-48.750	25.000	0.0	-62.0	62.5
6	61.250	-48.750	25.000	0.0	-62.0	117.5
7	-63.750	48.750	25.000	0.0	-62.0	-62.5
8	61.250	48.750	25.000	0.0	-62.0	-117.5
9	-63.750	-48.750	25.000	0.0	-69.1	24.1
10	61.250	-48.750	25.000	0.0	-69.1	155.9
11	-63.750	48.750	25.000	0.0	-69.1	-24.1
12	61.250	48.750	25.000	0.0	-69.1	-155.9
13	-63.750	-48.750	25.000	0.0	-67.6	47.7
14	61.250	-48.750	25.000	0.0	-67.6	132.3
15	-63.750	48.750	25.000	0.0	-67.6	-47.7
16	61.250	48.750	25.000	0.0	-67.6	-132.3
17	-63.750	-48.750	25.000	0.0	-66.6	75.2
18	61.250	-48.750	25.000	0.0	-66.6	104.8
19	-63.750	48.750	25.000	0.0	-66.6	-75.2
20	61.250	48.750	25.000	0.0	-66.6	-104.8
21	-63.750	-48.750	25.000	0.0	-70.3	29.8
22	61.250	-48.750	25.000	0.0	-70.3	150.2
23	-63.750	48.750	25.000	0.0	-70.3	-29.8
24	61.250	48.750	25.000	0.0	-70.3	-150.2

Tabella 4.56. Lista coordinate della posizione e della rotazione dei 16 proiettori utilizzati per l'illuminazione della pista di atletica

No.	Posizione [m]			Rotazione [°]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-63.750	-48.750	25.000	0.0	-65.5	5.0
2	61.250	-48.750	25.000	0.0	-65.5	175.0
3	-63.750	48.750	25.000	0.0	-65.5	-5.0
4	61.250	48.750	25.000	0.0	-65.5	-175.0
5	-63.750	-48.750	25.000	0.0	-61.2	116.4
6	61.250	-48.750	25.000	0.0	-61.2	63.6
7	-63.750	48.750	25.000	0.0	-61.2	-116.4
8	61.250	48.750	25.000	0.0	-61.2	-63.6
9	-63.750	-48.750	25.000	0.0	-50.3	62.8
10	61.250	-48.750	25.000	0.0	-50.3	117.2
11	-63.750	48.750	25.000	0.0	-50.3	-62.8
12	61.250	48.750	25.000	0.0	-50.3	-117.2
13	-63.750	-48.750	25.000	0.0	-42.0	75.2
14	61.250	-48.750	25.000	0.0	-42.0	104.8
15	-63.750	48.750	25.000	0.0	-42.0	-75.2
16	61.250	48.750	25.000	0.0	-42.0	-104.8

Facendo riferimento alla tabella 4.55 (campo da calcio), è possibile vedere che i diversi proiettori sono caratterizzati da rotazioni, attorno all'asse y, pari a $-71,6^\circ$, $-62,0^\circ$, $-69,1^\circ$, $-67,6^\circ$, $-66,6^\circ$ e $-70,3^\circ$. Questi angoli di rotazione stanno a significare che i proiettori non hanno un'inclinazione di 0° verso terra (proiettori perfettamente orizzontali al piano del terreno), bensì sono inclinati rispetto al terreno rispettivamente di $18,4^\circ$, 28° , $20,9^\circ$, $22,4^\circ$, $23,4^\circ$ e $19,7^\circ$. Se si fa invece riferimento alla tabella 4.56 (pista di atletica), in questo caso le rotazioni, sempre attorno all'asse y, che caratterizzano i proiettori sono pari a $-65,5^\circ$, $-61,2^\circ$, $-50,3^\circ$ e $-42,0^\circ$. Anche qui si nota subito che i proiettori non hanno un'inclinazione di 0° verso terra, ma sono inclinati rispetto al piano del terreno rispettivamente di $24,5^\circ$, $28,8^\circ$, $39,7^\circ$ e 48° .

Considerando quindi le varie inclinazioni dei proiettori verso terra necessarie per raggiungere i livelli di illuminamento richiesti sia per il campo da calcio che per la pista di atletica, che vanno da un minimo di $18,4^\circ$ ad un massimo di 48° , si può affermare che, nonostante l'ottica *full cut-off* con vetro piano temperato di spessore 5 mm, i proiettori *Titan EVO – 4S* non sono installati secondo quanto previsto dalla legge regionale n.17 del Veneto.

Un'ulteriore conferma del fatto che i proiettori *Titan EVO – 4S* non rispettano le norme per il contenimento dell'inquinamento luminoso dettate dalla Regione Veneto è data dal valore di ULR (*Upward Light Ratio*) fornito dal codice di calcolo per la specifica installazione che, in tutte e cinque le simulazioni, non è mai pari allo 0,0%. Nella tabella seguente vengono riportate le percentuali del valore ULR per le diverse simulazioni:

Tabella 4.57. Valori percentuali di URL per le varie simulazioni effettuate

SIMULAZIONE	VALORE URL [%]
Illuminazione campo da calcio – illuminamento medio 75 lux	7.5
Illuminazione campo da calcio – illuminamento medio 100 lux	7.0
Illuminazione campo da calcio – illuminamento medio 150 lux	7.0
Illuminazione pista di atletica – illuminamento medio 50 lux	3.5
Illuminazione pista di atletica – illuminamento medio 75 lux	3.0

Si è voluto, a scopo di confronto, effettuare una simulazione con proiettori *Titan EVO – 4S* installati secondo quanto stabilito dalla legge regionale n.17: installazione caratterizzata quindi da un'inclinazione di 0° verso terra e con il valore di ULR ottenuto pari a 0,0%. La simulazione scelta è stata quella dell'illuminazione del campo da calcio con illuminamento medio pari a 150 lux.

La tabella che segue mostra che i proiettori, installati con le stesse coordinate (x, y, z) viste anche per le simulazioni precedenti, in questo caso hanno una rotazione di 0° e sono quindi installati orizzontalmente al piano del terreno.

Tabella 4.58. Lista coordinate della posizione e della rotazione dei 24 proiettori, installati secondo quanto stabilito dalla legge regionale n.17 del Veneto, utilizzati per l'illuminazione del campo da calcio – $E_m = 150$ lux

No.	Posizione [m]			Rotazione [°]		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	-63.750	-48.750	25.000	0.0	0.0	37.4
2	61.250	-48.750	25.000	0.0	0.0	142.6
3	-63.750	48.750	25.000	0.0	0.0	-37.4
4	61.250	48.750	25.000	0.0	0.0	-142.6
5	-63.750	-48.750	25.000	0.0	0.0	62.5
6	61.250	-48.750	25.000	0.0	0.0	117.5
7	-63.750	48.750	25.000	0.0	0.0	-62.5
8	61.250	48.750	25.000	0.0	0.0	-117.5
9	-63.750	-48.750	25.000	0.0	0.0	24.1
10	61.250	-48.750	25.000	0.0	0.0	155.9
11	-63.750	48.750	25.000	0.0	0.0	-24.1
12	61.250	48.750	25.000	0.0	0.0	-155.9
13	-63.750	-48.750	25.000	0.0	0.0	47.7
14	61.250	-48.750	25.000	0.0	0.0	132.3
15	-63.750	48.750	25.000	0.0	0.0	-47.7
16	61.250	48.750	25.000	0.0	0.0	-132.3
17	-63.750	-48.750	25.000	0.0	0.0	75.2
18	61.250	-48.750	25.000	0.0	0.0	104.8
19	-63.750	48.750	25.000	0.0	0.0	-75.2
20	61.250	48.750	25.000	0.0	0.0	-104.8
21	-63.750	-48.750	25.000	0.0	0.0	29.8
22	61.250	-48.750	25.000	0.0	0.0	150.2
23	-63.750	48.750	25.000	0.0	0.0	-29.8
24	61.250	48.750	25.000	0.0	0.0	-150.2

Il riepilogo dei risultati illuminotecnici ottenuti per questa simulazione e riferiti alla PA sono i seguenti:

Tabella 4.59. Riepilogo risultati della simulazione illuminotecnica dell'area principale del campo da calcio – 150 lux – proiettori caratterizzati da rotazione di 0°

TIPO ILLUMINAMENTO	E_m [lux]	E_{min} [lux]	E_{max} [lux]	E_{min}/E_m	E_{min}/E_{max}
orizzontale	1.48	0.36	13	0.24	0.03

I valori di illuminamento medio E_m e dell'uniformità E_{min}/E_m ottenuti, non soddisfano assolutamente quelli che erano i requisiti illuminotecnici richiesti (§ 4.1).

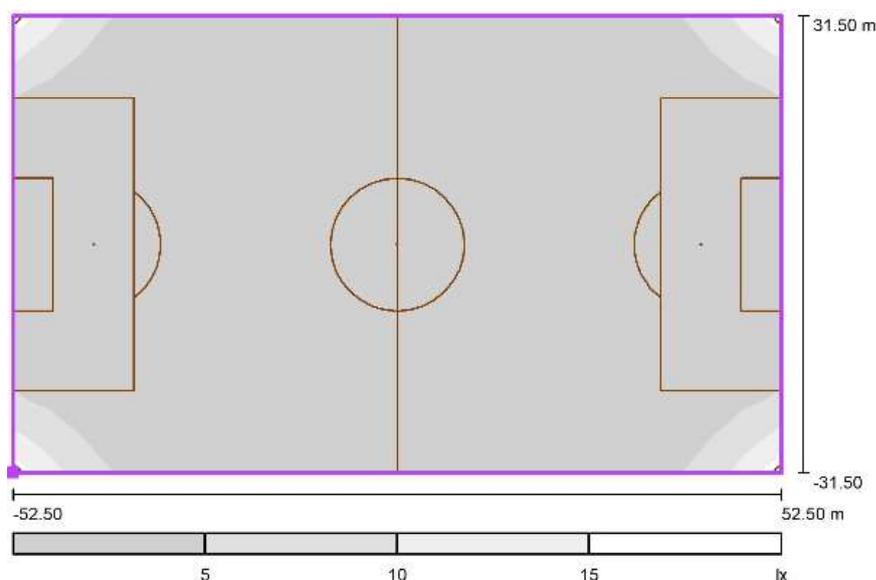


Figura 4.46. Livelli di grigio dei valori di illuminamento orizzontale ottenuti con la simulazione illuminotecnica effettuata con i proiettori Titan EVO installati secondo quanto stabilito dalla legge regionale n. 17 del Veneto

Dalla figura 4.46 si può notare come l'illuminamento, oltre ad essere caratterizzato da valori espressi in lux assai bassi, risulta maggiore nei quattro angoli del rettangolo di gioco. Questo è significativo di come le attuali ottiche dei proiettori con lampade a tecnologia LED non sono in grado di illuminare impianti sportivi di grandi dimensioni, se non inclinando i proiettori in fase di installazione.

Questa simulazione ha quindi permesso di verificare che, con i proiettori *Titan EVO – 4S* con lampade a tecnologia LED installati secondo la legge regionale n.17, non è possibile, almeno allo stato attuale delle cose, ottenere i valori di illuminamento medio e di uniformità richiesti per l'illuminazione di un impianto sportivo come quello di via Pulliere.

Vale infine la pena sottolineare che, a differenza delle simulazioni con lampade a ioduri metallici nelle quali vengono sempre soddisfatti tutti i requisiti illuminotecnici di progetto, nelle simulazioni con lampade a tecnologia LED e più precisamente in quella dell'illuminazione del campo da calcio con illuminamento medio pari a 150 lux, il valore massimo di GR viene superato ($52 > 50$) e questo, con buona probabilità, porterebbe a dei fenomeni di abbagliamento che andrebbero a ridurre le prestazioni visive degli spettatori e soprattutto degli atleti.

4.6 Analisi energetica e analisi costi/benefici

Essendo l'impianto di illuminazione del campo sportivo principale di via Pulliere ex novo, non è possibile effettuare un confronto dei risultati energetici progettuali con la situazione esistente. Si possono comunque fare alcune valutazioni interessanti che riguardano entrambe le varianti di progetto.

Prima di proseguire è doveroso sottolineare come in tutti i calcoli che verranno eseguiti si è supposto un costo dell'energia di **0,15 €/kWh** e un funzionamento annuo dell'impianto di **2000 h** per l'illuminazione del campo da calcio e di **800 h** per l'illuminazione della pista di atletica.

A) ANALISI ENERGETICA VARIANTE CON LAMPADE A IODURI METALLICI

Con questa variante, per ottenere gli illuminamenti medi richiesti sono stati utilizzati proiettori *Champion*, modello CHAMPION 2KW MHN-SB-HO/HQITS-S HF CL1 WI, che montano lampade a ioduri metallici modello HIT-DE-MF (OS) da 2000W.

In primis si prende in considerazione l'illuminazione del campo da calcio con illuminamento medio **150 lux**, che è l'illuminamento consigliato dalle linee guida della LND per un impianto sportivo che presenta le caratteristiche di quello oggetto di questo elaborato.

Tabella 4.60. Valutazione energetica con lampade a ioduri metallici – illuminazione campo da calcio con E_m pari a 150 lux

Lampada	Ore di funzionamento annuo [h]	Potenza [W]	Energia Consumata [kWh/anno]	Totale Pezzi	Energia Consumata Totale [kWh/anno]	Costo Annuo Energia [€]
HIT-DE-MF (OS)	2000	2180	4360	16	69760	10464

Dalla tabella è possibile vedere che l'energia totale consumata in un anno è pari a **69.760,00 kWh/anno** con un costo di **10.464,00 €**.

Come già ampiamente descritto, l'impianto di illuminazione verrà però dotato di comandi appositi per l'ottimizzazione dei consumi energetici che permetteranno di ottenere anche illuminamenti medi pari a **100 e 75 lux**.

Si può quindi supporre di suddividere le 2000 h di funzionamento annuo secondo quanto specificato nella seguente tabella:

Tabella 4.61. Ore di funzionamento a seconda delle condizioni di funzionamento

Condizioni di funzionamento	Illuminamento medio richiesto [lux]	Percentuale rispetto alle ore di funzionamento annuale	Ore di funzionamento [h]
Allenamento	75	45%	900
Allenamento competitivo e partita non ufficiale	100	40%	800
Partita ufficiale	150	15%	300

Fatta questa distinzione, è possibile andare a fare una nuova analisi energetica per valutare l'energia consumata totale e il costo annuo dell'energia.

Tabella 4.62. Valutazione energetica con lampade a ioduri metallici – illuminazione campo da calcio nelle diverse condizioni di funzionamento

Em richiesto [lux]	Lampada	Ore di funzionamento annuo [h]	Potenza [W]	Energia Consumata [kWh/anno]	Totale Pezzi	Energia Consumata Totale [kWh/anno]	Costo Annuo Energia [€]
75	HIT-DE-MF (OS)	900	2180	1962	8	15696	2354.4
100	HIT-DE-MF (OS)	800	2180	1744	12	20928	3139.2
150	HIT-DE-MF (OS)	300	2180	654	16	10464	1569.6

Sommando l'energia totale consumata nelle diverse condizioni di funzionamento si trova che l'energia totale consumata in un anno è pari a **47.088,00 kWh/anno** con un costo di **7.063,20 €**.

Si può quindi notare che, grazie ai comandi per la selezione della condizione di funzionamento più adatta al tipo di impegno sportivo da svolgere, è possibile risparmiare circa il **32,5%** dell'energia totale consumata in un anno.

Nelle tabelle seguenti vengono fatte le stesse valutazioni riferite però all'illuminazione della pista di atletica.

Tabella 4.63. Valutazione energetica con lampade a ioduri metallici – illuminazione pista di atletica con Em pari a 75 lux

Lampada	Ore di funzionamento annuo [h]	Potenza [W]	Energia Consumata [kWh/anno]	Totale Pezzi	Energia Consumata Totale [kWh/anno]	Costo Annuo Energia [€]
HIT-DE-MF (OS)	800	2180	1744	12	20928	3139.2

Dalla tabella è possibile vedere che l'energia totale consumata in un anno è pari a **20.928,00 kWh/anno** con un costo di **3.139,20 €**.

Anche per la pista di atletica sono previsti gli appositi comandi per l'ottimizzazione dei consumi energetici che permetteranno di ottenere, oltre ai **75 lux**, un illuminamento medio pari a **50 lux**.

Tabella 4.64. Ore di funzionamento a seconda delle condizioni di funzionamento

Condizioni di funzionamento	Illuminamento medio richiesto [lux]	Percentuale rispetto alle ore di funzionamento annuale	Ore di funzionamento [h]
Allenamento corsa	50	80%	640
Allenamento corsa, salto in lungo, lancio del peso e del giavellotto	75	20%	160

Fatta questa ulteriore distinzione per l'utilizzo della pista di atletica, è possibile andare a fare anche qui una nuova analisi energetica per valutare l'energia consumata totale e il costo annuo dell'energia.

Tabella 4.65. Valutazione energetica con lampade a ioduri metallici – illuminazione pista di atletica nelle diverse condizioni di funzionamento

Em richiesto [lux]	Lampada	Ore di funzionamento annuo [h]	Potenza [W]	Energia Consumata [kWh/anno]	Totale Pezzi	Energia Consumata Totale [kWh/anno]	Costo Annuo Energia [€]
50	HIT-DE-MF (OS)	640	2180	1395.2	8	11161.6	1674.24
75	HIT-DE-MF (OS)	160	2180	348.8	12	4185.6	627.84

Sommando l'energia totale consumata nelle due diverse condizioni di funzionamento si trova che l'energia totale consumata in un anno è pari a **15.347,20 kWh/anno** con un costo di **2.302,08 €**.

Si può quindi notare che, grazie ai comandi per la selezione della condizione di funzionamento più adatta al tipo di impegno sportivo da svolgere, è possibile risparmiare circa il **27%** dell'energia totale consumata in un anno.

B) ANALISI ENERGETICA VARIANTE CON LAMPADE A TECNOLOGIA LED

Nonostante sia stato possibile verificare che l'illuminazione dell'impianto sportivo di via Pulliere non può essere realizzata con i proiettori *Titan EVO – 4S*, in quanto non conformi alla legge regionale n.17, vale comunque la pena effettuare un'analisi energetica che ha principalmente lo scopo di voler trovare l'energia totale consumata e il costo annuale dell'energia, per poter poi confrontare questi dati con quelli ottenuti nell'analisi energetica con lampade a ioduri metallici.

Per ottenere gli illuminamenti medi richiesti sono stati utilizzati proiettori *Titan EVO – 4S*, modello TITAN EVO – 4S 800W, che presentano una sorgente luminosa da 800W costituita da 168 LED marca Cree serie XPG-3 ad alta efficienza, suddivisi in 4 moduli da 42 LED ciascuno.

Anche qui si prende inizialmente in considerazione l'illuminazione del campo da calcio con illuminamento medio **150 lux**.

Tabella 4.66. Valutazione energetica con lampade a tecnologia LED – illuminazione campo da calcio con E_m pari a 150 lux

Lampada	Ore di funzionamento annuo [h]	Potenza [W]	Energia Consumata [kWh/anno]	Totale Pezzi	Energia Consumata Totale [kWh/anno]	Costo Annuo Energia [€]
LED Cree XPG-3	2000	832	1664	24	39936	5990.4

Dalla tabella è possibile vedere che l'energia totale consumata in un anno è pari a **39.936,00 kWh/anno** con un costo di **5.990,40 €**.

Anche con questa variante si sono effettuate le simulazioni per ottenere gli illuminamenti medi pari a **100 e 75 lux**. Se nella variante con lampade a ioduri metallici ci sono degli appositi comandi per l'ottimizzazione dei consumi energetici, nel caso di lampade a tecnologia LED, gli illuminamenti medi pari a **100 e 75 lux**, potrebbero essere ottenuti attraverso la dimmerazione dei LED stessi. In questo elaborato, sottolineando ancora una volta che la variante con lampade a tecnologia LED non è realizzabile in quanto non conforme alla legge regionale n.17, non si è presa in considerazione la dimmerazione dei LED e le varie simulazioni illuminotecniche sono state effettuate come nella variante con lampade a ioduri metallici e quindi ipotizzando la presenza di comandi per l'accensione-spegnimento dei diversi proiettori in base alle diverse condizioni di funzionamento.

Come già visto in precedenza si può suddividere le 2000 h di funzionamento annuo secondo quanto specificato nella seguente tabella:

Tabella 4.67. Ore di funzionamento a seconda delle condizioni di funzionamento

Condizioni di funzionamento	Illuminamento medio richiesto [lux]	Percentuale rispetto alle ore di funzionamento annuale	Ore di funzionamento [h]
Allenamento	75	45%	900
Allenamento competitivo e partita non ufficiale	100	40%	800
Partita ufficiale	150	15%	300

Fatta questa distinzione, è possibile andare a fare una nuova analisi energetica per valutare l'energia consumata totale e il costo annuo dell'energia.

Tabella 4.68. Valutazione energetica con lampade a tecnologia LED – illuminazione campo da calcio nelle diverse condizioni di funzionamento

Em richiesto [lux]	Lampada	Ore di funzionamento annuo [h]	Potenza [W]	Energia Consumata [kWh/anno]	Totale Pezzi	Energia Consumata Totale [kWh/anno]	Costo Annuo Energia [€]
75	LED Cree XPG-3	900	832	748.8	12	8985.6	1347.84
100	LED Cree XPG-3	800	832	665.6	16	10649.6	1597.44
150	LED Cree XPG-3	300	832	249.6	24	5990.4	898.56

Sommando l'energia totale consumata nelle diverse condizioni di funzionamento si trova che l'energia totale consumata in un anno è pari a **25.625,60 kWh/anno** con un costo di **3.843,84 €**.

Si può quindi notare che, grazie ai comandi per la selezione della condizione di funzionamento più adatta al tipo di impegno sportivo da svolgere, ottenibile in questa configurazione anche con la dimmerazione, è possibile risparmiare circa il **36%** dell'energia totale consumata in un anno.

Nelle tabelle seguenti vengono fatte le stesse valutazioni riferite però all'illuminazione della pista di atletica.

Tabella 4.69. Valutazione energetica con lampade a tecnologia LED – illuminazione pista di atletica con E_m pari a 75 lux

Lampada	Ore di funzionamento annuo [h]	Potenza [W]	Energia Consumata [kWh/anno]	Totale Pezzi	Energia Consumata Totale [kWh/anno]	Costo Annuo Energia [€]
LED Cree XPG-3	800	832	665.6	16	10649.6	1597.44

Dalla tabella è possibile vedere che l'energia totale consumata in un anno è pari a **10.649,60 kWh/anno** con un costo di **1.597,44 €**.

Anche per la pista di atletica è stata valutata la possibilità di ottenere un illuminamento medio pari a **50 lux**.

Tabella 4.70. Ore di funzionamento a seconda delle condizioni di funzionamento

Condizioni di funzionamento	Illuminamento medio richiesto [lux]	Percentuale rispetto alle ore di funzionamento annuale	Ore di funzionamento [h]
Allenamento corsa	50	80%	640
Allenamento corsa, salto in lungo, lancio del peso e del giavellotto	75	20%	160

Fatta questa ulteriore distinzione per l'utilizzo della pista di atletica, è possibile andare a fare nuovamente un'analisi energetica per valutare l'energia consumata totale e il costo annuo dell'energia.

Tabella 4.71. Valutazione energetica con lampade a tecnologia LED – illuminazione pista di atletica nelle diverse condizioni di funzionamento

E_m richiesto [lux]	Lampada	Ore di funzionamento annuo [h]	Potenza [W]	Energia Consumata [kWh/anno]	Totale Pezzi	Energia Consumata Totale [kWh/anno]	Costo Annuo Energia [€]
50	LED Cree XPG-3	640	832	532.48	12	6389.76	958.46
75	LED Cree XPG-3	160	832	133.12	16	2129.92	319.48

Sommando l'energia totale consumata nelle due diverse condizioni di funzionamento si trova che l'energia totale consumata in un anno è pari a **8.519,68 kWh/anno** con un costo di **1.277,94 €**.

Si può quindi notare che, grazie ai comandi per la selezione della condizione di funzionamento più adatta al tipo di impegno sportivo da svolgere (ottenibile anche con la dimmerazione dei LED), è possibile risparmiare circa il **20%** dell'energia totale consumata in un anno.

C) CONFRONTO TRA I RISULTATI DELLE ANALISI ENERGETICHE EFFETTUATE

Confrontando i risultati ottenuti nelle due varianti, per l'illuminazione del campo da calcio con illuminamento medio **150 lux**, si nota subito che il consumo energetico annuo risulta notevolmente inferiore se fosse possibile installare i proiettori *Titan EVO – 4S* con sorgente luminosa da 800W costituita da 168 LED. Nella tabella che segue è possibile confrontare i due diversi consumi:

Tabella 4.72. Confronto consumi energetici nelle due varianti – illuminazione campo da calcio con E_m pari a 150 lux

Lampada	Energia Consumata Totale [kWh/anno]	Costo Annuo Energia [€]
HIT-DE-MF (OS)	69760	10464
LED Cree XPG-3	39936	5990.4

Si nota che, se i proiettori con lampada a tecnologia LED rispettassero la legge regionale n.17 e fosse quindi possibile installarli per illuminare l'impianto sportivo oggetto di questo elaborato, si riuscirebbe a risparmiare circa il **43%** dell'energia che invece si va a consumare realizzando un'illuminazione con proiettori che montano lampada a ioduri metallici.

Tale risparmio è ancora maggiore se si confrontano i risultati ottenuti nelle due varianti, per l'illuminazione del campo da calcio con illuminamento medio variabile (**75 lux, 100 lux e 150 lux**) in base alle condizioni di funzionamento.

Tabella 4.73. Confronto consumi energetici nelle due varianti – illuminazione campo da calcio nelle diverse condizioni di funzionamento

Lampada	Energia Consumata Totale [kWh/anno]	Costo Annuo Energia [€]
HIT-DE-MF (OS)	47088	7063.2
LED Cree XPG-3	25625.6	3843.84

Si nota che, con la gestione ottimizzata delle condizioni di funzionamento, con un'illuminazione a tecnologia LED sarebbe possibile risparmiare circa il **46%** dell'energia totale consumata in un anno rispetto all'illuminazione ottenuta con lampade a ioduri metallici. Considerazioni analoghe possono ovviamente essere fatte anche per l'illuminazione della pista di atletica. Nelle tabelle che seguono è possibile confrontare i diversi consumi di energia elettrica nelle due varianti:

Tabella 4.74. *Confronto consumi energetici nelle due varianti – illuminazione pista di atletica con E_m pari a 75 lux*

Lampada	Energia Consumata Totale [kWh/anno]	Costo Annuo Energia [€]
HIT-DE-MF (OS)	20928	3139.2
LED Cree XPG-3	10649.6	1597.44

Dalla tabella qui sopra si nota addirittura che, illuminando la pista di atletica con proiettori a tecnologia LED, si riuscirebbe a consumare la metà dell'energia elettrica consumata sfruttando invece proiettori con lampade a ioduri metallici (risparmio di circa il **49%**).

Tabella 4.75. *Confronto consumi energetici nelle due varianti – illuminazione pista di atletica nelle diverse condizioni di funzionamento*

Lampada	Energia Consumata Totale [kWh/anno]	Costo Annuo Energia [€]
HIT-DE-MF (OS)	15347.2	2302.98
LED Cree XPG-3	8519.68	1277.94

Con la gestione ottimizzata delle condizioni di funzionamento, con un'illuminazione a tecnologia LED sarebbe possibile risparmiare circa il **45%** dell'energia totale consumata in un anno rispetto all'illuminazione ottenuta con lampade a ioduri metallici.

C) TABELLE PAY-BACK

I calcoli riportati nelle seguenti tabelle si riferiscono a **50000 h** di funzionamento (25 anni con funzionamento di 2000 h all'anno). Si sottolinea inoltre che il prezzo del proiettore *Titan EVO* – 4S a tecnologia LED è indicativo.

Tabella 4.76. Pay-back impianto di illuminazione campo sportivo di via Pulliere

Tabella riassuntiva PAY-BACK	HIT-DE-MF (OS)	LED Cree XPG-3
Prezzi proiettori compresi di alimentatori e lampade	1200€ x 28pcs = 33600€	4200€ x 40pcs = 168000€
Relamping (comprensivo di manodopera)	400€ x 28pcs x 24volte = 268800€	non necessario
Prezzo energia impianto nelle diverse condizioni di funzionamento	62435.2kWh/anno x 0.15€ x 25anni = 234132€	34145.28kWh/anno x 0.15€ x 25anni = 128044.8€
TOTALE COSTO IMPIANTO PER 50000h	536532€	296044.8€

Dalla tabella risulta evidente che, nonostante l'investimento iniziale per l'ipotetico acquisto di proiettori *Titan EVO – 4S* a tecnologia LED sia esattamente **5 volte** più grande rispetto a quello che si andrebbe a spendere per l'acquisto di proiettori *Champion* con lampade a ioduri metallici, il costo totale dell'impianto dopo 25 anni di funzionamento risulta nettamente più basso sfruttando la tecnologia LED piuttosto che la "collaudata" illuminazione a ioduri metallici. Se si confrontano i due costi totali, **536.532,00 €** con lampade HIT-DE-MF (OS) e **296.044,80 €** con lampade a LED Cree XPG-3, si nota che con la soluzione a LED si andrebbe a spendere circa il **45%** in meno.

4.7 Valutazione dei flussi dispersi nelle due varianti

Nonostante sia già stato specificato che non è possibile illuminare l'impianto sportivo di via Pulliere con proiettori *Titan EVO – 4S* a tecnologia LED, in quanto per raggiungere i livelli di illuminamento richiesti è necessario installarli non perfettamente orizzontali al piano del terreno (non conformità alla legge regionale n.17), risulta comunque particolarmente interessante confrontare i flussi luminosi, diretti e indiretti, emessi dalle due tipologie di proiettori descritti in questo elaborato.

Per la valutazione dei flussi dispersi si sono realizzate delle particolari simulazioni illuminotecniche, effettuate ancora una volta con l'ausilio del software DIALux.

Le simulazioni fanno riferimento al solo campo da calcio perché, come valutato ancora una volta con il supporto dell'Unità Operativa Fisica Ambientale dell'ARPAV di Padova, i risultati ottenuti sono più significativi rispetto a quelli che si sarebbero potuti ottenere riferendosi alla pista di atletica.

Prima di confrontare i risultati ottenuti, vale la pena descrivere come si è operato per ottenere tali risultati.

Innanzitutto è stato ipotizzato che il campo da calcio sia contenuto all'interno di un "Locale" alto 33,5 m, lungo 172,5 m e largo 120 m. Lunghezza e larghezza sono ovviamente state scelte in base alla collocazione del muro perimetrale dell'impianto sportivo (supposto rettangolare anche se nella realtà è simile ad un'ellisse), mentre l'altezza del "Locale" è stata scelta, considerando anche che i proiettori sono installati su torri faro alte 25 m, per poter valutare al meglio il flusso disperso per angoli piccoli al di sopra dei proiettori stessi.

L'emissione verso l'alto, ad angoli piccoli, è in assoluto l'emissione luminosa maggiormente inquinante. Come si può vedere nella figura che segue, considerando la linea di orizzonte che si ricorda è a 90° (linea rossa orizzontale con il proiettore), scegliendo un'altezza del "Locale" pari a 33,5 m, è stato possibile valutare l'emissione verso l'alto nella porzione compresa tra i 90° e i 110° ($90^\circ+20^\circ$) e cioè per quella porzione degli angoli bassi sull'orizzonte che sono i più critici quando si valuta l'inquinamento luminoso.

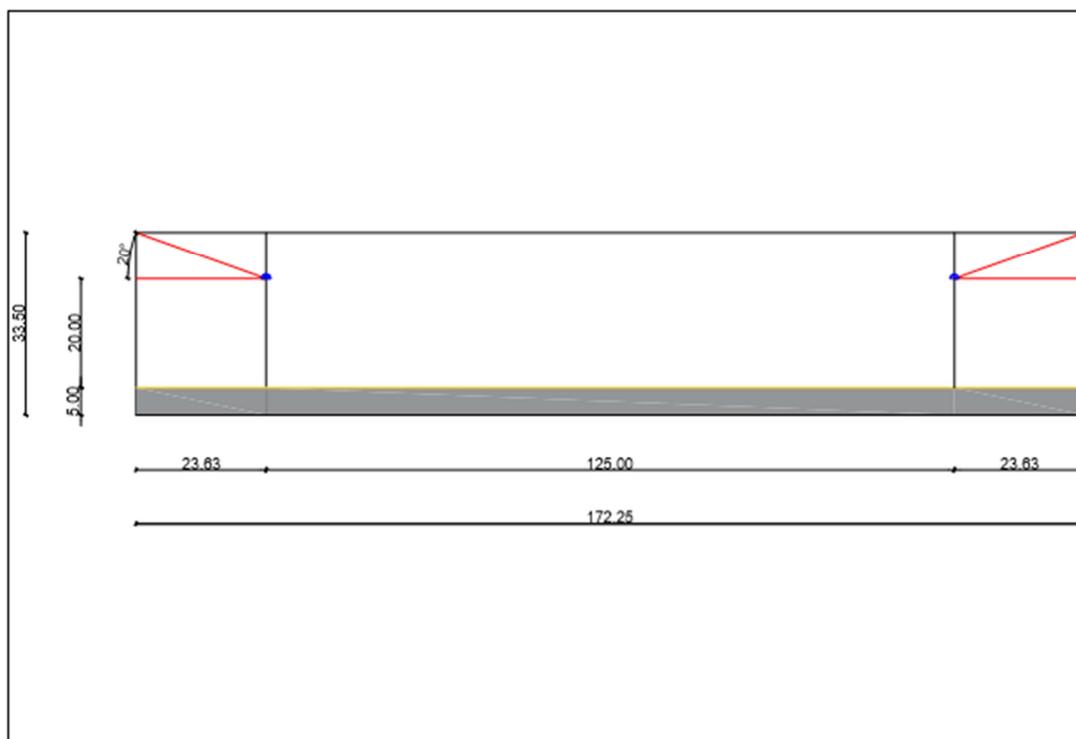


Figura 4.47. Vista laterale del "Locale" che mette in luce le dimensioni ed evidenzia la porzione degli angoli compresi tra i 90° e 110°

Si è scelto di inserire il campo da calcio all'interno del "Locale" sopra descritto perché con DIALux è l'unica maniera possibile per riuscire a valutare gli illuminamenti diretti e indiretti, dai quali poi è possibile ottenere i flussi dispersi. Sarebbe stato più intuitivo valutare i flussi dispersi attraverso l'utilizzo di "Superfici di calcolo", ma così procedendo non si sarebbe riusciti a distinguere quelli diretti da quelli indiretti.

Per rendere il risultato della simulazione il più preciso possibile si è andati a modificare il “Fattore di correzione” della lampada, portandolo dal valore di default pari a 1 al valore progettuale di 1000, come si può vedere dalla figura che segue:

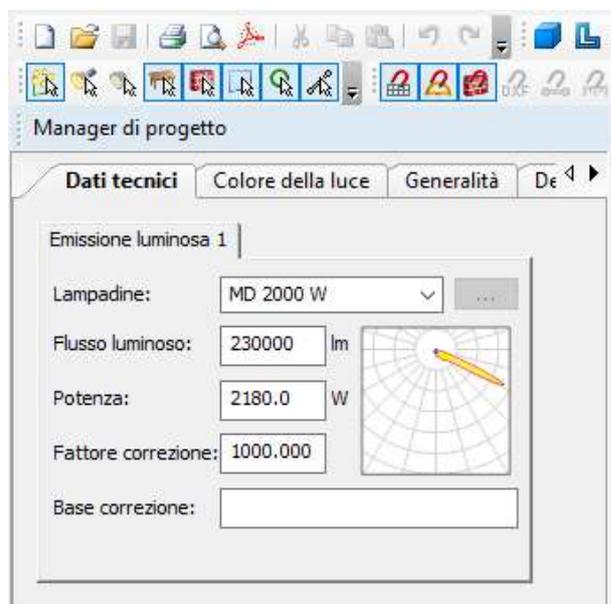


Figura 4.48. Dettaglio dei dati tecnici della sorgente luminosa con il “Fattore di correzione” posto pari a 1000

Tornando adesso al “Locale”, il materiale scelto per il pavimento è ovviamente l’Erba, caratterizzata da un coefficiente di riflessione 0,29, mentre per le quattro pareti e il soffitto si è scelto come materiale il Cielo Stellato, caratterizzato ovviamente da un coefficiente di riflessione pari a 0,00.

La simulazione non vuole valutare soltanto i flussi dispersi, diretti e indiretti, sulle quattro pareti laterali e sul soffitto, ma per quanto riguarda le pareti si vuole anche distinguere i flussi dispersi sopra e sotto l’altezza di installo dei proiettori che, si ricorda, sono installati a 25 m rispetto al livello del campo da calcio.

Per poter realizzare questa distinzione si sono sfruttati gli “Elementi del locale” già presenti in DIALux e più precisamente le “Colonne rettangolari”.



Figura 4.49. Dettaglio della “Colonna rettangolare” tra i vari “Elementi del locale”

Viene ora spiegato nel dettaglio come vengono sfruttate le varie “Colonne rettangolari” utilizzate con lo scopo di valutare i flussi dispersi sopra e sotto l’altezza di installo dei proiettori:

1. Come si può vedere dalla foto qui sotto, attorno al campo da calcio è presente un terrapieno sopra il quale è stato costruito il muro perimetrale dell’impianto sportivo.



Figura 4.50. Foto che mostra nel dettaglio il terrapieno con il muro perimetrale dell’impianto sportivo di Santa Giustina

Il dislivello, tra il campo da calcio e l’altezza del muro perimetrale, è di 5 m. Ecco quindi che sono state inserite quattro “Colonne rettangolari”, una per ciascuna parete laterale, alte appunto 5 m. Due di queste “Colonne rettangolari” sono lunghe 172,5 m, mentre le altre due sono lunghe 120 m.

Queste quattro “Colonne rettangolari” sono presenti in entrambe le simulazioni, sia quando si andranno a calcolare i flussi dispersi sotto l’altezza di installo dei proiettori, sia quando la stessa valutazione verrà fatta sopra l’altezza dei proiettori. Per semplicità di trattazione, queste “Colonne rettangolari” sono state considerate in Blocchi di cemento venato, caratterizzate da un coefficiente di riflessione pari a 0,42.

2. Si consideri ora di voler valutare, per ciascuna delle quattro superfici laterali, i flussi dispersi al di sotto dell’altezza di installo dei proiettori. Si considera quindi il tratto compreso tra un’altezza di 5 m (altezza delle “Colonne Rettangolari” di cui al punto 1.) e

un'altezza di 25 m (altezza delle torri faro). Per fare ciò è necessario quindi inserire quattro nuove "Colonne rettangolari", come sempre una per ognuna delle pareti laterali, che questa volta, pur avendo le stesse lunghezze viste al punto 1, saranno caratterizzate da un'altezza di 8,5 m. Quest'ultima è ottenuta dalla differenza tra l'altezza del "Locale", pari a 33,5 m e l'altezza di installo dei proiettori, pari a 25 m. Risulta quindi chiaro, come è poi verificabile nella figura che segue, che queste quattro nuove "Colonne rettangolari" sono ipoteticamente realizzate tra i 25 m, altezza dei proiettori e i 33,5 m del soffitto.

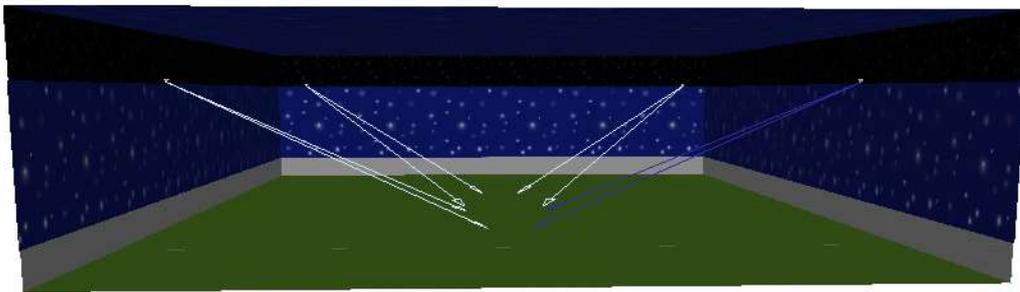


Figura 4.51. "Locale" predisposto per la valutazione dei flussi dispersi sotto l'altezza di installo dei proiettori

Dalla figura si può notare, in basso, le "Colonne rettangolari" che rappresentano il terrapieno e il muro perimetrale, caratterizzate dal colore grigio, mentre in alto si possono vedere, caratterizzate questa volta dal colore blu scuro, le "Colonne rettangolari" costruite tra l'altezza di installo dei proiettori e il soffitto. Questa configurazione permette quindi di valutare i flussi dispersi, diretti e indiretti, nelle aree di interesse e quindi nelle quattro pareti laterali tra i 5 m e i 25 m. Va infine specificato, affinché la presenza delle quattro nuove "Colonne rettangolari" costruite tra l'altezza di installo dei proiettori e il soffitto non vadano ad influenzare i risultati illuminotecnici della simulazione, che per queste colonne si è scelto un coefficiente di riflessione pari a 0,00 (coefficiente di riflessione del cielo).

3. Per la valutazione dei flussi dispersi al di sopra dell'altezza di installo dei proiettori, il modo di procedere è analogo. In questo caso, ovviamente, il tratto di interesse è quello compreso tra un'altezza di 25 m (altezza delle torri faro) e un'altezza di 33,5 m (altezza del "Locale"). Per poter fare questa valutazione si rende necessario considerare ulteriori quattro nuove "Colonne rettangolari", una per ognuna delle pareti laterali: queste "Colonne rettangolari" saranno caratterizzate da un'altezza di 20 m e avranno le lunghezze pari a quelle delle pareti del "Locale". Anche qui, come è possibile verificare nella figura che segue, queste ulteriori quattro nuove "Colonne rettangolari" sono ipoteticamente realizzate tra i 5 m, altezza massima del muro perimetrale e i 25 m, altezza dei proiettori.

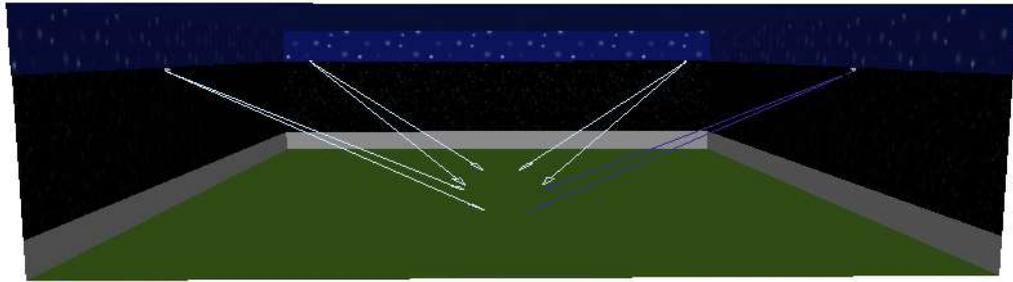


Figura 4.52. “Locale” predisposto per la valutazione dei flussi dispersi sopra l’altezza di installo dei proiettori

Anche nella figura 4.52 si può notare, in basso, le “Colonne rettangolari” che rappresentano il terrapieno e il muro perimetrale, caratterizzate dal colore grigio, mentre appena sopra si possono vedere, caratterizzate ancora una volta dal colore blu scuro, le “Colonne rettangolari” costruite al di sotto dell’altezza di installo dei proiettori. Questa configurazione permette quindi di valutare i flussi dispersi, diretti e indiretti, nelle aree di interesse e quindi nelle quattro pareti laterali tra i 25 m e i 33,5 m. Va infine specificato, affinché la presenza delle quattro ulteriori nuove “Colonne rettangolari” costruite tra l’altezza del muro perimetrale e l’altezza di installo dei proiettori non vadano ad influenzare i risultati illuminotecnici della simulazione, che anche per queste colonne si è scelto un coefficiente di riflessione pari a 0,00 (coefficiente di riflessione del cielo).

4. Per quanto riguarda le diverse disposizioni dei proiettori all’interno del “Locale”, quest’ultime sono rimaste ovviamente identiche a quelle viste nel § 4.4 (simulazioni effettuate con i proiettori *Champion* con lampade a ioduri metallici) e nel § 4.5 (simulazioni effettuate con i proiettori *Titan EVO – 4S* a tecnologia LED). La lista delle coordinate dei proiettori e dei loro punti di proiezione sono riportate nelle tabelle 4.22 e 4.43.

Dopo aver quindi specificato come, in DIALux, è stato costruito il “Locale” per effettuare le varie simulazioni utili alla valutazione dei flussi dispersi, diretti e indiretti, sotto e sopra l’altezza di installo dei proiettori, è possibile iniziare ad analizzare i risultati ottenuti. Si sottolinea che i vari flussi dispersi verranno valutati, ovviamente, per entrambe le varianti (ioduri metallici e tecnologia LED) e anche per le varie configurazioni di illuminamento medio: 75 lux, 100 lux e 150 lux.

Le prime simulazioni che si prendono in considerazione sono quelle che permettono di valutare i flussi luminosi delle pareti laterali sotto l’altezza di installo dei proiettori. Si ricorda che il software DIALux non fornisce direttamente i valori di flusso luminoso, bensì quelli di illuminamento diretto e indiretto sulle varie superfici del “Locale”. Quindi, gli illuminamenti che si otterranno dalle varie simulazioni, ricordando che per rendere più preciso il calcolo il “Fattore di correzione” della lampada è stato posto pari a 1000, dovranno prima essere divisi

proprio per 1000 (quindi ritornare alla condizione di default con “Fattore di correzione” pari a 1) e successivamente moltiplicati per le varie aree di valutazione poste sulle pareti laterali e sul soffitto del “Locale” stesso.

Questo perché, come da definizione, il flusso luminoso ricevuto da una superficie (Φ), unità di misura il lumen, è dato dal prodotto tra l’illuminamento (E), espresso in lux e l’area di tale superficie (A), espressa in m²:

$$\Phi = E * A \quad (4.1)$$

Le figure che seguono vogliono dimostrare la corretta costruzione del “Locale” al fine della valutazione precisa dell’illuminamento nell’area compresa tra i 5 metri (altezza del terrapieno e del muro perimetrale) e i 25 m (altezza di installo dei proiettori).

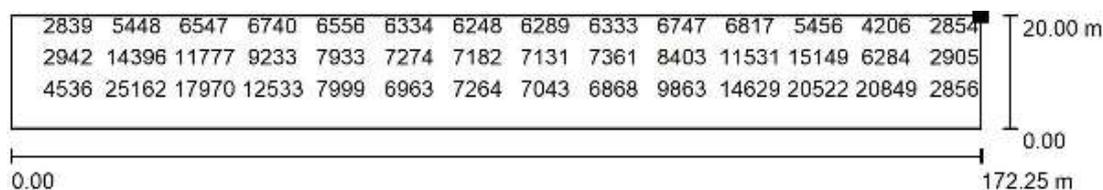


Figura 4.53. Illuminamenti calcolati, con “Fattore di correzione” pari a 1000, nelle pareti lunghe 172,25 m e alte 20 m (tra i 5m e i 25 m) – simulazione con lampade a ioduri metallici E_m pari a 75 lux

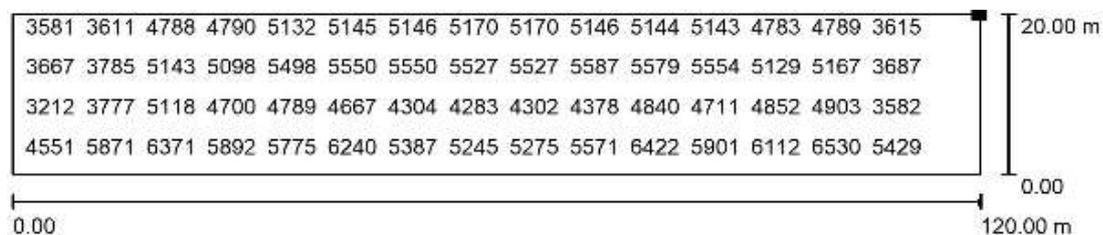


Figura 4.54. Illuminamenti calcolati, con “Fattore di correzione” pari a 1000, nelle pareti lunghe 120 m e alte 20 m (tra i 5m e i 25 m) – simulazione con lampade a ioduri metallici E_m pari a 75 lux

Nelle tabelle che seguono vengono riportati gli illuminamenti medi (diretti, indiretti e totali), calcolati sulle pareti laterali del “Locale” e quindi anche sul soffitto per le varie configurazioni (75 lux, 100 lux e 150 lux). Gli illuminamenti medi sul soffitto saranno poi calcolati anche con le simulazioni effettuate per valutare i flussi luminosi delle pareti laterali sopra l’altezza di installo dei proiettori. Nella prima tabella si possono apprezzare i risultati ottenuti, per le tre configurazioni, con l’illuminazione effettuata attraverso l’utilizzo dei proiettori *Champion* con lampade a ioduri metallici da 2000W, mentre nella seconda tabella vengono riportati, sempre per le tre configurazioni, i risultati ottenuti illuminando l’impianto con i proiettori *Titan EVO – 4S* a tecnologia LED da 800W. In entrambe le tabelle, i valori di illuminamento medio sono quelli ottenuti con il “Fattore di correzione” pari a 1000.

Tabella 4.77. Valori di illuminamento, con “Fattore di correzione” pari a 1000, calcolati nelle quattro pareti laterali (aree comprese tra i 5m e i 25m) e nel soffitto – simulazioni con proiettori Champion con lampade a ioduri metallici da 2000W

Illuminamenti SOTTO i proiettori (dai 5 ai 25 m)			
Configurazione 75 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 76 lux)			
Superficie	Illuminamenti medi [lx]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	2,72	10228	10231
Parete 1	4862	4645	9507
Parete 2	1337	3731	5067
Parete 3	4862	4645	9507
Parete 4	1337	3731	5067
Configurazione 100 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 111 lux)			
Superficie	Illuminamenti medi [lx]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	2,72	15280	15283
Parete 1	6877	6816	13693
Parete 2	2034	6110	8145
Parete 3	6877	6816	13693
Parete 4	2034	6110	8145
Configurazione 150 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 150 lux)			
Superficie	Illuminamenti medi [lx]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	5,83	20387	20392
Parete 1	9577	9219	18796
Parete 2	2760	7758	10518
Parete 3	9577	9219	18796
Parete 4	2760	7758	10518

Tabella 4.78. Valori di illuminamento, con “Fattore di correzione” pari a 1000, calcolati nelle quattro pareti laterali (aree comprese tra i 5m e i 25m) e nel soffitto – simulazioni con proiettori Titan EVO – 4S a tecnologia LED da 800W

Illuminamenti SOTTO i proiettori (dai 5 ai 25 m)			
Configurazione 75 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 78 lux)			
Superficie	Illuminamenti medi [lx]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	2365	8518	10883
Parete 1	7896	3345	11240
Parete 2	8313	2477	10790
Parete 3	7896	3345	11240
Parete 4	8313	2477	10790
Configurazione 100 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 109 lux)			
Superficie	Illuminamenti medi [lx]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	3082	11450	14532
Parete 1	11487	4397	15884
Parete 2	9510	3254	12764
Parete 3	11487	4397	15844
Parete 4	9510	3254	12764
Configurazione 150 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 152 lux)			
Superficie	Illuminamenti medi [lx]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	4646	16888	21534
Parete 1	18516	6479	24995
Parete 2	14804	5278	20082
Parete 3	18516	6479	24995
Parete 4	14804	5278	20082

Prima di procedere con il calcolo dei flussi dispersi, risulta fondamentale, come già specificato precedentemente, dividere i valori di illuminamento riportati nelle tabelle 4.77 e 4.78 per 1000, in maniera di trovare il reale valore degli illuminamenti stessi (“Fattore di correzione” pari a 1). Tali valori sono visualizzabili nelle tabelle che seguono:

Tabella 4.79. Valori di illuminamento, con “Fattore di correzione” pari a 1, calcolati nelle quattro pareti laterali (aree comprese tra i 5m e i 25m) e nel soffitto – simulazioni con proiettori Champion con lampade a ioduri metallici da 2000W

Illuminamenti SOTTO i proiettori (dai 5 ai 25 m)			
Configurazione 75 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 76 lux)			
Superficie	Illuminamenti medi [lx]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	0,00272	10,228	10,231
Parete 1	4,862	4,645	9,507
Parete 2	1,337	3,731	5,067
Parete 3	4,862	4,645	9,507
Parete 4	1,337	3,731	5,067
Configurazione 100 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 111 lux)			
Superficie	Illuminamenti medi [lx]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	0,00272	15,28	15,283
Parete 1	6,877	6,816	13,693
Parete 2	2,034	6,11	8,145
Parete 3	6,877	6,816	13,693
Parete 4	2,034	6,11	8,145
Configurazione 150 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 150 lux)			
Superficie	Illuminamenti medi [lx]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	0,00583	20,387	20,392
Parete 1	9,577	9,219	18,796
Parete 2	2,76	7,758	10,518
Parete 3	9,577	9,219	18,796
Parete 4	2,76	7,758	10,518

Tabella 4.80. Valori di illuminamento, con “Fattore di correzione” pari a 1, calcolati nelle quattro pareti laterali (aree comprese tra i 5m e i 25m) e nel soffitto – simulazioni con proiettori Titan EVO – 4S a tecnologia LED da 800W

Illuminamenti SOTTO i proiettori (dai 5 ai 25 m)			
Configurazione 75 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 78 lux)			
Superficie	Illuminamenti medi [lx]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	2,365	8,518	10,883
Parete 1	7,896	3,345	11,24
Parete 2	8,313	2,477	10,79
Parete 3	7,896	3,345	11,24
Parete 4	8,313	2,477	10,79
Configurazione 100 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 109 lux)			
Superficie	Illuminamenti medi [lx]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	3,082	11,45	14,532
Parete 1	11,487	4,397	15,884
Parete 2	9,51	3,254	12,764
Parete 3	11,487	4,397	15,844
Parete 4	9,51	3,254	12,764
Configurazione 150 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 152 lux)			
Superficie	Illuminamenti medi [lx]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	4,646	16,888	21,534
Parete 1	18,516	6,479	24,995
Parete 2	14,804	5,278	20,082
Parete 3	18,516	6,479	24,995
Parete 4	14,804	5,278	20,082

Ora si può procedere con il calcolo dei flussi dispersi, ricordando che quest’ultimi sono dati dal prodotto tra gli illuminamenti riportati nelle tabelle 4.79 e 4.80 e le aree delle varie superfici. Nella tabella che segue è possibile vedere le dimensioni e le aree riferite al soffitto e alle pareti laterali. Per quest’ultime, si sottolinea ancora una volta che l’area considerata è quella data dal prodotto della lunghezza delle pareti per un’altezza di 20 m.

Tabella 4.81. Dimensioni e aree del soffitto e delle pareti laterali considerate per questa simulazione

Soffitto		Parete 1 e 3 (tra i 5m e i 25m)		Parete 2 e 4 (tra i 5m e i 25m)	
L [m]	P [m]	L [m]	P [m]	L [m]	P [m]
172,5	120	172,5	20	120	20
Area [m ²]		Area [m ²]		Area [m ²]	
20700		3450		2400	

Si riportano ora i diversi flussi luminosi ottenuti per le tre configurazioni: nella tabella 4.82 è possibile visualizzare i risultati ottenuti con i proiettori *Champion* che montano lampade a ioduri metallici, mentre nella tabella 4.83 quelli ottenuti con i proiettori *Titan EVO – 4S* con lampada a tecnologia LED.

Tabella 4.82. Valori del flusso calcolati nelle quattro pareti laterali (aree comprese tra i 5m e i 25m) e nel soffitto – simulazioni con proiettori Champion con lampade a ioduri metallici da 2000W

Flussi SOTTO i proiettori (dai 5 ai 25 m)			
Configurazione 75 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 76 lux)			
Superficie	Flussi [lumen]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	56,304	211719,6	211781,7
Parete 1	16773,9	16025,25	32799,15
Parete 2	3208,8	8954,4	12160,8
Parete 3	16773,9	16025,25	32799,15
Parete 4	3208,8	8954,4	12160,8
Configurazione 100 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 111 lux)			
Superficie	Flussi [lumen]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	56,304	316296	316358,1
Parete 1	23725,65	23515,2	47240,85
Parete 2	4881,6	14664	19548
Parete 3	23725,65	23515,2	47240,85
Parete 4	4881,6	14664	19548
Configurazione 150 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 150 lux)			
Superficie	Flussi [lumen]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	120,681	422010,9	422114,4
Parete 1	33040,65	31805,55	64846,2
Parete 2	6624	18619,2	25243,2
Parete 3	33040,65	31805,55	64846,2
Parete 4	6624	18619,2	25243,2

Tabella 4.83. Valori del flusso calcolati nelle quattro pareti laterali (aree comprese tra i 5m e i 25m) e nel soffitto – simulazioni con proiettori Titan EVO – 4S a tecnologia LED da 800W

Flussi SOTTO i proiettori (dai 5 ai 25 m)			
Configurazione 75 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 78 lux)			
Superficie	Flussi [lumen]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	48955,5	176322,6	225278,1
Parete 1	27241,2	11540,25	38778
Parete 2	19951,2	5944,8	25896
Parete 3	27241,2	11540,25	38778
Parete 4	19951,2	5944,8	25896
Configurazione 100 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 109 lux)			
Superficie	Flussi [lumen]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	63797,4	237015	300812,4
Parete 1	39630,15	15169,65	54799,8
Parete 2	22824	7809,6	30633,6
Parete 3	39630,15	15169,65	54661,8
Parete 4	22824	7809,6	30633,6
Configurazione 150 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 152 lux)			
Superficie	Flussi [lumen]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	96172,2	349581,6	445753,8
Parete 1	63880,2	22352,55	86232,75
Parete 2	35529,6	12667,2	48196,8
Parete 3	63880,2	22352,55	86232,75
Parete 4	35529,6	12667,2	48196,8

Confrontando i risultati ottenuti, una prima considerazione va fatta sul flusso diretto verso il soffitto. Si prenda come riferimento la configurazione con illuminamento pari a 75 lux: si può notare che il flusso diretto sul soffitto, nella variante con lampade a ioduri metallici, è pari a 56,304 lumen, mentre quello ottenuto nella variante con lampade a tecnologia LED, è addirittura pari a 48955,5 lumen. Nella variante con lampade a tecnologia LED abbiamo

quindi un flusso diretto verso il soffitto che è ben 869 volte più grande di quello che si ottiene nella variante con lampade a ioduri metallici. Se si considera invece la configurazione con illuminamento pari a 100 lux, è possibile verificare che il flusso diretto verso il soffitto nella variante con lampade a tecnologia LED è addirittura 1133 volte più grande di quello ottenuto nell'altra variante. Infine, considerando la configurazione a 150 lux, troviamo che sempre il flusso diretto verso il soffitto nella variante con lampade a tecnologia LED è 797 volte più grande di quello che si ottiene nella variante con lampade a ioduri metallici. Il flusso diretto verso il soffitto, non sfruttato per l'illuminazione del campo da calcio, è ovviamente inquinante e i dati sopra riportati sottolineano bene quanto la soluzione con proiettori *Titan Evo – 4S* con lampade a tecnologia LED, non installate secondo quanto specificato dalla legge regionale n.17, contribuiscano in maniera pesantissima ad aumentare l'inquinamento luminoso rispetto alla soluzione con proiettori *Champion* con lampade a ioduri metallici.

Sempre in riferimento al soffitto, possiamo notare che, nella variante con proiettori *Champion*, il flusso totale calcolato coincide praticamente con il flusso indiretto, in quanto i vari flussi diretti, nelle configurazioni 75 lux, 100 lux e 150 lux, sono rispettivamente pari allo 0,026%, 0,018% e 0,028% del flusso totale. Considerando invece la variante con proiettori *Titan Evo – 4S*, si nota che i flussi totali non differiscono poi molto da quelli ottenuti con l'altra variante, ma quello che differisce è il "peso" dei vari flussi diretti che, nelle configurazioni 75 lux, 100 lux e 150 lux, sono rispettivamente pari al 21,7%, 21,2% e 21,6% del flusso totale. Si può quindi affermare che, mentre nella variante con proiettori *Champion* il "peso" del flusso diretto è sostanzialmente trascurabile nei confronti del flusso totale, nella variante con proiettori *Titan EVO – 4S*, i vari flussi diretti sono circa 1/5 del flusso totale.

Dopo aver valutato i flussi luminosi verso il soffitto, alcune considerazioni possono essere fatte anche per le pareti laterali, ovviamente nel tratto compreso sempre tra un'altezza di 5 m e un'altezza di 25 m. Per quanto riguarda la parete lunga 172,25 m, dai risultati riportati nelle tabelle 4.82 e 4.83, si nota che il flusso luminoso diretto, nelle configurazioni 75 lux e 100 lux, è, nella variante con lampade a ioduri metallici, circa il 40% in meno rispetto a quello risultante con la variante a tecnologia LED. Nella configurazione 150 lux, il flusso diretto ottenuto nella variante con lampade a ioduri metallici è addirittura quasi la metà (48% in meno) di quello risultante nella variante a tecnologia LED. Considerando ora la parete lunga 120 m, i risultati ottenuti sono ancora più significativi in tal senso. Infatti, i flussi diretti risultanti con le simulazioni effettuate con lampade a ioduri metallici, sono, per le configurazioni 75 lux, 100 lux e 150 lux, rispettivamente l'84%, il 79% e l'81% in meno rispetto a quelli ottenuti nella variante con lampade a tecnologia LED.

Concluse le considerazioni sui vari flussi luminosi sotto l'altezza di installazione dei proiettori, che hanno comunque già permesso di valutare anche i flussi sul soffitto (quest'ultimi valutabili in entrambe le simulazioni), si valutano ora le simulazioni che permettono invece di confrontare

i flussi luminosi sopra l'altezza dei proiettori. Il modo di procedere per ottenere i valori di flusso luminoso è ovviamente lo stesso descritto nelle simulazioni viste precedentemente. Anche qui, infatti, gli illuminamenti che si otterranno dalle varie simulazioni dovranno essere divisi per 1000 e successivamente moltiplicati per le varie aree di valutazione poste sulle pareti laterali e sul soffitto del "Locale".

Le figure che seguono vogliono dimostrare ancora una volta la corretta costruzione del "Locale" al fine della valutazione precisa dell'illuminamento nell'area compresa tra i 25 metri (altezza di installo dei proiettori) e i 33,5 m (altezza del "Locale").

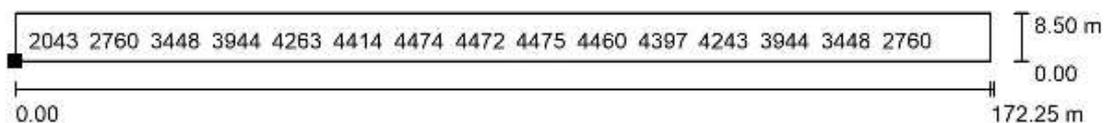


Figura 4.55. Illuminamenti calcolati, con "Fattore di correzione" pari a 1000, nelle pareti lunghe 172,25 m e alte 8,5 m (tra i 25m e i 33,5 m) – simulazione con lampade a ioduri metallici E_m pari a 75 lux

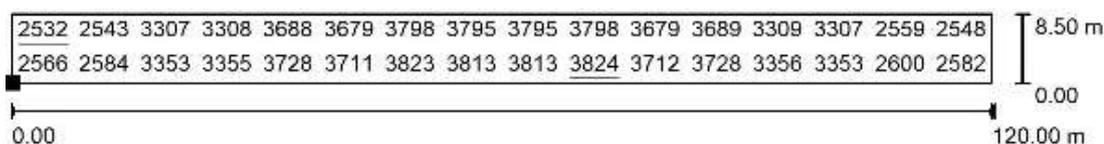


Figura 4.56. Illuminamenti calcolati, con "Fattore di correzione" pari a 1000, nelle pareti lunghe 120 m e alte 8,5 m (tra i 25m e i 33,5 m) – simulazione con lampade a ioduri metallici E_m pari a 75 lux

Nelle tabelle che seguono vengono riportati, come già fatto precedentemente, gli illuminamenti medi (diretti, indiretti e totali), calcolati sulle pareti laterali del "Locale" e anche sul soffitto per le varie configurazioni (75 lux, 100 lux e 150 lux). Nella tabella 4.84 si possono apprezzare i risultati ottenuti, per le tre configurazioni, con l'illuminazione effettuata attraverso l'utilizzo dei proiettori *Champion* con lampade a ioduri metallici da 2000W, mentre nella tabella 4.85 vengono riportati, sempre per le tre configurazioni, i risultati ottenuti illuminando l'impianto con i proiettori *Titan EVO – 4S* a tecnologia LED da 800W. In entrambe le tabelle, i valori di illuminamento medio sono quelli ottenuti con il "Fattore di correzione" pari a 1000.

Tabella 4.84. Valori di illuminamento, con “Fattore di correzione” pari a 1000, calcolati nelle quattro pareti laterali (aree comprese tra i 25m e i 33,5m) e nel soffitto – simulazioni con proiettori Champion con lampade a ioduri metallici da 2000W

Illuminamenti SOPRA i proiettori (dai 25 ai 33,5 m)			
Configurazione 75 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 76 lux)			
Superficie	Illuminamenti medi [lx]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	2,72	10195	10198
Parete 1	85	3616	3701
Parete 2	86	3265	3351
Parete 3	85	3616	3701
Parete 4	86	3265	3351
Configurazione 100 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 111 lux)			
Superficie	Illuminamenti medi [lx]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	2,72	15233	15236
Parete 1	83	5368	5451
Parete 2	86	5174	5260
Parete 3	83	5368	5451
Parete 4	86	5174	5260
Configurazione 150 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 150 lux)			
Superficie	Illuminamenti medi [lx]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	5,83	20323	20329
Parete 1	170	7203	7373
Parete 2	175	6679	6854
Parete 3	170	7203	7373
Parete 4	175	6679	6854

Tabella 4.85. Valori di illuminamento, con “Fattore di correzione” pari a 1000, calcolati nelle quattro pareti laterali (aree comprese tra i 25m e i 33,5m) e nel soffitto – simulazioni con proiettori Titan EVO – 4S a tecnologia LED da 800W

Illuminamenti SOPRA i proiettori (dai 25 ai 33,5 m)			
Configurazione 75 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 78 lux)			
Superficie	Illuminamenti medi [lx]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	2359	8497	10856
Parete 1	4279	2958	7237
Parete 2	4920	2419	7339
Parete 3	4279	2958	7237
Parete 4	4920	2419	7339
Configurazione 100 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 109 lux)			
Superficie	Illuminamenti medi [lx]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	3075	11421	14496
Parete 1	6121	3940	10061
Parete 2	5688	3220	8908
Parete 3	6121	3940	10061
Parete 4	5688	3220	8908
Configurazione 150 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 152 lux)			
Superficie	Illuminamenti medi [lx]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	4635	16844	21479
Parete 1	9591	5790	15381
Parete 2	8779	4993	13772
Parete 3	9591	5790	15381
Parete 4	8779	4993	13772

Anche qui, prima di procedere con il calcolo dei flussi dispersi, risulta fondamentale, come già specificato precedentemente, dividere i valori di illuminamento riportati nelle tabelle 4.84 e 4.85 per 1000, in maniera di trovare il reale valore degli illuminamenti stessi (“Fattore di correzione” pari a 1). Tali valori sono visualizzabili nelle tabelle che seguono:

Tabella 4.86. Valori di illuminamento, con “Fattore di correzione” pari a 1, calcolati nelle quattro pareti laterali (aree comprese tra i 25m e i 33,5m) e nel soffitto – simulazioni con proiettori Champion con lampade a ioduri metallici da 2000W

Illuminamenti SOPRA i proiettori (dai 25 ai 33,5 m)			
Configurazione 75 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 76 lux)			
Superficie	Illuminamenti medi [lx]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	0,00272	10,195	10,198
Parete 1	0,085	3,616	3,701
Parete 2	0,086	3,265	3,351
Parete 3	0,085	3,616	3,701
Parete 4	0,086	3,265	3,351
Configurazione 100 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 111 lux)			
Superficie	Illuminamenti medi [lx]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	0,00272	15,233	15,236
Parete 1	0,083	5,368	5,451
Parete 2	0,086	5,174	5,26
Parete 3	0,083	5,368	5,451
Parete 4	0,086	5,174	5,26
Configurazione 150 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 150 lux)			
Superficie	Illuminamenti medi [lx]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	0,00583	20,323	20,329
Parete 1	0,17	7,203	7,373
Parete 2	0,175	6,679	6,854
Parete 3	0,17	7,203	7,373
Parete 4	0,175	6,679	6,854

Tabella 4.87. Valori di illuminamento, con “Fattore di correzione” pari a 1, calcolati nelle quattro pareti laterali (aree comprese tra i 25m e i 33,5m) e nel soffitto – simulazioni con proiettori Titan EVO – 4S a tecnologia LED da 800W

Illuminamenti SOPRA i proiettori (dai 25 ai 33,5 m)			
Configurazione 75 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 78 lux)			
Superficie	Illuminamenti medi [lx]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	2,359	8,497	10,856
Parete 1	4,279	2,958	7,237
Parete 2	4,92	2,419	7,339
Parete 3	4,279	2,958	7,237
Parete 4	4,92	2,419	7,339
Configurazione 100 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 109 lux)			
Superficie	Illuminamenti medi [lx]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	3,075	11,421	14,496
Parete 1	6,121	3,94	10,061
Parete 2	5,688	3,22	8,908
Parete 3	6,121	3,94	10,061
Parete 4	5,688	3,22	8,908
Configurazione 150 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 152 lux)			
Superficie	Illuminamenti medi [lx]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	4,635	16,844	21,479
Parete 1	9,591	5,79	15,381
Parete 2	8,779	4,993	13,772
Parete 3	9,591	5,79	15,381
Parete 4	8,779	4,993	13,772

Ora si può procedere con il calcolo dei flussi dispersi, ricordando ancora una volta che quest’ultimi sono dati dal prodotto tra gli illuminamenti riportati nelle tabelle 4.86 e 4.87 e le aree delle varie superfici. Nella tabella che segue è possibile vedere le dimensioni e le aree riferite al soffitto e alle pareti laterali. Per quest’ultime, si sottolinea che l’area considerata è quella data dal prodotto della lunghezza delle pareti per un’altezza di 8,5 m.

Tabella 4.88. Dimensioni e aree del soffitto e delle pareti laterali considerate per questa simulazione

Soffitto		Parete 1 e 3 (tra i 25m e i 33,5m)		Parete 2 e 4 (tra i 25m e i 33,5m)	
L [m]	P [m]	L [m]	P [m]	L [m]	P [m]
172,5	120	172,5	8,5	120	8,5
Area [m ²]		Area [m ²]		Area [m ²]	
20700		1466,25		1020	

Si riportano ora i diversi flussi luminosi ottenuti per le tre configurazioni: nella tabella 4.89 è possibile visualizzare i risultati ottenuti con i proiettori *Champion* che montano lampade a ioduri metallici, mentre nella tabella 4.90 quelli ottenuti con i proiettori *Titan EVO – 4S* con lampada a tecnologia LED.

Tabella 4.89. Valori del flusso calcolati nelle quattro pareti laterali (aree comprese tra i 25m e i 33,5m) e nel soffitto – simulazioni con proiettori Champion con lampade a ioduri metallici da 2000W

Flussi SOPRA i proiettori (dai 25 ai 33,5 m)			
Configurazione 75 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 76 lux)			
Superficie	Flussi [lumen]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	56,304	211036,5	211098,6
Parete 1	124,63125	5301,96	5426,59125
Parete 2	87,72	3330,3	3418,02
Parete 3	124,63125	5301,96	5426,59125
Parete 4	87,72	3330,3	3418,02
Configurazione 100 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 111 lux)			
Superficie	Flussi [lumen]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	56,304	315323,1	315385,2
Parete 1	121,69875	7870,83	7992,52875
Parete 2	87,72	5277,48	5365,2
Parete 3	121,69875	7870,83	7992,52875
Parete 4	87,72	5277,48	5365,2
Configurazione 150 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 150 lux)			
Superficie	Flussi [lumen]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	120,681	420686,1	420810,3
Parete 1	249,2625	10561,39875	10810,66125
Parete 2	178,5	6812,58	6991,08
Parete 3	249,2625	10561,39875	10810,66125
Parete 4	178,5	6812,58	6991,08

Tabella 4.90. Valori del flusso calcolati nelle quattro pareti laterali (aree comprese tra i 25m e i 33,5m) e nel soffitto – simulazioni con proiettori Titan EVO – 4S a tecnologia LED da 800W

Flussi SOPRA i proiettori (dai 25 ai 33,5 m)			
Configurazione 75 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 78 lux)			
Superficie	Flussi [lumen]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	48831,3	175887,9	224719,2
Parete 1	6274,08375	4337,1675	10611,25125
Parete 2	5018,4	2467,38	7485,78
Parete 3	6274,08375	4337,1675	10611,25125
Parete 4	5018,4	2467,38	7485,78
Configurazione 100 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 109 lux)			
Superficie	Flussi [lumen]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	63652,5	236414,7	300067,2
Parete 1	8974,91625	5777,025	14751,94125
Parete 2	5801,76	3284,4	9086,16
Parete 3	8974,91625	5777,025	14751,94125
Parete 4	5801,76	3284,4	9086,16
Configurazione 150 lux – (valore ottenuto dalla simulazione 152 lux)			
Superficie	Flussi [lumen]		
	diretto	indiretto	totale
Soffitto	95944,5	348670,8	444615,3
Parete 1	14062,80375	8489,5875	22552,39125
Parete 2	8954,58	5092,86	14047,44
Parete 3	14062,80375	8489,5875	22552,39125
Parete 4	8954,58	5092,86	14047,44

In questo caso i flussi diretti verso il soffitto, visualizzabili nelle tabelle 4.89 e 4.90, sono, come del resto era ovvio attendersi, sostanzialmente in linea a quelli risultanti nelle simulazioni precedenti. Non è quindi necessario aggiungere alcuna considerazione oltre a quelle già precedentemente elencate.

Risulta invece molto importante soffermarsi sui valori dei flussi verso le pareti laterali, ovviamente nel tratto compreso tra un'altezza di 25 m e un'altezza di 33,5 m perché, come è già stato specificato nella parte iniziale di questo paragrafo, l'emissione verso l'alto, ad angoli piccoli (tra 90° e 110°), è in assoluto l'emissione luminosa maggiormente inquinante.

Per quanto riguarda la parete lunga 172,25 m, dai risultati riportati nelle tabelle 4.89 e 4.90, si nota che il flusso luminoso totale, nelle tre configurazioni (75 lux, 100 lux e 150 lux) è, nella variante con lampade a ioduri metallici, circa la metà rispetto a quello risultante con la variante a tecnologia LED. Anche per quanto riguarda la parete lunga 120 m, il flusso luminoso totale, nelle tre configurazioni è, sempre nel caso della variante con lampade a ioduri metallici, circa la metà rispetto a quello risultante con la variante a LED. Detto questo, vale la pena soffermarsi anche sul diverso "peso" che ha il flusso diretto, nelle due diverse varianti, nei confronti del flusso totale. Nelle simulazioni con lampade a ioduri metallici, il flusso diretto è mediamente il 2% rispetto al flusso totale, mentre nelle simulazioni con lampade a tecnologia LED, il flusso diretto è mediamente il 60% del flusso totale. Quest'ultime due percentuali riferite ai flussi diretti, 2% del flusso totale nella variante con lampade a ioduri metallici e 60% del flusso totale nella variante con lampade a LED, sottolineano in maniera esplicita quanto l'inquinamento luminoso prodotto dai proiettori *Titan EVO – 4S*, installati non perfettamente orizzontali al terreno, sia palesemente maggiore all'inquinamento prodotto dai proiettori *Champion* che, si può tranquillamente affermare, è praticamente trascurabile. L'ultima considerazione di questo paragrafo, strettamente legata a quanto appena specificato nelle righe sopra, viene fatta per sottolineare che, mediamente, il flusso diretto verso le pareti laterali nel tratto tra i 25m e i 33,5 m, ottenuto nelle varie configurazioni con lampade a LED è 50 volte più grande quello che invece si ottiene nelle varie configurazioni con lampade a ioduri metallici.

Tabella 4.91. Confronto tra i valori del solo flusso diretto verso le pareti laterali nel tratto compreso tra i 25m e i 33,5 m

Configurazione 75 lux			Configurazione 100 lux			Configurazione 150 lux		
Superficie (tra 25 e 33,5 m)	Flusso diretto [lumen]		Superficie (tra 25 e 33,5 m)	Flusso diretto [lumen]		Superficie (tra 25 e 33,5 m)	Flusso diretto [lumen]	
	IODURI	LED		IODURI	LED		IODURI	LED
Parete 1	124,63125	6274,08375	Parete 1	121,69875	8974,91625	Parete 1	249,2625	14062,8038
Parete 2	87,72	5018,4	Parete 2	87,72	5801,76	Parete 2	178,5	8954,58
Parete 3	124,63125	6274,08375	Parete 3	121,69875	8974,91625	Parete 3	249,2625	14062,8038
Parete 4	87,72	5018,4	Parete 4	87,72	5801,76	Parete 4	178,5	8954,58

Capitolo 5

Realizzazione dell'impianto elettrico

Questo capitolo fornisce la descrizione della progettazione dell'impianto elettrico del campo sportivo comunale. Le scelte progettuali descritte in questa sezione seguono quanto specificato nel capitolo 3. La progettazione fa riferimento alla sola illuminazione con i proiettori *Champion* della Thorn (lampade agli ioduri metallici) che rispettano la Legge Regionale n. 17 del 07 agosto 2009.

5.1 Descrizione generale e schema a blocchi dell'impianto

Nella fase realizzativa dell'impianto elettrico, le principali opere previste sono:

- cablaggio ed installazione dei seguenti quadri elettrici:
 - o quadro contenete l'interruttore generale che dovrà essere ubicato in prossimità del gruppo di misura dell'Ente Distributore;
 - o quadro elettrico generale che dovrà essere ubicato preferibilmente all'interno di un fabbricato che sia facilmente accessibile;
 - o 4 quadri che dovranno essere ubicati in corrispondenza delle torri faro;
- realizzazione della linea di alimentazione (montante) del quadro elettrico generale a partire dal quadro contenete l'interruttore generale;
- realizzazione delle linee di alimentazione dei 4 quadri delle torri faro a partire dal quadro elettrico generale;
- realizzazione dell'impianto di terra dimensionato per garantire sia la protezione contro i contatti indiretti, sia la protezione contro gli effetti dei fulmini (la protezione delle torri faro dalla fulminazione diretta si realizza solo se necessaria);
- installazione e collegamento dei proiettori sulle torri faro a piattaforma fissa.

Come verrà descritto nei seguenti paragrafi, il dimensionamento dei vari componenti dell'impianto elettrico non si riferisce alle varie utenze di tutto l'impianto sportivo che, come già è stato specificato nel capitolo 3, è dotato di un suo impianto elettrico a norma, ma solamente all'impianto di illuminazione del campo sportivo principale che sarà completamente autonomo rispetto a quello già esistente.

Nella figura che segue viene riportato lo schema a blocchi dell'impianto d'illuminazione del campo sportivo:

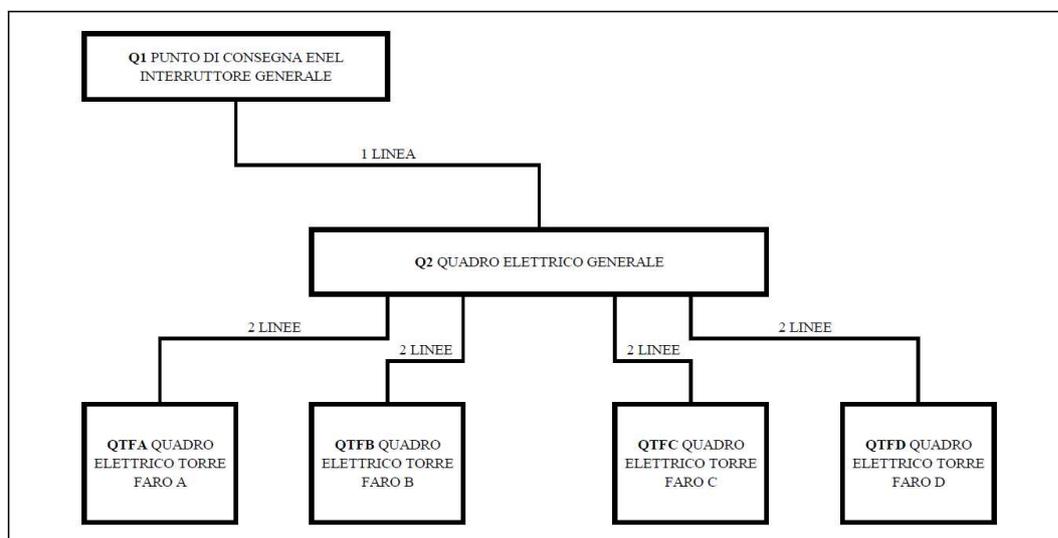


Figura 5.1. Schema a blocchi

Dallo schema a blocchi di figura 5.1. si può già notare come, dal quadro generale, partano 8 linee, 2 per ogni quadro ubicato in corrispondenza delle torri faro. Questa scelta progettuale è stata fatta per rendere il più possibile autonome, ovviamente da un punto di vista elettrico, le due illuminazioni, quella del campo da calcio e quella della pista di atletica.

Nel presente elaborato non viene considerato l'impianto di illuminazione di emergenza che dovrà essere preso in considerazione solamente all'atto della redazione dell'eventuale progetto esecutivo in funzione della specificità dell'impianto considerato.

5.2 Alimentazione elettrica e caratteristiche dell'interruttore generale

L'impianto d'illuminazione del campo sportivo sarà alimentato direttamente da una rete a bassa tensione (sistema I categoria). Come già descritto nel capitolo 3, la rete a bassa tensione sarà caratterizzata da:

- sistema TT;
- alimentazione trifase con neutro 230/400 V;
- frequenza industriale 50 Hz.

La potenza elettrica richiesta per l'alimentazione dell'impianto di illuminazione, che si ricorda essere costituito da un totale di 28 proiettori *Champion*, ognuno dei quali caratterizzato da una potenza di 2180 W, è pari a 61,04 kW. Questa potenza è contenuta al di sotto del limite stabilito

dall'AEEGSI per l'alimentazione in bassa tensione che, come già ricordato nei capitoli precedenti, è fissato a 100 kW.

Il gruppo di misura trifase verrà installato all'interno del magazzino contenete il materiale tecnico per l'allenamento. All'interno di questo magazzino è anche già installato il gruppo di misura dell'impianto elettrico che alimenta le varie utenze dell'impianto sportivo. Il gruppo di misura richiesto all'Ente Distributore avrà una potenza massima di 65 kW. Resta inteso che l'Ente Distributore possa richiedere la variazione dell'ubicazione stabilita per il gruppo di misura: se la nuova ubicazione proposta dal distributore dovesse essere all'esterno del fabbricato, ovvio che si renderà necessaria la posa di un manufatto per contenere il gruppo stesso.

L'interruttore generale **Q1** dell'impianto elettrico verrà installato subito a valle del gruppo di misura. Questo interruttore ha la doppia funzione di proteggere contro le sovracorrenti del montante e contro i contatti indiretti. Si tratta di un interruttore magnetotermico – differenziale. Quest'ultimo verrà installato, così come il gruppo di misura, all'interno del magazzino contenete il materiale tecnico per l'allenamento. Qualora il contatore dovesse essere ubicato all'esterno del fabbricato, l'interruttore generale dovrà essere posto all'interno di un contenitore isolante realizzato in SMC, VTR o materiale termoplastico: tale contenitore dovrà avere un grado di protezione minimo IP54 e dovrà resistere alle varie sollecitazioni meccaniche, elettriche e termiche, ed inoltre agli effetti di un'umidità relativa del 95%.

L'interruttore magnetotermico – differenziale generale dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- corrente nominale **I_n** maggiore della corrente assorbita dall'impianto;
- potere di interruzione maggiore della corrente di cortocircuito presunta **I_{cp}** nel punto di consegna e comunque non inferiore ai 10 kA (la **I_{cp}** va richiesta all'Ente Distributore).

Il modulo differenziale dell'interruttore generale dovrà avere corrente differenziale nominale (**I_{dn}**) e tempo di intervento regolabili; la corrente nominale di tale modulo dovrà essere maggiore o uguale a quella dell'interruttore generale. Sarà inoltre necessario scegliere interruttori differenziali del tipo immunizzati nei confronti delle sovratensioni di origine atmosferica, in maniera tale da evitare interventi intempestivi dello stesso.

Quando si va a calcolare la totale corrente assorbita dall'impianto di illuminazione occorre tenere ben presente che la potenza complessivamente assorbita dall'impianto stesso è data dalla somma della potenza nominale dei proiettori e dalla potenza dissipata dagli ausiliari dei vari corpi illuminanti.

Come specificato dalle linee guida della LND, la potenza impegnata dall'impianto di illuminazione si assume pari alla potenza complessivamente assorbita; si sceglie quindi un fattore di utilizzazione **K_u** e di contemporaneità **K_c** entrambi pari a 1.

Tabella 5.1. Potenze caratteristiche del singolo proiettore Champion della Thorn

POTENZA NOMINALE [W]	POTENZA AUSILIARI [W]	POTENZA TOTALE [W]
2000	180	2180

Tabella 5.2. Potenza complessiva dell'impianto di illuminazione del campo sportivo

POTENZA TOTALE SINGOLO PROIETTORE [W]	NUMERO PROIETTORI	POTENZA COMPLESSIVA IMPIANTO [kW]
2180	28	61.04

5.3 Caratteristiche del quadro elettrico generale

Il quadro elettrico generale **Q2** verrà ubicato all'interno dello spogliatoio dell'arbitro. La scelta di tale posizionamento è stata fatta per rispettare quanto richiesto dalle linee guida della LND. Quest'ultime specificano infatti che il quadro generale deve preferibilmente essere installato in una posizione facilmente accessibile dal personale che si occupa della gestione dell'impianto sportivo e se possibile all'interno del fabbricato contenete gli spogliatoi.

All'interno del quadro elettrico generale saranno contenute e cablate le seguenti apparecchiature fondamentali per il comando e la protezione delle linee di alimentazione dei proiettori:

- 1 sezionatore generale quadripolare **S1** con corrente nominale maggiore o uguale a quella dell'interruttore generale **Q1**;
- 8 interruttori automatici magnetotermici – differenziali, 2 per ognuna delle quattro torri faro; questo perché su ogni torre faro arriveranno 2 linee separate, una per l'alimentazione dei proiettori necessari per il corretto illuminamento del campo da calcio e una per l'alimentazione dei proiettori che andranno invece ad illuminare la pista di atletica. Questi interruttori dovranno avere come minimo un potere di interruzione I_{cn} pari a 6 kA, curva "C" e corrente nominale I_n correlata con la corrente assorbita e con la portata massima dei cavi;
- 1 interruttore automatico magnetotermico – differenziale bipolare a protezione dei circuiti ausiliari caratterizzato da: $I_n = 6$ A; $I_{cn} = 6$ kA; curva "C";
- 1 scaricatore di sovratensioni SPD (*Surge Protective Device*) 3F+N, tipo 1+2 da 25 kA (10/350 μ s), protetto da un fusibile (dispositivo di distacco) gG da 125A; il fusibile gG è un dispositivo di distacco per uso generale con potere d'interruzione a pieno campo, in grado cioè di interrompere tutte le correnti comprese fra il valore minimo

che provoca la fusione dell'elemento fusibile ed il valore corrispondente al potere d'interruzione nominale;

- 3 lampade per la segnalazione presenza rete 230 V con portafusibili;
- morsettiere di ingresso e di uscita.

Il quadro elettrico generale, che si ricorda verrà ubicato all'interno dello spogliatoio dell'arbitro, dovrà avere un grado di protezione minimo IP 52.

5.4 Caratteristiche dei quadri elettrici torri faro

Alla base di ciascuna delle 4 torri faro verranno ubicati i quadri elettrici **QTFA**, **QTFB**, **QTFC** e **QTFD** atti a contenere al loro interno, oltre alle apparecchiature per la protezione e il comando dei singoli proiettori, anche le apparecchiature per l'alimentazione dei proiettori (reattori e condensatori), fatta eccezione per gli accenditori che saranno invece installati in corrispondenza dei singoli proiettori *Champion*.

L'armadio sarà realizzato in SMC, VTR o materiale termoplastico, con un grado di protezione minimo IP 54; questi armadi devono resistere alle varie sollecitazioni meccaniche, elettriche e termiche, ed inoltre agli effetti di un'umidità relativa del 95%.

Considerati i posizionamenti delle 4 torri faro, gli armadi contenenti i 4 quadri elettrici risulteranno non accessibili al pubblico.

Per questi quadri si richiede la segregazione realizzata tramite una controporta trasparente: questa controporta dovrà evitare il contatto diretto con le parti in tensione degli apparati installati all'interno del quadro stesso, a seguito dell'apertura della porta dell'armadio. Oltre a questa segregazione, ne verrà realizzata una seconda che avrà come scopo quello di separare la parte dell'armadio destinata a contenere le apparecchiature per la protezione e il comando dei proiettori, da quella contenente gli apparati di alimentazione. Considerando il calore generato dagli apparati di alimentazione durante il periodo di accensione dei proiettori, l'armadio dovrà essere dotato di idonee prese d'aria che facilitino lo smaltimento del calore stesso.

All'interno dei quadri **QTFA**, **QTFB**, **QTFC** e **QTFD** saranno cablate le seguenti apparecchiature:

- 2 sezionatori generali tripolari **S2** e **S3**, con corrente nominale maggiore della somma delle correnti nominali degli interruttori di protezione e comando dei proiettori o maggiore della corrente nominale dell'interruttore automatico installato a monte; il sezionatore **S2** a monte dei 4 interruttori posti a protezione dei proiettori per l'illuminazione del campo da calcio e il sezionatore **S3** a monte dei 3 interruttori posti a protezione dei proiettori per l'illuminazione della pista di atletica;

- 7 interruttori automatici magnetotermici – differenziali bipolari, 1 per ciascuno dei 7 proiettori; questi interruttori sono utilizzati per la protezione dei proiettori e dei gruppi di alimentazione. Le caratteristiche di questi interruttori sono: $I_{cn} = 6 \text{ kA}$; curva “C”; corrente nominale I_n correlata con la corrente assorbita e con la portata massima dei cavi;
- gruppi di alimentazione dei 7 proiettori;
- 5 contattori **KT** per il comando di inserzione/disinserzione dei proiettori installati sulla torre faro al fine di consentire la selezione delle diverse “configurazioni”: 75, 100 o 150 lux per il campo da calcio e 50 o 75 lux per la pista di atletica. I contattori dovranno essere di categoria AC5-a (categoria di utilizzazione del contattore: accensione e spegnimento lampade a scarica), completi di dispositivo di chiusura manuale e manovrabili esclusivamente fuori tensione. La corrente nominale I_n dei contattori dovrà essere maggiore della somma delle correnti nominali degli interruttori dei vari proiettori, moltiplicata per 0,9.
- morsettiera di ingresso ed uscita.

5.5 Distribuzione principale e linee di alimentazione dei proiettori

La distribuzione principale prevede sia la realizzazione del montante di alimentazione del quadro generale **Q2** a partire dall'interruttore generale **Q1**, sia l'alimentazione dei quadri ubicati alla base delle quattro torri faro **QTFA**, **QTFB**, **QTFC** e **QTFD**.

La linea di alimentazione del quadro generale **Q2** a partire dall'interruttore generale **Q1** e anche le linee di alimentazione dei quadri **QTFA**, **QTFB**, **QTFC** e **QTFD** verranno posate in condutture interrate.

Tutte queste linee di alimentazione saranno realizzate con cavi multipolari per bassa tensione isolati in gomma (G7) con guaina in PVC, caratterizzati dalla seguente designazione CPR: FG16OR16 (ex FG7OR), con Classe di Prestazione $C_{ca} -s3, d1, a3$.

L'alimentazione dei singoli proiettori sarà invece realizzata con cavo tripolare (FF + T) tipo FG16OR16. In questo caso i conduttori saranno posati direttamente in aria all'interno del fusto della torre faro.

Dove si rendesse necessario l'utilizzo di cavi unipolari, come ad esempio per la realizzazione degli ausiliari, il tipo di cavo da impiegare sarà FG16R16 (ex FG7R), con Classe di Prestazione $C_{ca} -s3, d1, a3$, ricordando di contrassegnare il cavo di neutro con nastratura di colore blu.

La sezione del montante è definita considerando la potenza complessiva dell'impianto di illuminazione del campo sportivo con fattore di utilizzazione K_u e di contemporaneità K_c

entrambi pari a 1. Il dimensionamento del montante viene fatto in modo tale da contenere la c.d.t. al valore massimo dell'1%.

Tutti i calcoli di dimensionamento sono eseguiti considerando una c.d.t. massima del 3%.

Nonostante le linee guida della LND non vadano a specificare una profondità minima di posa dei cavidotti, quest'ultimi saranno posati ad una profondità minima di 60 cm, individuabili mediante nastro monitore da posarsi prima della chiusura dello scavo. La larghezza dello scavo sarà di 30 cm per un singolo tubo e verrà aumentata di 10 cm per ogni ulteriore tubo.

Il cavidotto per la posa dei cavi sarà del tipo flessibile a doppia parete per uso interrato, costituito da polietilene ad alta densità, resistente allo schiacciamento a 450 N o 750 N, con parete esterna corrugata ed interno completamente liscio. La tubazione dovrà avere un diametro interno 1,3 volte il fascio circoscritto dei cavi passanti (norma CEI 64-8/5 art. 522.8.1.1).

Lungo la tubazione dovranno essere disposti dei pozzetti di ispezione in calcestruzzo provvisti di chiusini in ghisa, posizionati in corrispondenza delle derivazioni, delle torri porta proiettori, dei cambi di direzione e anche nei tratti rettilinei ad una distanza massima di 30 m. Tali pozzetti di ispezione risultano fondamentali per facilitare la posa dei cavi, per rendere l'impianto sfilabile e accessibile per eventuali riparazioni e/o ampliamenti dello stesso. Se per particolari esigenze i pozzetti dovessero essere posizionati nelle immediate vicinanze delle aree di gioco (campo da calcio e pista di atletica) o comunque in luoghi raggiungibili con facilità dagli atleti, il chiusino dovrà essere interrato ad una profondità di circa 20 cm, in maniera tale da consentire il suo ricoprimento con un adeguato strato di terreno.

Tenendo conto della sezione dei cavi, che come sarà possibile verificare nelle successive pagine di questo paragrafo sono pari a 70 mm² per il montante e a 10 mm², 16 mm², 25 mm² e 35 mm² per le linee di alimentazione dei quadri ubicati alla base delle torri faro, si andranno ad utilizzare pozzetti con dimensioni interne 400x400 mm nei tratti rettilinei e dimensioni interne 500x500 negli angoli e nelle derivazioni di distribuzione.

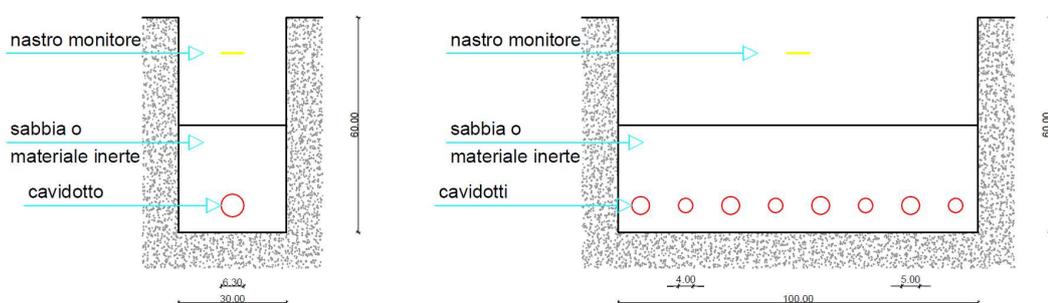


Figura 5.2. Esempio di scavo per la realizzazione del montante e della partenza delle 8 linee dal quadro elettrico generale; cavidotti realizzati con tubo corrugato doppia parete 450N o 750N

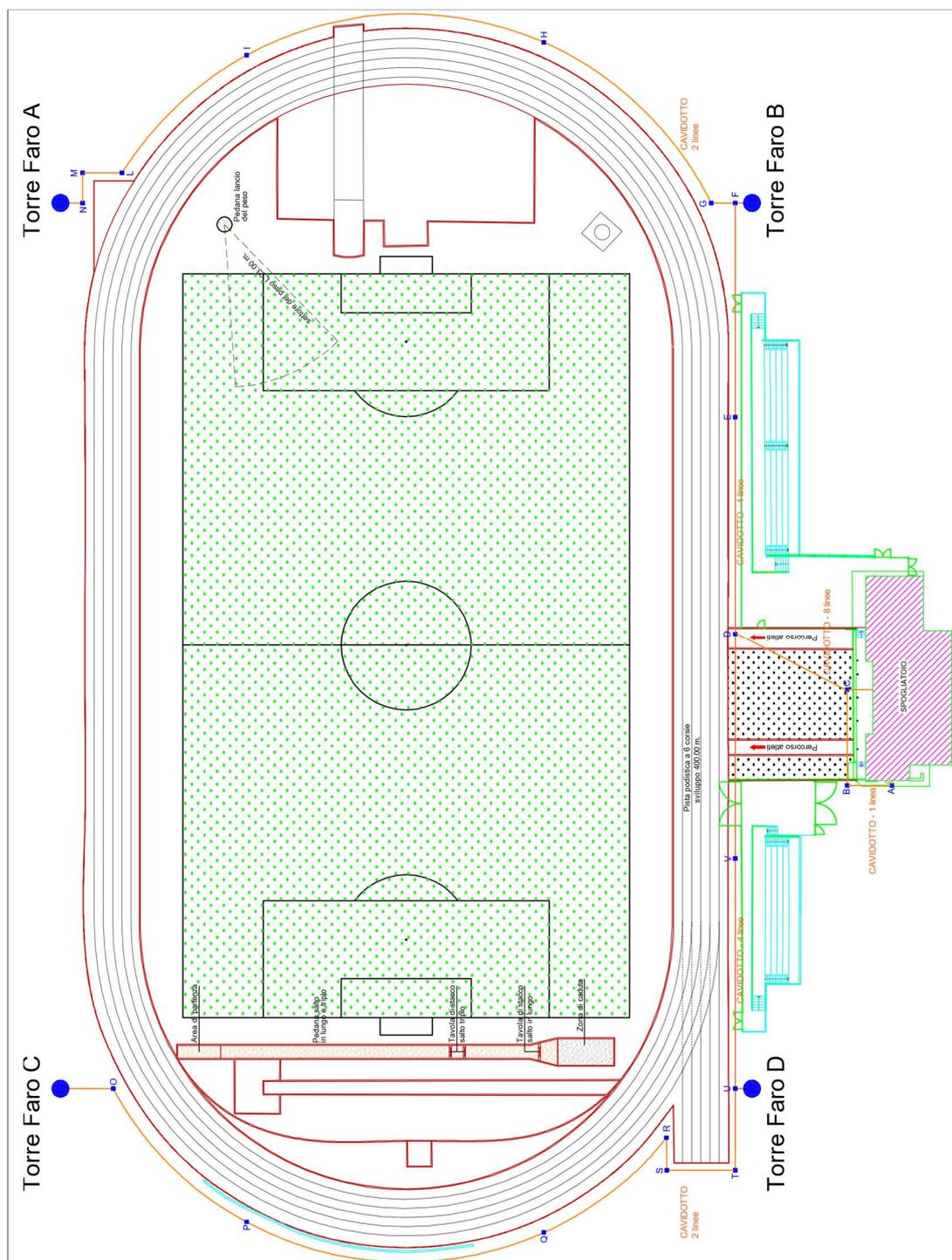


Figura 5.4. Planimetria dell'intero impianto sportivo di via Pulliere con indicazione dei pozzetti di ispezione, dell'andamento del cavidotto e della posizione delle torri faro

Il cavo quadripolare utilizzato per il montante ha un diametro esterno massimo di 37 mm; si opererà quindi per una tubazione con diametro esterno minimo pari a 63 mm. Per quanto riguarda invece le 8 linee che, partendo dal quadro generale, si diramano verso le 4 torri faro, si utilizzano due diverse tubazioni: per le linee con cavo tripolare da 35 mm² (diametro esterno massimo di 27,3 mm) e da 25 mm² (diametro esterno massimo 24,5 mm) si sceglie una tubazione con diametro esterno pari a 50 mm; per quelle con cavo tripolare da 16 mm² (diametro esterno massimo di 20,6 mm) e da 10 mm² (diametro esterno massimo 18,2 mm) si sceglie una tubazione con diametro esterno pari a 40 mm.

Per la determinazione delle sezioni dei conduttori di fase di cavi in rame isolati in materiale elastomerico o termoplastico interrati, si applica il metodo che fa riferimento alla tabella CEI UNEL 35026. Il procedimento è il seguente:

- determinazione del coefficiente correttivo **K_{tot}** come prodotto dei coefficienti **K1**, **K2**, **K3** e **K4**, dove:
 - K1 è il fattore di correzione da applicare se la temperatura del terreno è diversa da 20 °C;
 - K2 è il fattore di correzione per gruppi di più circuiti installati sullo stesso piano. Questo fattore considera la diminuzione di portata di un cavo unipolare o multipolare in tubo interrato, posato sullo stesso piano di altri cavi, per effetto del mutuo riscaldamento tra di essi. Il fattore K2 fa riferimento a cavi posati ad una distanza inferiore a 1 m; superata la distanza di 1 m il fattore K2 è sempre pari a 1. Il fattore K2 si applica quando i cavi del fascio o dello strato hanno sezioni simili, cioè rientranti nelle tre sezioni unificate adiacenti, come ad esempio 10 – 16 – 25 mm² o 50 – 70 – 95 mm². Nel caso di un circuito trifase con n conduttori in parallelo per fase, si considerano n circuiti tripolari;
 - K3 è il fattore di correzione per profondità di interramento diversa dal valore preso come riferimento, pari a 0,8 m;
 - K4 è il fattore di correzione per resistività termica diversa dal valore preso come riferimento, pari a 1,5 K*m/W, cioè terreno secco;
- si divide il valore della corrente nominale **I_n** dell'interruttore magnetotermico – differenziale per il coefficiente correttivo **K_{tot}**, andando così a trovare il valore **I_{n'}**:

$$I_{n'} = \frac{I_n}{K_{tot}} ; \quad (5.1)$$

- in funzione della metodologia tipica di installazione (la norma CEI 64-8 numera le diverse tipologie di posa), del tipo di isolante e del numero di conduttori attivi, è possibile individuare:
 - la portata I_z' che rispetta la condizione $I_z' \geq I_n'$;
 - la corrispondente sezione del conduttore di fase;
- l'effettiva portata della conduttura si ricava come $I_z = I_z' * K_{tot}$.

Il coefficiente K_{tot} caratterizza l'influenza delle diverse tipologie di installazione e si ottiene, come precedentemente specificato, moltiplicando i fattori correttivi **K1**, **K2**, **K3** e **K4** deducibili dalle seguenti tabelle:

Tabella 5.3. Fattore di correzione K1 per cavi posati in terreni con temperatura diversa da 20 °C

temperatura del terreno [°C]	tipo di isolamento	
	PVC	EPR
10	1.1	1.07
15	1.05	1.04
20	1	1
25	0.95	0.96
30	0.89	0.93
35	0.84	0.89
40	0.77	0.85
45	0.71	0.8
50	0.63	0.76
55	0.55	0.71
60	0.45	0.65
65		0.6
70		0.53
75		0.46
80		0.38

Tabella 5.4. Fattore di correzione K_2 per gruppi di più circuiti installati sullo stesso piano

un cavo multipolare per ciascun tubo				
n. circuiti	distanza fra i circuiti [m]			
	a contatto	0.25	0.5	1
2	0.85	0.9	0.95	0.95
3	0.75	0.85	0.9	0.95
4	0.7	0.8	0.85	0.9
5	0.65	0.8	0.85	0.9
6	0.6	0.8	0.8	0.9
un cavo unipolare per ciascun tubo				
n. circuiti	distanza fra i circuiti [m]			
	a contatto	0.25	0.5	1
2	0.8	0.9	0.9	0.95
3	0.7	0.8	0.85	0.9
4	0.65	0.75	0.8	0.9
5	0.6	0.7	0.8	0.9
6	0.6	0.7	0.8	0.9

Tabella 5.5. Fattore di correzione K_3 per profondità di posa diversa da 0,8 m

profondità di posa [m]	0.5	0.8	1	1.2	1.5
fattore di correzione	1.02	1	0.98	0.96	0.94

Tabella 5.6. Fattore di correzione K_4 per resistività termica del terreno diversa da 1,5 K^*m/W

cavi unipolari					
resistività del terreno [K^*m/W]	1	1.2	1.5	2	2.5
fattore di correzione	1.08	1.05	1	0.9	0.82
cavi multipolari					
resistività del terreno [K^*m/W]	1	1.2	1.5	2	2.5
fattore di correzione	1.06	1.04	1	0.91	0.84

Tabella 5.7. Portate relative a cavi interrati posati in tubo

metodologia tipica di installazione	altri tipi di posa della CEI 64-8	tipo di isolamento	numero conduttori attivi	portata [A]													
				sezione [mm ²]													
				1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185
cavi unipolari in tubi interrati a contatto (1 cavo per tubo)		PVC	2	22	29	38	47	63	82	105	127	157	191	225	259	294	330
			3	20	26	34	43	57	74	95	115	141	171	201	231	262	293
		EPR	2	26	34	44	54	73	95	122	148	182	222	261	301	343	385
			3	23	31	40	49	67	85	110	133	163	198	233	268	304	340
cavi unipolari in tubo interrato	61	PVC	2	21	27	36	45	61	78	101	123	153	187	222	256	292	328
			3	18	23	30	38	51	66	86	104	129	158	187	216	246	277
		EPR	2	24	32	41	52	70	91	118	144	178	218	258	298	340	383
			3	21	27	35	44	59	77	100	121	150	184	217	251	287	323
cavi multipolari in tubo interrato	61	PVC	2	19	25	33	41	56	73	94	115	143	175	208	240	273	307
			3	16	21	28	35	47	61	79	97	120	148	175	202	231	259
		EPR	2	23	30	39	49	66	86	111	136	168	207	245	284	324	364
			3	19	25	32	41	55	72	93	114	141	174	206	238	272	306

Nella tabella 5.7. è indicato il numero di conduttori caricati, cioè dei conduttori effettivamente percorsi da corrente in condizioni ordinarie di servizio. Nei circuiti trifase con neutro con carichi equilibrati o lievemente squilibrati, oppure in assenza di armoniche che si richiudono sul conduttore di neutro, la portata di un cavo quadripolare si calcola considerando 3 conduttori caricati.

Nei casi particolari di sistema fortemente squilibrato o in presenza di forti componenti armoniche sul neutro, occorre considerare 4 conduttori caricati; nella tabella 5.7. il numero di conduttori caricati è soltanto 2 o 3, quindi in caso di 4 conduttori caricati si trova la portata relativa a due conduttori e poi si moltiplica questo valore per il fattore di riduzione relativo a 2 circuiti o cavi multipolari.

La tabella 5.7. indica le portate relative a cavi interrati posati all'interno di una tubazione (tipo di posa 61); nel caso di cavi direttamente interrati con o senza protezione meccanica (tipologie di posa 62 e 63), essendo le condizioni di scambio termico più favorevoli rispetto al caso di posa in tubazione, la portata aumenta di un fattore, dipendente dalla tipologia e dalle dimensioni dei cavi, che indicativamente può essere considerato pari a 1,15 (questo fattore va considerato unitamente ai fattori correttivi K1, K2, K3 e K4).

Una volta individuata la sezione dei conduttori di fase, si rende necessaria la verifica della massima caduta di tensione (c.d.t.). Come già specificato, la norma CEI 64-8 raccomanderebbe una c.d.t. massima che, per gli impianti di illuminazione esterna, non deve superare il 5% della tensione nominale, ma per questo progetto si è scelto di non superare il 3%.

Le formule per il calcolo della c.d.t. sono già state elencate e descritte nel § 3.5.

I valori di resistenza e di reattanza dei cavi elettrici in funzione della tipologia di cavo e della sezione, fondamentali per il calcolo della c.d.t., sono ottenibili dalla tabella 5.8. Più specificatamente, nella tabella in questione, si fa riferimento a conduttori in rame con temperatura di riferimento di 80°C e inoltre, i valori della resistenza e della reattanza sono dati per unità di lunghezza e quindi espressi in mΩ/m.

Tabella 5.8. Valori di resistenza e di reattanza specifica dei cavi unificati secondo la Tabella UNEL 35023-70

sezione [mm ²]	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185
cavo unipolare														
r [mΩ/m]	14.8	8.91	5.57	3.71	2.24	1.41	0.889	0.641	0.473	0.328	0.236	0.188	0.153	0.123
x [mΩ/m]	0.168	0.156	0.143	0.135	0.119	0.112	0.106	0.101	0.101	0.0965	0.0975	0.0939	0.0928	0.0908
cavo bipolare, tripolare														
r [mΩ/m]	15.1	9.08	5.68	3.78	2.27	1.43	0.907	0.654	0.483	0.334	0.241	0.191	0.157	0.125
x [mΩ/m]	0.118	0.109	0.101	0.0955	0.0861	0.0817	0.0813	0.0783	0.0779	0.0751	0.0762	0.0740	0.0745	0.0742

Dimensionamento montante

Nella seguente tabella vengono riepilogati i parametri fondamentali, al fine del dimensionamento, del montante e cioè del tratto di linea che alimenta il quadro elettrico generale **Q2** a partire dall'interruttore generale **Q1**.

Tabella 5.9. Parametri per il dimensionamento del montante

PARAMETRO	TIPOLOGIA / VALORE	UNITA' DI MISURA
Sistema	TT	/
Circuito	3F + N	/
Potenza complessiva impianto	61.04	kW
Tensione nominale	400	V
Frequenza	50	Hz
Fattore di potenza	0.9	/
Fattore di utilizzazione	1	/
Fattore di contemporaneità	1	/
Lunghezza della linea	30	m
C.d.t. MAX montante	1%	/

Scelta dell'interruttore automatico magnetotermico – differenziale generale **Q1**:

- calcolo della corrente di impiego **I_b** della conduttura:

$$I_b = \frac{61040}{\sqrt{3} * 400 * 0,9} = 97,89 \text{ A}; \quad (5.2)$$

sarà possibile utilizzare un interruttore **Q1** a 4 poli con corrente nominale **I_n** pari a **125 A** e potere di interruzione **I_{cn}** pari a **10 kA**; **I_{dn} = 0,03 A**;

- determinazione del coefficiente correttivo **K_{tot}**:
 - temperatura del terreno 20°C: **K1 = 1**;
 - 1 circuito: **K2 = 1**;
 - profondità di posa reale 0,6 m; scelgo cautelativamente, per il solo dimensionamento, una profondità di posa pari a 0,8 m: **K3 = 1**;
 - il valore della resistività termica non è noto e quindi, seguendo la norma CEI UNEL 35026, si adotta il valore di 2,0 K*m/W: **K4 = 0,91**;
 - **K_{tot} = 1 * 1 * 1 * 0,91 = 0,91**;
- determinazione della minima portata teorica richiesta alla conduttura:

$$n' = \frac{125}{0,91} = 137,36 \text{ A}; \quad (5.3)$$

- determinazione della sezione del conduttore di fase (tabella 5.7.):
 - isolante: PVC;
 - numero conduttori attivi: 3;
 - materiale conduttore: rame.

La sezione con portata teorica **I_z'** immediatamente superiore alla minima portata teorica **I_n'** è di **70 mm²** (**I_z' = 148 A**), come evidenziato nella tabella 5.7.

- determinazione della portata effettiva della conduttura:
la portata effettiva **I_z** di un cavo da 70 mm² nelle condizioni di posa considerate è pari a:

$$I_z = 148 * 0,91 = 134,68 \text{ A}; \quad (5.4)$$

- dalla tabella 5.8., considerando una sezione del cavo multipolare **S = 70 mm²**, si ha che i valori di resistenza e reattanza specifica per unità di lunghezza sono:
 - **r = 0,334 mΩ/m**;
 - **x = 0,0751 mΩ/m**;

essendo il valore della resistenza riferito ad una temperatura di 80°C, prima di procedere con il calcolo della c.d.t., si rende necessario calcolare il valore della resistenza riferito a 70°C come specificato nella seguente formula:

$$r_{70^\circ} = \frac{234,5 + 70}{234,5 + 80} * r_{80^\circ}; \quad (5.5)$$

nel caso specifico, la resistenza riferita ad una temperatura di 70°C risulta essere:

$$r_{70^\circ} = \frac{234,5 + 70}{234,5 + 80} * 0,334 = 0,323 \frac{m\Omega}{m}; \quad (5.6)$$

- con riferimento alle formule del § 3.5 si calcolano prima la caduta di tensione e successivamente la caduta di tensione percentuale:

$$\Delta V = \sqrt{3} * 111,88 * 0,03 * (0,323 * 0,9 + 0,0751 * 0,436) = 1,88 V; \quad (5.7)$$

$$\Delta V\% = \frac{1,88}{400} * 100 = 0,47\%; \quad (5.8)$$

La c.d.t. percentuale risulta verificata ($\Delta V\% < 1\%$);

- per il montante verrà quindi adottato un cavo multipolare di sezione **70 mm²**.
Si andrà a scegliere un cavo FG16OR16 quadripolare 3x70+35 mm² (FFF+N). Si nota come la sezione del conduttore di neutro, 35 mm², è pari alla metà della sezione del conduttore di fase, 70 mm².

Tabella 5.10. Sezioni minime del conduttore di neutro

	Sezione di fase [mm ²]	Minima sezione del neutro [mm ²]
Cu	≤ 16	Sf
	> 16	16
Al	≤ 16	Sf
	> 16	25

Considerando che i carichi elettrici sono sostanzialmente equilibrati, la scelta di questa tipologia di cavo quadripolare risulta adeguata in quanto la sezione del conduttore di neutro è maggiore della minima sezione stabilita dalla norma;

- verifica protezione delle condutture:
 - Verifica sovraccarico: $97,89 \leq 125 \leq 134,68$; la conduttura risulta protetta contro il sovraccarico;
 - Verifica corto circuito: ipotizzando l'utilizzo di un interruttore magnetotermico modello HMF499 della Hager, con In pari a 125 A, è stato possibile verificare graficamente che $(I^2 * t) \leq K^2 * S^2$; la conduttura risulta protetta contro il corto circuito. Resta inteso che, se in fase realizzativa

si dovesse optare per un interruttore automatico con le stesse caratteristiche, ma di diverso modello e marca, si rende necessaria una nuova verifica.

Dimensionamento linee tra quadro elettrico generale e quadro elettrico torre faro A

Dal quadro elettrico generale **Q2**, verso il quadro elettrico **QTFA**, partono due linee: una che alimenta i 4 proiettori per l'illuminazione del campo da calcio e l'altra che alimenta i 3 proiettori per l'illuminazione della pista di atletica. Ovviamente le 2 linee saranno protette da 2 interruttori magnetotermici – differenziali distinti: la lunghezza delle linee è la stessa, ma le potenze in gioco sono differenti. Nella seguente tabella vengono riepilogati i parametri fondamentali per il dimensionamento delle 2 linee in questione.

Tabella 5.11. Parametri per il dimensionamento delle linee tra Q2 e QTFA

PARAMETRO	TIPOLOGIA / VALORE	UNITA' DI MISURA
Potenza complessiva illuminazione campo da calcio	8.72	kW
Potenza complessiva illuminazione pista di atletica	6.54	kW
Tensione nominale	400	V
Frequenza	50	Hz
Fattore di potenza	0.9	/
Fattore di utilizzazione	1	/
Fattore di contemporaneità	1	/
Lunghezza della linea	220	m
C.d.t. MAX	1%	/

Scelta dell'interruttore automatico magnetotermico – differenziale **IIA** a protezione della linea che alimenta i proiettori per l'illuminazione del campo da calcio:

- calcolo della corrente di impiego **I_b** della condotta:

$$I_b = \frac{8720}{\sqrt{3} * 400 * 0,9} = 13,98 \text{ A} ; \quad (5.9)$$

sarà possibile utilizzare un interruttore **IIA** a 3 poli con corrente nominale **I_n** pari a **25 A** e potere di interruzione **I_{cu}** pari a **6 kA**; **I_{dn} = 0,03 A**;

- determinazione del coefficiente correttivo **K_{tot}**:
 - temperatura del terreno 20°C: **K₁ = 1**;
 - dal quadro elettrico generale partiranno 8 linee che poi andranno a diramarsi verso le 4 torri faro; le normative specificano che, con diverse condizioni di

posa, bisogna sempre fare riferimento alla condizione di posa più gravosa: $K_2 = 0,8$;

- profondità di posa reale 0,6 m; scelgo cautelativamente, per il solo dimensionamento, una profondità di posa pari a 0,8 m: $K_3 = 1$;
 - il valore della resistività termica non è noto e quindi, seguendo la norma CEI UNEL 35026, si adotta il valore di 2,0 K*m/W: $K_4 = 0,91$;
 - $K_{tot} = 1 * 0,8 * 1 * 0,91 = 0,728$;
- determinazione della minima portata teorica richiesta alla conduttura:

$$I_{n'} = \frac{25}{0,728} = 34,34 \text{ A}; \quad (5.10)$$

- determinazione della sezione del conduttore di fase (tabella 5.7.):
 - isolante: PVC;
 - numero conduttori attivi: 3;
 - materiale conduttore: rame.

La sezione con portata teorica I_z' immediatamente superiore alla minima portata teorica $I_{n'}$ è di 6 mm² ($I_z' = 35 \text{ A}$), come evidenziato nella tabella 5.7. Questa sezione però non permette di verificare la c.d.t. percentuale. Affinché quest'ultima sia verificata bisogna scegliere una sezione di **35 mm²** ($I_z' = 97 \text{ A}$);

- determinazione della portata effettiva della conduttura:
la portata effettiva I_z di un cavo da 35 mm² nelle condizioni di posa considerate è pari a:

$$I_z = 97 * 0,728 = 70,62 \text{ A}; \quad (5.11)$$

- dalla tabella 5.8., considerando una sezione del cavo multipolare $S = 35 \text{ mm}^2$, si ha che i valori di resistenza e reattanza specifica per unità di lunghezza sono:
 - $r = 0,654 \text{ m}\Omega/\text{m}$;
 - $x = 0,0783 \text{ m}\Omega/\text{m}$;

nel caso specifico, la resistenza riferita ad una temperatura di 70°C risulta essere:

$$r_{70^\circ} = \frac{234,5 + 70}{234,5 + 80} * 0,654 = 0,633 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}}; \quad (5.12)$$

- con riferimento alle formule del § 3.5 si calcolano prima la caduta di tensione e successivamente la caduta di tensione percentuale:

$$\Delta V = \sqrt{3} * 13,98 * 0,22 * (0,633 * 0,9 + 0,0783 * 0,436) = 3,21 V ; \quad (5.13)$$

$$\Delta V\% = \frac{3,21}{400} * 100 = 0,8\% ; \quad (5.14)$$

La c.d.t. percentuale risulta verificata ($\Delta V\% < 1\%$);

- per la linea, tra il quadro **Q2** e il quadro **QTFA**, che alimenta i 4 proiettori per l'illuminazione del campo da calcio verrà quindi adottato un cavo multipolare di sezione **35 mm²**.

Si andrà a scegliere un cavo FG16OR16 tripolare 3x35 mm² (FFF).

- verifica protezione delle condutture:
 - Verifica sovraccarico: $13,98 \leq 25 \leq 70,62$; la conduttura risulta protetta contro il sovraccarico;
 - Verifica corto circuito: ipotizzando l'utilizzo di un interruttore magnetotermico modello MCA325 della Hager, con I_n pari a 25 A, è stato possibile verificare graficamente che $(I^2 * t) \leq K^2 * S^2$; la conduttura risulta protetta contro il corto circuito. Resta inteso che, se in fase realizzativa si dovesse optare per un interruttore automatico con le stesse caratteristiche, ma di diverso modello e marca, si rende necessaria una nuova verifica.

Scelta dell'interruttore automatico magnetotermico – differenziale **I2A** a protezione della linea che alimenta i proiettori per l'illuminazione della pista di atletica:

- calcolo della corrente di impiego **I_b** della conduttura:

$$I_b = \frac{6540}{\sqrt{3} * 400 * 0,9} = 10,49 A ; \quad (5.15)$$

sarà possibile utilizzare un interruttore **I2A** a 3 poli con corrente nominale **I_n** pari a **16 A** e potere di interruzione **I_{cu}** pari a **6 kA**; **I_{dn} = 0,03 A**;

- determinazione del coefficiente correttivo **K_{tot}**:
 - temperatura del terreno 20°C: **K1 = 1**;
 - dal quadro elettrico generale partiranno 8 linee che poi andranno a diramarsi verso le 4 torri faro; le normative specificano che, con diverse condizioni di posa, bisogna sempre fare riferimento alla condizione di posa più gravosa: **K2 = 0,8**;
 - profondità di posa reale 0,6 m; scelgo cautelativamente, per il solo dimensionamento, una profondità di posa pari a 0,8 m: **K3 = 1**;

- il valore della resistività termica non è noto e quindi, seguendo la norma CEI UNEL 35026, si adotta il valore di 2,0 K*m/W: $K_4 = 0,91$;
- $K_{tot} = 1 * 0,8 * 1 * 0,91 = 0,728$;
- determinazione della minima portata teorica richiesta alla conduttura:

$$I_{n'} = \frac{16}{0,728} = 21,98 \text{ A} ; \quad (5.16)$$

- determinazione della sezione del conduttore di fase (tabella 5.7.):
 - isolante: PVC;
 - numero conduttori attivi: 3;
 - materiale conduttore: rame.

La sezione con portata teorica I_z' immediatamente superiore alla minima portata teorica $I_{n'}$ è di 4 mm² ($I_z' = 28 \text{ A}$), come evidenziato nella tabella 5.7. Questa sezione però non permette di verificare la c.d.t. percentuale. Affinché quest'ultima sia verificata bisogna scegliere una sezione di **25 mm²** ($I_z' = 79 \text{ A}$);

- determinazione della portata effettiva della conduttura:
la portata effettiva I_z di un cavo da 25 mm² nelle condizioni di posa considerate è pari a:

$$I_z = 79 * 0,728 = 57,51 \text{ A} ; \quad (5.17)$$

- dalla tabella 5.8., considerando una sezione del cavo multipolare $S = 25 \text{ mm}^2$, si ha che i valori di resistenza e reattanza specifica per unità di lunghezza sono:
 - $r = 0,907 \text{ m}\Omega/\text{m}$;
 - $x = 0,0813 \text{ m}\Omega/\text{m}$;

nel caso specifico, la resistenza riferita ad una temperatura di 70°C risulta essere:

$$r_{70^\circ} = \frac{234,5 + 70}{234,5 + 80} * 0,907 = 0,878 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}} ; \quad (5.18)$$

- con riferimento alle formule del § 3.5 si calcolano prima la caduta di tensione e successivamente la caduta di tensione percentuale:

$$\Delta V = \sqrt{3} * 10,49 * 0,22 * (0,878 * 0,9 + 0,0813 * 0,436) = 3,3 \text{ V} ; \quad (5.19)$$

$$\Delta V\% = \frac{3,3}{400} * 100 = 0,825\% ; \quad (5.20)$$

La c.d.t. percentuale risulta verificata ($\Delta V\% < 1\%$);

- per la linea, tra il quadro **Q2** e il quadro **QTFA**, che alimenta i 3 proiettori per l'illuminazione della pista di atletica verrà quindi adottato un cavo multipolare di sezione **25 mm²**.

Si andrà a scegliere un cavo FG16OR16 tripolare 3x25 mm² (FFF).

- verifica protezione delle condutture:
 - Verifica sovraccarico: $10,49 \leq 16 \leq 57,51$; la conduttura risulta protetta contro il sovraccarico;
 - Verifica corto circuito: ipotizzando l'utilizzo di un interruttore magnetotermico modello MCA316 della Hager, con I_n pari a 16 A, è stato possibile verificare graficamente che $(I^2 * t) \leq K^2 * S^2$; la conduttura risulta protetta contro il corto circuito. Resta inteso che, se in fase realizzativa si dovesse optare per un interruttore automatico con le stesse caratteristiche, ma di diverso modello e marca, si rende necessaria una nuova verifica.

Dimensionamento linee tra quadro elettrico generale e quadro elettrico torre faro B

Dal quadro elettrico generale **Q2**, verso il quadro elettrico **QTFB**, partono due linee: una che alimenta i 4 proiettori per l'illuminazione del campo da calcio e l'altra che alimenta i 3 proiettori per l'illuminazione della pista di atletica. Ovviamente le 2 linee saranno protette da 2 interruttori magnetotermici – differenziali distinti: la lunghezza delle linee è la stessa, ma le potenze in gioco sono differenti. Nella seguente tabella vengono riepilogati i parametri fondamentali per il dimensionamento delle 2 linee in questione.

Tabella 5.12. Parametri per il dimensionamento delle linee tra **Q2** e **QTFB**

PARAMETRO	TIPOLOGIA / VALORE	UNITA' DI MISURA
Potenza complessiva illuminazione campo da calcio	8.72	kW
Potenza complessiva illuminazione pista di atletica	6.54	kW
Tensione nominale	400	V
Frequenza	50	Hz
Fattore di potenza	0.9	/
Fattore di utilizzazione	1	/
Fattore di contemporaneità	1	/
Lunghezza della linea	90	m
C.d.t. MAX	1%	/

Scelta dell'interruttore automatico magnetotermico – differenziale **IIB** a protezione della linea che alimenta i proiettori per l'illuminazione del campo da calcio:

- calcolo della corrente di impiego **I_b** della conduttura:

$$I_b = \frac{8720}{\sqrt{3} * 400 * 0,9} = 13,98 \text{ A} ; \quad (5.21)$$

sarà possibile utilizzare un interruttore **IIB** a 3 poli con corrente nominale **I_n** pari a **25 A** e potere di interruzione **I_{cu}** pari a **6 kA**; **I_{dn}** = **0,03 A**;

- determinazione del coefficiente correttivo **K_{tot}**:
 - temperatura del terreno 20°C: **K₁** = 1;
 - dal quadro elettrico generale partiranno 8 linee che poi andranno a diramarsi verso le 4 torri faro; le normative specificano che, con diverse condizioni di posa, bisogna sempre fare riferimento alla condizione di posa più gravosa: **K₂** = 0,8;
 - profondità di posa reale 0,6 m; scelgo cautelativamente, per il solo dimensionamento, una profondità di posa pari a 0,8 m: **K₃** = 1;
 - il valore della resistività termica non è noto e quindi, seguendo la norma CEI UNEL 35026, si adotta il valore di 2,0 K*m/W: **K₄** = 0,91;
 - **K_{tot}** = 1 * 0,8 * 1 * 0,91 = **0,728**;
- determinazione della minima portata teorica richiesta alla conduttura:

$$I_n' = \frac{25}{0,728} = 34,34 \text{ A} ; \quad (5.22)$$

- determinazione della sezione del conduttore di fase (tabella 5.7.):
 - isolante: PVC;
 - numero conduttori attivi: 3;
 - materiale conduttore: rame.

La sezione con portata teorica **I_z'** immediatamente superiore alla minima portata teorica **I_n'** è di 6 mm² (**I_z'** = 35 A), come evidenziato nella tabella 5.7. Questa sezione però non permette di verificare la c.d.t. percentuale. Affinché quest'ultima sia verificata bisogna scegliere una sezione di **16 mm²** (**I_z'** = 61 A);

- determinazione della portata effettiva della conduttura:
la portata effettiva **I_z** di un cavo da 16 mm² nelle condizioni di posa considerate è pari a:

$$I_z = 61 * 0,728 = 44,41 \text{ A} ; \quad (5.23)$$

- dalla tabella 5.8., considerando una sezione del cavo multipolare $S = 16 \text{ mm}^2$, si ha che i valori di resistenza e reattanza specifica per unità di lunghezza sono:
 - $r = 1,43 \text{ m}\Omega/\text{m}$;
 - $x = 0,0817 \text{ m}\Omega/\text{m}$;

nel caso specifico, la resistenza riferita ad una temperatura di 70°C risulta essere:

$$r_{70^\circ} = \frac{234,5 + 70}{234,5 + 80} * 1,43 = 1,38 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}} ; \quad (5.24)$$

- con riferimento alle formule del § 3.5 si calcolano prima la caduta di tensione e successivamente la caduta di tensione percentuale:

$$\Delta V = \sqrt{3} * 13,98 * 0,09 * (1,38 * 0,9 + 0,0817 * 0,436) = 2,78 \text{ V} ; \quad (5.25)$$

$$\Delta V\% = \frac{2,78}{400} * 100 = 0,69\% ; \quad (5.26)$$

La c.d.t. percentuale risulta verificata ($\Delta V\% < 1\%$);

- per la linea tra il quadro **Q2** e il quadro **QTFB**, che alimenta i 4 proiettori per l'illuminazione del campo da calcio verrà quindi adottato un cavo multipolare di sezione **16 mm²**.

Si andrà a scegliere un cavo FG16OR16 tripolare 3x16 mm² (FFF).

- verifica protezione delle condutture:
 - Verifica sovraccarico: $13,98 \leq 25 \leq 44,41$; la conduttura risulta protetta contro il sovraccarico;
 - Verifica corto circuito: ipotizzando l'utilizzo di un interruttore magnetotermico modello MCA325 della Hager, con I_n pari a 25 A, è stato possibile verificare graficamente che $(I^2 * t) \leq K^2 * S^2$; la conduttura risulta protetta contro il corto circuito. Resta inteso che, se in fase realizzativa si dovesse optare per un interruttore automatico con le stesse caratteristiche, ma di diverso modello e marca, si rende necessaria una nuova verifica.

Scelta dell'interruttore automatico magnetotermico – differenziale **I2B** a protezione della linea che alimenta i proiettori per l'illuminazione della pista di atletica:

- calcolo della corrente di impiego I_b della conduttura:

$$I_b = \frac{6540}{\sqrt{3} * 400 * 0,9} = 10,49 \text{ A}; \quad (5.27)$$

sarà possibile utilizzare un interruttore **I2B** a 3 poli con corrente nominale **I_n** pari a **16 A** e potere di interruzione **I_{cu}** pari a **6 kA**; **I_{dn} = 0,03 A**;

- determinazione del coefficiente correttivo **K_{tot}**:
 - temperatura del terreno 20°C: **K1 = 1**;
 - dal quadro elettrico generale partiranno 8 linee che poi andranno a diramarsi verso le 4 torri faro; le normative specificano che, con diverse condizioni di posa, bisogna sempre fare riferimento alla condizione di posa più gravosa: **K2 = 0,8**;
 - profondità di posa reale 0,6 m; scelgo cautelativamente, per il solo dimensionamento, una profondità di posa pari a 0,8 m: **K3 = 1**;
 - il valore della resistività termica non è noto e quindi, seguendo la norma CEI UNEL 35026, si adotta il valore di 2,0 K*m/W: **K4 = 0,91**;
 - **K_{tot} = 1 * 0,8 * 1 * 0,91 = 0,728**;
- determinazione della minima portata teorica richiesta alla conduttura:

$$I_{n'} = \frac{16}{0,728} = 21,98 \text{ A}; \quad (5.28)$$

- determinazione della sezione del conduttore di fase (tabella 5.7.):
 - isolante: PVC;
 - numero conduttori attivi: 3;
 - materiale conduttore: rame.

La sezione con portata teorica **I_{z'}** immediatamente superiore alla minima portata teorica **I_{n'}** è di 4 mm² (**I_{z'} = 28 A**), come evidenziato nella tabella 5.7. Questa sezione però non permette di verificare la c.d.t. percentuale. Affinché quest'ultima sia verificata bisogna scegliere una sezione di **10 mm²** (**I_{z'} = 47 A**);

- determinazione della portata effettiva della conduttura:
la portata effettiva **I_z** di un cavo da 10 mm² nelle condizioni di posa considerate è pari a:

$$I_z = 47 * 0,728 = 34,22 \text{ A}; \quad (5.29)$$

- dalla tabella 5.8., considerando una sezione del cavo multipolare **S = 10 mm²**, si ha che i valori di resistenza e reattanza specifica per unità di lunghezza sono:
 - **r = 2,27 mΩ/m**;

- $x = 0,0861 \text{ m}\Omega/\text{m}$;

nel caso specifico, la resistenza riferita ad una temperatura di 70°C risulta essere:

$$r_{70^\circ} = \frac{234,5 + 70}{234,5 + 80} * 2,27 = 2,198 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}} ; \quad (5.30)$$

- con riferimento alle formule del § 3.5 si calcolano prima la caduta di tensione e successivamente la caduta di tensione percentuale:

$$\Delta V = \sqrt{3} * 10,49 * 0,09 * (2,198 * 0,9 + 0,0861 * 0,436) = 3,29 \text{ V} ; \quad (5.31)$$

$$\Delta V\% = \frac{3,29}{400} * 100 = 0,824\% ; \quad (5.32)$$

La c.d.t. percentuale risulta verificata ($\Delta V\% < 1\%$);

- per la linea, tra il quadro **Q2** e il quadro **QTFB**, che alimenta i 3 proiettori per l'illuminazione della pista di atletica verrà quindi adottato un cavo multipolare di sezione **10 mm²**.

Si andrà a scegliere un cavo FG16OR16 tripolare 3x10 mm² (FFF).

- verifica protezione delle condutture:
 - Verifica sovraccarico: $10,49 \leq 16 \leq 34,22$; la conduttura risulta protetta contro il sovraccarico;
 - Verifica corto circuito: ipotizzando l'utilizzo di un interruttore magnetotermico modello MCA316 della Hager, con In pari a 16 A, è stato possibile verificare graficamente che $(I^2 * t) \leq K^2 * S^2$; la conduttura risulta protetta contro il corto circuito. Resta inteso che, se in fase realizzativa si dovesse optare per un interruttore automatico con le stesse caratteristiche, ma di diverso modello e marca, si rende necessaria una nuova verifica.

Dimensionamento linee tra quadro elettrico generale e quadro elettrico torre faro C – dimensionamento linee tra quadro elettrico generale e quadro elettrico torre faro D

Considerata la simmetria orizzontale e verticale delle 4 torri faro rispetto al centro campo del rettangolo di gioco destinato al calcio, il quadro elettrico **QTFC**, ubicato alla base della torre faro C, presenta le stesse caratteristiche elettriche del quadro **QTFA**, mentre il quadro elettrico **QTFD**, ubicato alla base della torre faro D, presenta le stesse caratteristiche elettriche del quadro **QTFB**.

Per le due linee che partono dal quadro elettrico generale e vanno ad alimentare il quadro **QTFC** verrà adottato, per l'illuminazione del campo da calcio, un cavo multipolare di sezione **35 mm²** (cavo FG16OR16 tripolare 3x35 mm² - FFF), mentre per l'illuminazione della pista di atletica, un cavo multipolare di sezione **25 mm²** (cavo FG16OR16 tripolare 3x25 mm² - FFF); i due interruttori magnetotermici – differenziali **I1C** e **I2C** saranno caratterizzati rispettivamente da una corrente nominale **I_n** pari a **25 A** e **16 A**, potere d'interruzione **I_{cn}** pari a **6 kA** e **I_{dn} = 0,03 A**.

Per le due linee che partono dal quadro elettrico generale e vanno ad alimentare il quadro **QTFD** verrà adottato, per l'illuminazione del campo da calcio, un cavo multipolare di sezione **16 mm²** (cavo FG16OR16 tripolare 3x16 mm² - FFF), mentre per l'illuminazione della pista di atletica, un cavo multipolare di sezione **10 mm²** (cavo FG16OR16 tripolare 3x10 mm² - FFF); i due interruttori magnetotermici – differenziali **I1D** e **I2D** saranno caratterizzati rispettivamente da una corrente nominale **I_n** pari a **25 A** e **16 A**, potere d'interruzione **I_{cn}** pari a **6 kA** e **I_{dn} = 0,03 A**.

Dimensionamento linee di alimentazione dei proiettori

All'interno dei 4 quadri elettrici ubicati alla base delle torri faro, come già ricordato, saranno presenti 7 interruttori magnetotermici – differenziali per la protezione dei 7 proiettori e dei gruppi di alimentazione. L'alimentazione dei singoli proiettori sarà effettuata con cavo tripolare (FF+T) tipo FG16OR16; i conduttori saranno posati direttamente in aria all'interno del fusto del sostegno.

Per il dimensionamento in questione, considerando che la scelta progettuale si è orientata su torri faro alte 25 m, la lunghezza massima della linea di alimentazione è supposta di 35 metri e la c.d.t. percentuale massima ammissibile non deve superare l'1%. Nella seguente tabella vengono riepilogati i parametri fondamentali per il dimensionamento delle linee di alimentazione dei proiettori.

Tabella 5.13. Parametri per il dimensionamento delle linee tra i QTF e i proiettori

PARAMETRO	TIPOLOGIA / VALORE	UNITA' DI MISURA
Potenza totale proiettore	2.18	kW
Tensione nominale	400	V
Frequenza	50	Hz
Fattore di potenza	0.9	/
Fattore di utilizzazione	1	/
Fattore di contemporaneità	1	/
Lunghezza della linea	35	m
C.d.t. MAX	1%	/

Scelta dei 7 interruttori automatici magnetotermici – differenziali **I1P, I2P, I3P, I4P, I5P, I6P** e **I7P**:

- calcolo della corrente di impiego **I_b** della conduttura:

$$I_b = \frac{2180}{\sqrt{3} * 400 * 0,9} = 3,50 \text{ A}; \quad (5.33)$$

sarà possibile utilizzare interruttori **I1P, I2P, I3P, I4P, I5P, I6P** e **I7P** a 2 poli con corrente nominale **I_n** pari a **6 A** e potere di interruzione **I_{cn}** pari a **6 kA**; **I_{dn} = 0,03 A**;

- determinazione del coefficiente correttivo **K_{tot}**: in questo caso, considerando il fatto che non si tratta di un conduttore di fase di cavi interrati, bensì di conduttore di fase di cavi in aria, il coefficiente **K_{tot}** è dato solamente dal prodotto di due coefficienti e più specificatamente dal coefficiente **K_a**, da applicare se la temperatura ambiente è diversa da 30°C e dal coefficiente **K_b**, da applicare per i cavi installati in fascio o in strato. Nel caso specifico, facendo riferimento al metodo specificato nella norma CEI UNEL 35024/1, si sceglie cautelativamente un coefficiente **K_a** pari a 1 (temperatura ambiente di 30°C) e considerando la presenza di un unico cavo tripolare, anche il coefficiente **K_b** sarà pari a 1.

$$\circ \quad K_{tot} = K_a * K_b = 1 * 1 = 1;$$

- determinazione della minima portata teorica richiesta alla conduttura:

$$I_{n'} = \frac{6}{1} = 6 \text{ A}; \quad (5.34)$$

- determinazione della sezione del conduttore di fase (tabella 5.13.):
 - isolante: PVC;
 - numero conduttori attivi: 2;
 - materiale conduttore: rame.

Tabella 5.14. Portate relative a cavi non interrati

metodologia tipica di installazione	altri tipi di posa della CEI 64-8	tipo di isolamento	numero conduttori attivi	portata [A]													
				sezione [mm ²]													
				1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185
cavo in aria libera, distanziato dalla parete/soffitto o su passerella	13 - 14 - 15 - 16 - 17	PVC	2	15	22	30	40	51	70	94	119	148	180	232	282	328	379
			3	13.6	18.5	25	34	43	60	80	101	126	153	196	238	276	319
		EPR	2	19	26	36	49	63	86	115	149	185	225	289	352	410	473
			3	17	23	32	42	54	75	100	127	158	192	246	298	346	399

La sezione con portata teorica I_z' immediatamente superiore alla minima portata teorica I_n' è di $1,5 \text{ mm}^2$ ($I_z' = 15 \text{ A}$), come evidenziato nella tabella 5.13. Questa sezione permetterebbe di verificare la c.d.t. percentuale, ma seguendo quanto specificato dalle linee guida della LND, si opta per scegliere una sezione di **$2,5 \text{ mm}^2$** ($I_z' = 22 \text{ A}$);

- determinazione della portata effettiva della conduttura:
la portata effettiva I_z di un cavo da $2,5 \text{ mm}^2$ nelle condizioni di posa considerate è pari a:

$$I_z = 22 * 1 = 22 \text{ A}; \quad (5.35)$$

- dalla tabella 5.8., considerando una sezione del cavo multipolare $S = 2,5 \text{ mm}^2$, si ha che i valori di resistenza e reattanza specifica per unità di lunghezza sono:
 - $r = 9,08 \text{ m}\Omega/\text{m}$;
 - $x = 0,109 \text{ m}\Omega/\text{m}$;

nel caso specifico, la resistenza riferita ad una temperatura di 70°C risulta essere:

$$r_{70^\circ} = \frac{234,5 + 70}{234,5 + 80} * 9,08 = 8,79 \frac{\text{m}\Omega}{\text{m}}; \quad (5.36)$$

- con riferimento alle formule del § 3.5 si calcolano prima la caduta di tensione e successivamente la caduta di tensione percentuale:

$$\Delta V = \sqrt{3} * 3,50 * 0,035 * (8,79 * 0,9 + 0,109 * 0,436) = 1,74 \text{ V}; \quad (5.37)$$

$$\Delta V\% = \frac{1,74}{400} * 100 = 0,44\%; \quad (5.38)$$

La c.d.t. percentuale risulta verificata ($\Delta V\% < 1\%$);

- per le linee che alimentano i proiettori verrà quindi adottato un cavo tripolare di sezione **$2,5 \text{ mm}^2$** ;
- verifica protezione delle condutture:
 - Verifica sovraccarico: $3,50 \leq 6 \leq 22$; la conduttura risulta protetta contro il sovraccarico;
 - Verifica corto circuito: ipotizzando l'utilizzo di un interruttore magnetotermico modello MCA206 della Hager, con I_n pari a 6 A , è stato

possibile verificare graficamente che $(I^2 * t) \leq K^2 * S^2$; la conduttura risulta protetta contro il corto circuito. Resta inteso che, se in fase realizzativa si dovesse optare per un interruttore automatico con le stesse caratteristiche, ma di diverso modello e marca, si rende necessaria una nuova verifica.

Verifica c.d.t. percentuale totale

Nelle seguenti tabelle è possibile verificare che la c.d.t. percentuale totale risulta inferiore alla massima fissata in sede progettuale che, si ricorda, è del 3%. Le verifiche vengono fatte sia per il tratto di linea che, partendo dall'interruttore generale, alimenta i 4 proiettori adibiti all'illuminazione del campo da calcio, sia per il tratto di linea che, partendo sempre da **Q1**, va ad alimentare i 3 proiettori adibiti all'illuminazione della pista di atletica.

Tabella 5.15. Verifica c.d.t. percentuale del tratto lungo 285 m

Tratto	C.d.T.% montante	C.d.T.% tra Q2 e QTFA (QTFC)	C.d.T.% tra QTFA (QTFC) e proiettori	C.d.T.% TOT	C.d.T.% massima ammessa	Verificato
Q1 – 4 proiettori CALCIO torri faro A e C	0.47	0.8	0.44	1.71	3	OK
Q1 – 3 proiettori PISTA torri faro A e C	0.47	0.825	0.44	1.735	3	OK

Tabella 5.16. Verifica c.d.t. percentuale del tratto lungo 155 m

Tratto	C.d.T.% montante	C.d.T.% tra Q2 e QTFA (QTFC)	C.d.T.% tra QTFA (QTFC) e proiettori	C.d.T.% TOT	C.d.T.% massima ammessa	Verificato
Q1 – 4 proiettori CALCIO torri faro B e D	0.47	0.69	0.44	1.6	3	OK
Q1 – 3 proiettori PISTA torri faro B e D	0.47	0.824	0.44	1.734	3	OK

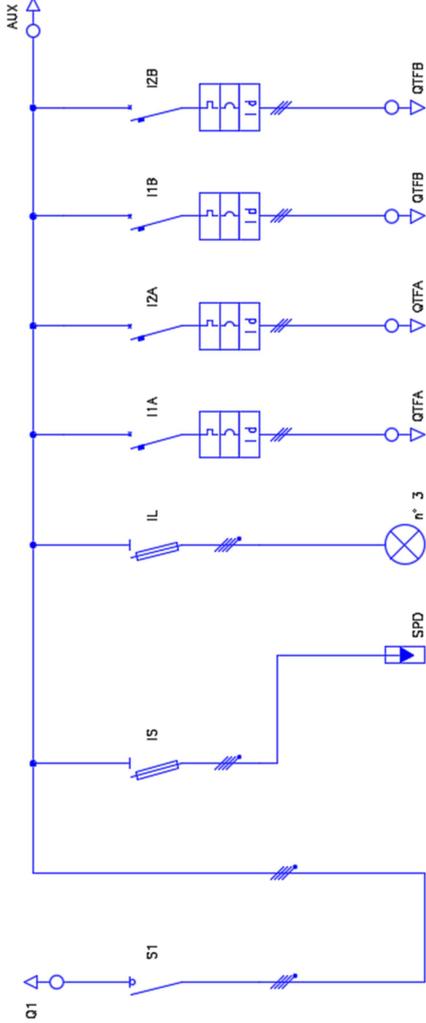
In tutti i 4 casi considerati, la c.d.t. percentuale massima ammissibile è verificata.

5.6 Schemi elettrici unifilari

Nelle seguenti pagine vengono riportati gli schemi unifilari dei vari quadri elettrici presenti nell'impianto: su questi sarà possibile individuare anche le principali caratteristiche dei vari componenti elettrici. Oltre agli schemi dei quadri, vengono riportati anche i circuiti ausiliari di comando.

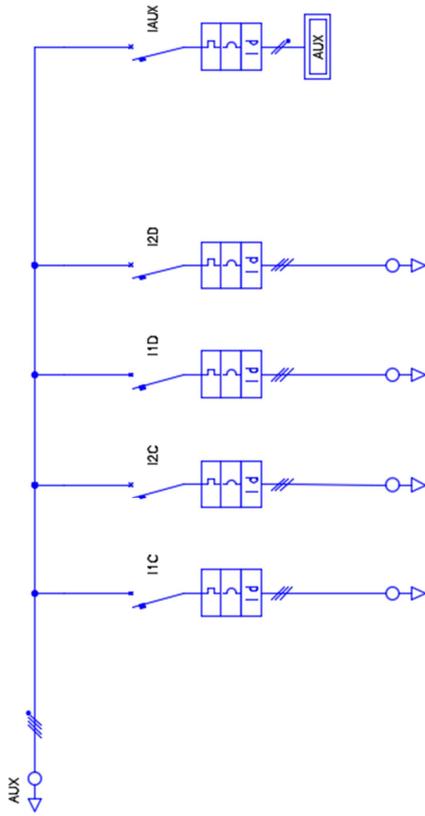
INTERRUTTORE GENERALE		Pag. 1 1 di 9	
UTENZA	DENOMINAZIONE E SIGLA COEFF. CONTEMPORANEITA' POTENZA (kW) TENSIONE NOMINALE (V) CORRENTE DI IMPREGO I _b (A)	FORNITURA ENTE DISTRIBUTTORE 1,00 65 230/400 /	INTERRUTTORE GENERALE 1,00 61,04 400 97,89
INTERRUTTORE	COSTRUTTORE - TIPO ESECUZIONE/N. POU CORRENTE NOMINALE I _n (A) POTERE DI INTERRUZIONE (kA) mA REL. DIFFERENZIALE (A)	/ / / /	/ 4 125 10 0,03
LINEA	TIPO CAVO PORTATA CONDUTTORE (A) SEZIONE FASE (mm ²) LUNGHEZZA LINEA VALLE (m) SEZIONE NEUTRO (mm ²)	FG16QR16 / 3x70 < 3 35	FG16QR16 134,88 3x70 30 35
	CANTITA' DI TENSIONE (%) FASI DELLA LINEA	traucurabile L1 L2 L3 N	0,47 L1 L2 L3 N
	SISTEMA TT		

QUADRO ELETTRICO GENERALE



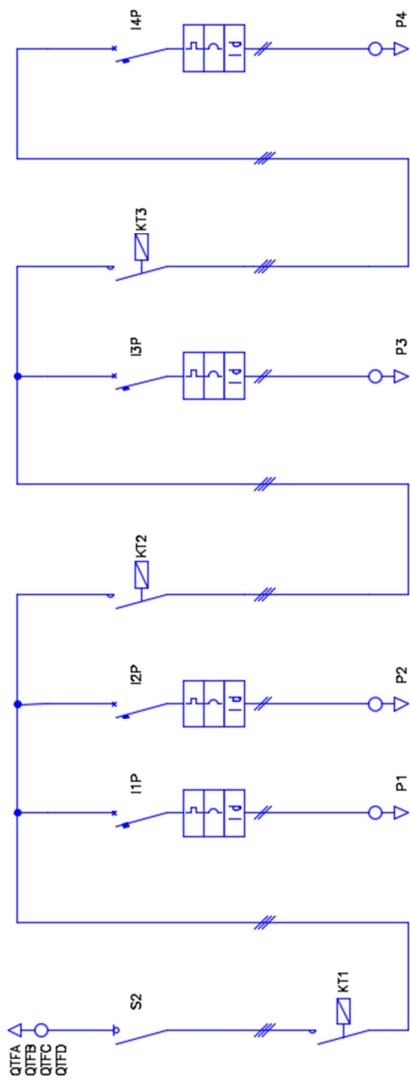
UTENZA	DEMINAZIONE E SIDA	SEZIONATORE GENERALE	PORTAFUSIBILI SEZIONABILE	SCARICATORE SOVRITENSIONI	LAMPADA SEGNALIZAZIONE	INTERRUTTORE LINEA CALCIO TORRE FARO A	INTERRUTTORE LINEA CALCIO TORRE FARO B	INTERRUTTORE LINEA PISTA TORRE FARO A	INTERRUTTORE LINEA PISTA TORRE FARO B
	COEFF. CONTROREACTANTIA'	S1	/	/	/	1,00	1,00	1,00	1,00
	POENZA (kW)	61,04	/	/	/	8,72	8,72	6,54	6,54
	TENSIONE NOMINALE (V)	400	/	/	/	400	400	400	400
	CORRENTE DI IMPREGO I _b (A)	97,89	/	/	/	13,98	13,98	10,49	10,49
	COSTRUTTORE - TIPO	/	9G	/	/	/	/	/	/
	ESCUZIONE/N. POU	4	4	/	/	3	3	3	3
	CORRENTE NOMINALE I _n (A)	125	125	/	/	25	25	16	16
	POERE DI INTERUZIONE (kA)	1,5 (1s)	100	/	/	6	6	6	6
	Int. REL' DIFFERENZIALE (A)	/	/	/	/	0,03	0,03	0,03	0,03
	TPO CAPO	FG160R16	/	/	/	FG160R16	FG160R16	FG160R16	FG160R16
	PORTATA CONDUTTORE (A)	134,88	/	/	/	70,82	44,41	57,51	34,22
	SEZIONE FASE (mmq)	3x70	/	/	/	3x35	3x16	3x25	3x10
	LUNGHEZZA LINEA VALLE (m)	/	/	/	/	220	90	220	90
	SEZIONE NEUTRO (mmq)	35	/	/	/	/	/	/	/
	CAVITA DI TENSIONE (%)	trascorabile	/	/	/	0,8	0,825	0,69	0,824
	FASI DELLA LINEA	L1 L2 L3 N	L1 L2 L3 N	L1 L2 L3 N	L1 L2 L3 N	L1 L2 L3	L1 L2 L3	L1 L2 L3	L1 L2 L3
	NOTE			Scaricatore 3F+N Tipo 1+2 - 25kA con perennitai 230v	Lampada segnalazione				

QUADRO ELETTRICO GENERALE



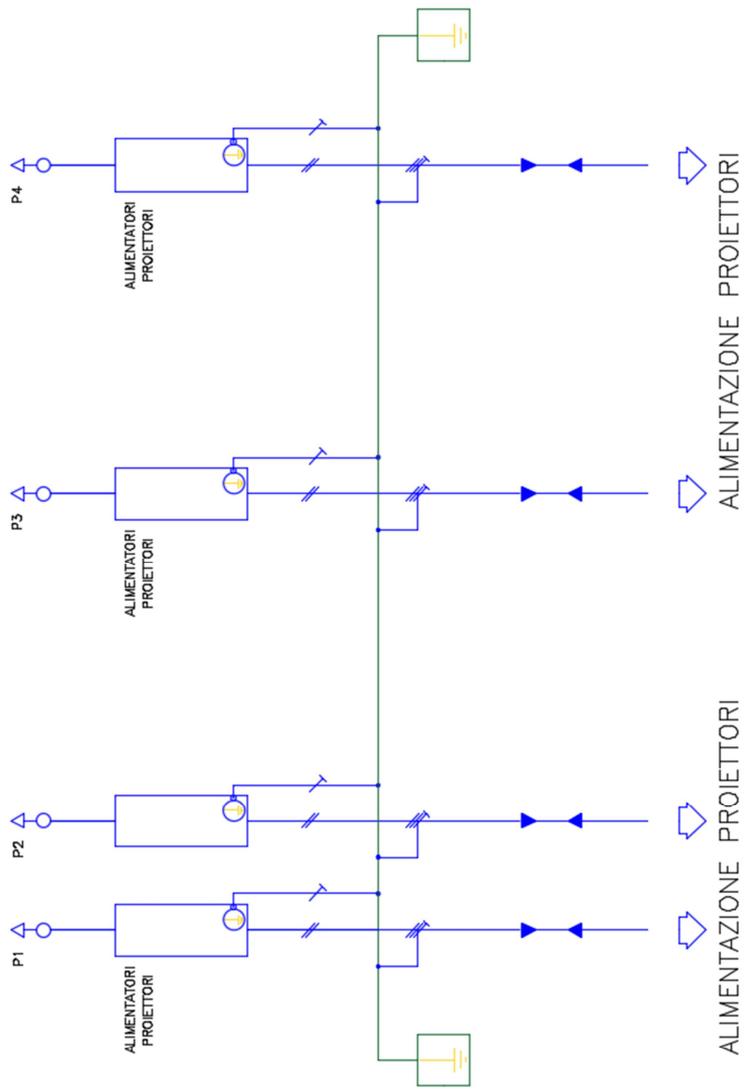
DENOMINAZIONE E SIGLA	INTERRUTTORE				INTERRUTTORE SERVIZI AUSILIARI
	LINEA CALCIO TORRE FARO C	LINEA PISTA TORRE FARO C	LINEA CALCIO TORRE FARO D	LINEA PISTA TORRE FARO D	
COEFF. CONTROREANITA'	1,00	1,00	1,00	1,00	/
POTENZA (kW)	8,72	6,54	8,72	6,54	/
TENSIONE NOMINALE (V)	400	400	400	400	/
CORRENTE DI IMPIEGO Ib (A)	13,98	10,49	13,98	10,49	/
COSTRUTTORE - TIPO	/	/	/	/	/
ESECUZIONE/N. POLI	3	3	3	3	2
CORRENTE NOMINALE In (A)	25	16	25	16	6
POTERE DI INTERRUZIONE (kA)	6	6	6	6	6
Int REEF DIFFERENZIALE (A)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
TIPO CAVO	FG160R16	FG160R16	FG160R16	FG160R16	FG16R16
PORTATA CONDUTTORE (A)	70,62	57,51	44,41	34,22	/
SEZIONE FASE (mmq)	3x35	3x25	3x16	3x10	1x1,5
LUNGHEZZA LINEA VALLE (m)	220	220	90	90	/
SEZIONE NEUTRO (mmq)	/	/	/	/	1x1,5
CAUDA DI TENSIONE (°C)	0,8	0,825	0,69	0,824	/
FAS DELLA LINEA	L1 L2 L3	L1 L2 L3	L1 L2 L3	L1 L2 L3	L1 N

QUADRO ELETTRICO TORRE FARO – ILLUMINAZIONE CAMPO DA CALCIO

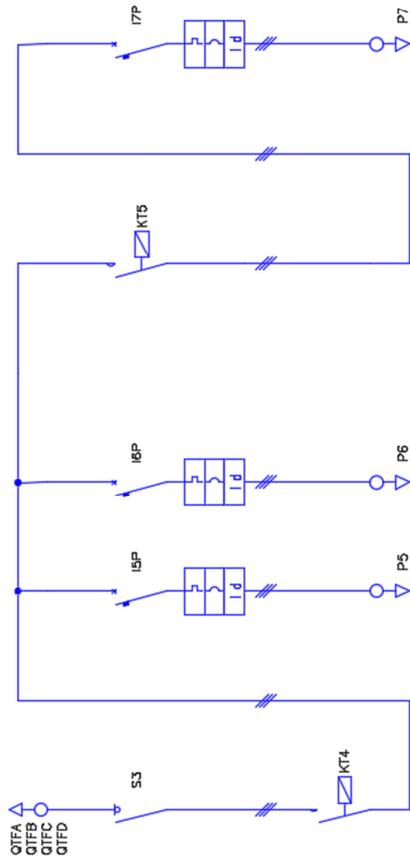


UTENZA	SEZIONATORE GENERALE S2	CONTATTORI KT1	INTERRUTTORE PROIETTORE 1 (75 LUX)	INTERRUTTORE PROIETTORE 2 (75 LUX)	CONTATTORI KT2	INTERRUTTORE PROIETTORE 3 (100 LUX)	CONTATTORI KT3	INTERRUTTORE PROIETTORE 4 (150 LUX)
DE NOMINAZIONE E SIDA								
COEFF. CONTINGENZA*	1,00		1,00	1,00		1,00		1,00
POTENZA (kW)	8,72		2,18	2,18		2,18		2,18
TENSIONE NOMINALE (V)	400	400	400	400	400	400	400	400
CORRENTE DI IMPIEGO b (A)	13,98		3,50	3,50		3,50		3,50
COSTRUTTORE - TPO	/	ACS - a	/	/	ACS - a	/	/	/
ESecuzione/N. POI	3	3	2	2	3	2	3	2
CORRENTE NOMINALE In (A)	25	25	6	6	25	6	25	6
POTERE DI INTERRUZIONE (kA)	0,375 (1s)	/	6	6	/	6	/	6
kh REL' DIFFERENZIALE (A)	/	/	0,03	0,03	/	0,03	/	0,03
TPO CAVO	FC16OR16	FG16OR16	FC16OR16	FC16OR16	FC16OR16	FC16OR16	FC16OR16	FC16OR16
PORTATA CONDUTTORE (A)	70,62 / 44,41	70,62 / 44,41	22	22	70,62 / 44,41	22	70,62 / 44,41	22
SEZIONE FASE (mm²)	3x35 / 3x16	3x35 / 3x16	2x2,5	2x2,5	3x35 / 3x16	2x2,5	3x35 / 3x16	2x2,5
LUNGHEZZA LINEA VALE (m)	/	/	35	35	/	35	/	35
SEZIONE NEUTRO (mm²)	/	/	/	/	/	/	/	/
CAPACITÀ DI TENSIONE (%)	/	/	0,44	0,44	/	0,44	/	0,44
FAS DELLA LINEA	L1 L2 L3	L1 L2 L3	L1 L2	L2 L3	L1 L2 L3	L1 L3	L1 L2 L3	L1 L2
NOTE								

ALIMENTAZIONE PROIETTORI – ILLUMINAZIONE CAMPO DA CALCIO

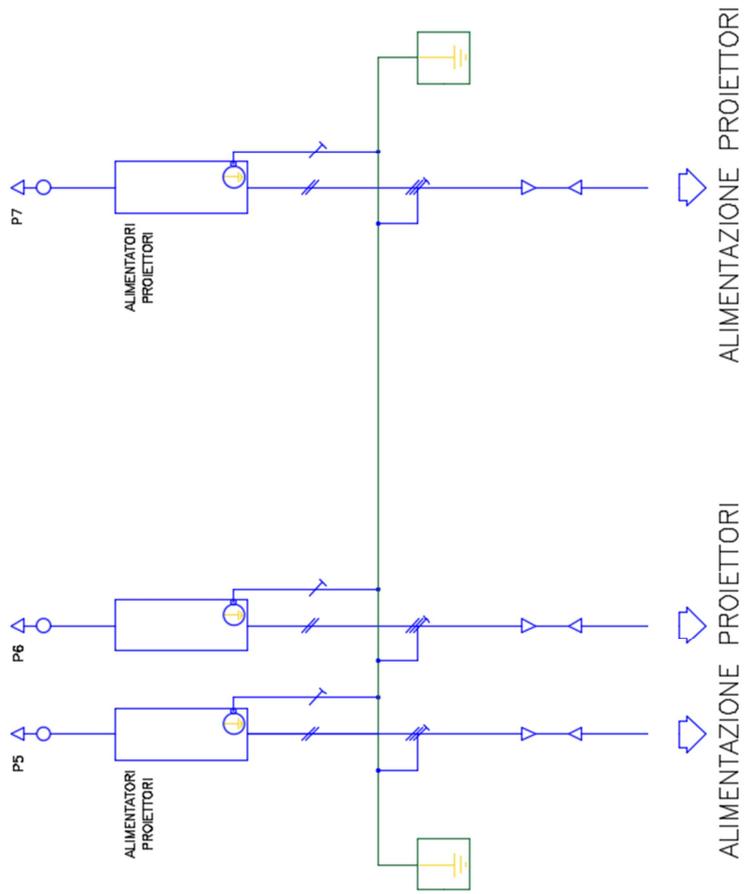


QUADRO ELETTRICO TORRE FARO – ILLUMINAZIONE PISTA DA ATLETICA

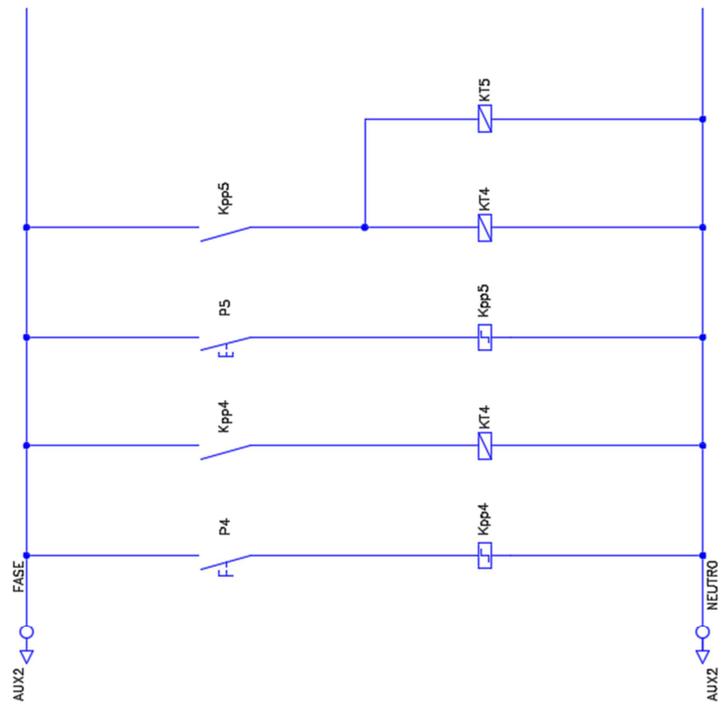


UTENZA	SEZIONATORE GENERALE S3	CONTATTATORE KT4	INTERRUTTORE PROIETTORE 5 (50 LUX)	INTERRUTTORE PROIETTORE 6 (50 LUX)	CONTATTATORE KT5	INTERRUTTORE PROIETTORE 7 (75 LUX)
DEMINAZIONE E SGRA						
COEFF. CONTINGENZA	1,00		1,00	1,00		1,00
POTENZA (kW)	6,54		2,18	2,18		2,18
TENSIONE NOMINALE (V)	400	400	400	400	400	400
CORRENTE DI IMPIEGO Ib (A)	10,49		3,50	3,50		3,50
COSTRUTTORE - TIPO	/	ACS - o	/	/	ACS - o	/
ESECUZIONE/N. POLI	3	3	2	2	3	2
CORRENTE NOMINALE In (A)	25	25	6	6	25	6
POTERE DI INTERRUZIONE (kA)	0,375 (1s)	/	6	6	/	6
Ith REL. DIFFERENZIALE (A)	/	/	0,03	0,03	/	0,03
TIPO CAVO	FG16OR16	FG16OR16	FG16OR16	FG16OR16	FG16OR16	FG16OR16
PORTATA CONDUTTORE (A)	57,51 / 34,22	57,51 / 34,22	22	22	57,51 / 34,22	22
SEZIONE FASE (mm²)	3x25 / 3x10	3x25 / 3x10	2x2,5	2x2,5	3x25 / 3x10	2x2,5
LUNGHEZZA LINEA VALLE (m)	/	/	35	35	/	35
SEZIONE NEUTRO (mm²)	/	/	/	/	/	/
QUANTITÀ DI TENSIONE (%)	/	/	0,44	0,44	/	0,44
FASI DELLA LINEA	L1 L2 L3	L1 L2 L3	L1 L2	L2 L3	L1 L2 L3	L1 L3
NOTE						

ALIMENTAZIONE PROIETTORI – ILLUMINAZIONE PISTA DA ATLETICA



AUSILIARI – ILLUMINAZIONE PISTA DI ATLETICA



5.7 Protezione contro i fulmini

La norma CEI 81-10 impone la realizzazione di un collegamento a terra per le strutture metalliche ubicate all'esterno, soltanto quando le stesse possano essere considerate "strutture di notevoli dimensioni".

Una struttura esterna è da considerarsi "struttura di notevole dimensione" quando la frequenza di fulminazione N_d , che rappresenta il numero di fulmini che in un anno possono colpire la struttura stessa, è maggiore di quella tollerata dalla norma N_a .

La frequenza di fulminazione N_d , espressa in fulmini/anno, si ricava con la relazione:

$$N_d = N_t * C * A * 10^{-6} \quad (5.39)$$

dove:

- A è l'area di raccolta dei fulmini [m^2];
- N_t è la frequenza di fulminazione, funzione della zona di installazione [fulmini/anno* km^2];
- C è un coefficiente ambientale che caratterizza la disposizione relativa della struttura rispetto a strutture vicine.

Le torri faro, ai fini della valutazione della frequenza di fulminazione, sono da considerarsi strutture isolate. Il coefficiente ambientale C potrà assumere pertanto i seguenti valori:

- $C = 1$ per strutture isolate in pianura;
- $C = 2$ per strutture isolate ubicate sulla cima di una collina o di una montagna.

L'area di raccolta A viene calcolata con la relazione:

$$A = L * W + 6 * H * (L + W) + 9 * \pi * H^2 \quad (5.40)$$

dove:

- L e W sono le massime dimensioni in pianta della struttura;
- H è l'altezza della struttura.

Verifica protezione contro la fulminazione

Calcolo dell'area di raccolta A :

- l'altezza H della struttura fuori terra viene scelta pari all'altezza della torre faro (25 m) maggiorata di 2 m per tener conto della presenza della piattaforma fissa e dei proiettori: $H = 27$ m;

- le dimensioni massime della piattaforma sono funzione della portata delle torri faro. Quest'ultima dipende da:
 - zona di installazione;
 - categoria del terreno.

L'impianto in questione si trova ad un'altezza di 306 m s.l.m.; rientra quindi nella **zona 1** di installazione (Zona 1: Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia – fino a 1000 m s.l.m.).

Il terreno è di **III categoria** (Categoria III: Aree suburbane o industriali e foreste permanenti).

Considerando quindi l'altezza delle torri faro, la zona di installazione e la categoria del terreno, la piattaforma adatta per l'installazione di numero 8 proiettori asimmetrici ha le seguenti dimensioni:

- **L** = 130 cm;
- **W** = 130 cm.

Cautelativamente, nel calcolo che segue, si andrà a scegliere le seguenti dimensioni:

- **L** = 200 cm;
- **W** = 200 cm.

L'area di raccolta **A** risulta quindi pari a:

$$A = 2 * 2 + 6 * 27 * (2 + 2) + 9 * \pi * 27^2 = 21263,99 \text{ m}^2 \quad (5.41)$$

Scelta del coefficiente ambientale **C**:

- considerato il posizionamento geografico dell'impianto, che si trova in Valbelluna ad un'altezza di 306 m s.l.m., si può tranquillamente affermare che le torri faro, considerate strutture isolate, non sono ubicate sulla cima di una collina o di una montagna: **C** = 1;

Valore del parametro **N_t**:

- la frequenza di fulminazione in funzione della zona di installazione è data direttamente dalla norma CEI 81-10. Per l'impianto argomento di questo elaborato tale frequenza è: **N_t** = 4,57 fulmini/anno*km².

Calcolo del numero di eventi pericolosi **N_d** causati da fulminazione diretta della struttura:

$$N_d = 4,57 * 1 * 21263,99 * 10^{-6} = 0,0972 \text{ fulmini/anno} \quad (5.42)$$

La frequenza di fulminazione tollerata dalla norma è $N_a = 0,1$ fulmini/anno.

Si nota quindi che il valore di N_d risulta inferiore rispetto al valore N_a tollerato dalla norma: è quindi possibile affermare che la “struttura non è di notevole dimensione”. Non si rende necessario effettuare la protezione contro la fulminazione.

5.8 Realizzazione dell’impianto di terra

Verificato nel § 5.7 che le 4 torri faro sono strutture autoprotette, non si rende necessario effettuare la protezione contro gli effetti della fulminazione diretta e l’impianto di terra si renderà necessario solamente per la protezione contro i contatti indiretti.

Per la realizzazione dell’impianto di terra si segue quanto specificato nelle linee guida della LND.

Considerato che la scelta progettuale è caduta su proiettori in classe d’isolamento I, per assicurare la protezione delle persone dai contatti indiretti occorre collegare tutte le masse dell’impianto a terra e proteggere i circuiti di alimentazione con interruttori automatici differenziali in modo che risulti verificata la relazione $R_t \leq 50/I_{dn}$ già descritta nel § 3.6; occorrerà inoltre collegare tutte le masse estranee all’impianto di terra.

L’impianto di terra dovrà essere unico e sarà composto dai seguenti elementi:

- dispersore;
- collettore di terra;
- conduttori di protezione;
- conduttori di equipotenzialità;
- conduttore di terra.

Il dispersore di terra sarà costituito da:

- una corda di rame nuda con sezione di 35 mm^2 direttamente interrata ad una profondità di circa $0,8 \text{ m}$ in corrispondenza di ogni torre faro e all’esterno del plinto di fondazione;
- una corda di rame nuda direttamente interrata ad una profondità di circa $0,8 \text{ m}$ che collega tra loro i 4 dispersori descritti nel punto precedente.

La scelta progettuale di realizzare sostanzialmente un unico dispersore di terra, anche se non necessaria in quanto le masse non sono simultaneamente accessibili, consente di aumentare l’efficienza dell’impianto di terra, riducendo significativamente il valore della resistenza di terra R_t . In secondo luogo, questa scelta permette di effettuare la denuncia all’INAIL (ex ISPESL) e all’ASL di un unico impianto invece che di 4 impianti distinti. Denuncia che, si

ricorda, deve essere fatta obbligatoriamente entro 30 giorni dalla messa in servizio dell'impianto, ovvero dalla data della dichiarazione di conformità rilasciata dall'installatore.

Tutti e 4 i quadri elettrici ubicati alla base delle torri faro **QTFA, QTFB, QTFC e QTFD** saranno dotati di proprio collettore di terra. A questo collettore di terra verranno collegati:

- i conduttori di protezione dei singoli proiettori *Champion* (conduttore giallo-verde del cavo tripolare FG16OR16 di alimentazione dei proiettori);
- il conduttore di equipotenzialità realizzato con cavo tipo FS17 (ex N07V-K) con sezione di 16 mm² per il collegamento a terra della struttura della torre faro. Va sottolineato che il collegamento di equipotenzialità si rende necessario solo se il sostegno rappresenta una massa estranea.

Tutti e 4 i collettori saranno collegati direttamente al dispersore attraverso idoneo conduttore di terra realizzato con cavo tipo FS17 (ex N07V-K) con sezione di 16 mm².

Anche lo scaricatore di sovratensioni SPD (*Surge Protective Device*) verrà collegato, con opportuno conduttore di protezione, al collettore di terra installato all'interno del quadro generale. Ovviamente il collettore sarà poi collegato al dispersore attraverso il conduttore di terra che presenta le caratteristiche sopra descritte.

5.9 Verifiche impianto elettrico

Una volta conclusa la realizzazione dell'impianto elettrico si rendono necessarie tutta una serie di verifiche, ovvero un insieme di operazioni che hanno lo scopo di comprovare la rispondenza dell'intero impianto alle prescrizioni normative. Le specifiche sulle verifiche da effettuare sono riportate nella parte 6 della norma CEI 64-8.

Le verifiche necessarie da compiere sono:

- esame a vista;
- resistenza di isolamento;
- c.d.t. lungo la linea di alimentazione;
- verifica dell'impianto di terra e di protezione;
- verifica dei quadri elettrici;
- verifiche periodiche.

Esame a vista

L'esame a vista deve precedere le prove riportate nell'elenco sopra citato, ed essere effettuato, di regola, con l'intero impianto fuori tensione. Con tale esame occorre accertare l'esistenza della documentazione e degli schemi di progetto e che i componenti elettrici siano:

- conformi alle prescrizioni di sicurezza delle relative norme;
- scelti correttamente e messi in opera in accordo con le prescrizioni normative di riferimento (CEI – UNI);
- non danneggiati visibilmente in modo tale da comprometterne la sicurezza.

Gli esami da eseguire relativi all'impianto elettrico sono elencati nelle norme CEI 64-8 e 64-14.

Resistenza di isolamento

Con apparecchi di illuminazione disinseriti, ogni circuito di illuminazione, all'atto della verifica iniziale, deve presentare una resistenza di isolamento verso terra non inferiore ai valori presenti nella tabella 6 A, contenuta nel capitolo 61 della norma CEI 64-8.

Tabella 5.17. Valore minimo della resistenza di isolamento

Tensione nominale del circuito [V]	Tensione di prova c.c. [V]	Resistenza di isolamento [MΩ]
SELV e PELV	250	≥ 0.25
Fino a 500V compresi, con l'eccezione dei casi di cui sopra	500	≥ 0.5
Oltre 500V	1000	≥ 1

Con apparecchi di illuminazione inseriti, ogni circuito di illuminazione, all'atto della verifica iniziale, deve invece presentare una resistenza di isolamento verso terra che sarà data dalla relazione:

$$\frac{2}{L + N} [M\Omega], \quad (5.43)$$

dove:

- **L** è la lunghezza complessiva dei conduttori delle linee d'alimentazione espressa in km (nel caso in cui la linea avesse una lunghezza inferiore a 1 km si assume il valore 1);
- **N** è il numero degli apparecchi di illuminazione presenti nel sistema elettrico.

Questa misura deve essere effettuata tra ogni conduttore attivo e il conduttore di protezione connesso a terra, con l'impianto predisposto per il funzionamento ordinario e cioè con tutti gli apparecchi di illuminazione inseriti. Per gli scopi di questa prova è possibile anche che i conduttori attivi possano essere collegati assieme.

Eventuali messe a terra di funzionamento dovranno evidentemente essere disinserite durante la prova; se sono presenti conduttori non metallicamente connessi con quello di prova, questi dovranno essere oggetto di misure separate.

Considerando quanto specificato nella tabella 5.17. le misure devono essere effettuate con uno strumento (multimetro o ohmetro) in grado di fornire una tensione continua non inferiore a 500V.

Le misure della resistenza di isolamento devono essere effettuate con qualunque condizione meteorologica e dopo che la tensione è stata applicata da circa 60s.

Caduta di tensione lungo la linea di alimentazione

La c.d.t. nella linea di alimentazione, non tenendo conto del transitorio d'accensione, in condizioni regolari d'esercizio (a pieno carico e, se previsto, con carico parzializzato) non deve superare, come da scelta progettuale, il 3%. Da un punto di vista normativo, trattandosi di un impianto di illuminazione esterna, non dovrebbe superare il 5%.

Quindi, in regolari condizioni d'esercizio, la misura consiste nel rilevare contemporaneamente la tensione ai morsetti d'uscita dell'apparecchiatura di comando e ai morsetti d'alimentazione dei proiettori, modello *Champion*, elettricamente più lontani.

Verifica degli impianti di terra e di protezione

L'impianto di illuminazione del campo sportivo di Santa Giustina prevede la realizzazione dell'impianto di terra, necessario per la protezione contro i contatti indiretti in quanto i proiettori *Champion* scelti, sono in classe d'isolamento I.

A tal proposito, come anche specificato nel § 5.8, è indispensabile procedere con quanto stabilito all'interno del D.P.R. 462/01 che afferma: "Il datore di lavoro deve inviare, entro trenta giorni dalla messa in esercizio dell'impianto di terra e del dispositivo di protezione contro le scariche atmosferiche, la dichiarazione di conformità rilasciata dall'installatore all'ASL/ARPAV e all'INAIL (ex ISPESL)". Nel caso specifico sarà l'Ufficio Tecnico del Comune ad inviare la dichiarazione di conformità.

Il collaudo dell'impianto di terra dovrà prevedere la misura dei valori di resistenza di terra, la prova di continuità su conduttori di protezione (compresi i conduttori per il collegamento equipotenziale principale e supplementare) ed infine la prova di funzionamento del sistema di protezione con interruzione automatica dell'alimentazione (prova di intervento degli interruttori differenziali).

Per l'impianto in questione è stato dimostrato, nel § 5.7, che non è necessario effettuare la protezione contro la fulminazione. Nell'ipotesi che questa si fosse resa necessaria, ecco che servirebbe effettuare la verifica dell'impianto di protezione secondo le modalità descritte dalla norma CEI 81-10.

Si concludono le specifiche sulla verifica degli impianti di terra e di protezione sottolineando che, in luogo della misura della resistenza del dispersore, è ammesso il metodo della misura dell'impedenza dell'anello di guasto.

Verifica dei quadri elettrici

Il quadro elettrico generale **Q2** e i 4 quadri elettrici ubicati alla base delle torri faro **QTFA**, **QTFB**, **QTFC** e **QTFD** devono essere soggetti alle verifiche stabilite dalla norma CEI EN 61439. Le caratteristiche dei quadri che dovranno essere verificate sono:

- robustezza dei materiali e parti del quadro;
- grado di protezione degli involucri;
- distanze di isolamento in aria e superficiali;
- protezione contro la scossa elettrica ed integrità dei circuiti di protezione (effettiva continuità della messa a terra tra le masse del quadro e il circuito di protezione; continuità del quadro per guasti esterni);
- installazione degli apparecchi di manovra e dei componenti;
- circuiti elettrici interni e collegamenti;
- terminali per conduttori esterni;
- proprietà dielettriche (tensione di tenuta a frequenza industriale; tensione di tenuta ad impulso);
- limiti di sovratemperatura;
- tenuta al cortocircuito;
- compatibilità elettromagnetica (EMC);
- funzionamento meccanico.

Verifiche periodiche

Gli impianti elettrici hanno l'obbligo di essere controllati periodicamente e mantenuti in buono stato. La verifica periodica deve garantire la sicurezza delle persone contro i contatti elettrici e le ustioni, la protezione contro i danni alle cose dall'incendio e dal calore che si produce da guasti, la conferma che l'impianto non è danneggiato o deteriorato in modo tale da ridurre la sicurezza e infine l'identificazione dei difetti dell'impianto e lo scostamento dai requisiti della norma CEI 64-8, che possono dar luogo a pericolo.

La verifica periodica consiste nell'esame a vista e, come minimo, nella realizzazione delle seguenti prove:

- la misura della resistenza di isolamento;
- la prova di continuità dei conduttori di protezione;

- la verifica che le prescrizioni per la protezione contro i contatti indiretti siano state soddisfatte;
- la prova funzionale dei dispositivi di protezione differenziale e dei dispositivi di controllo.

Ovviamente i risultati della verifica periodica di un impianto devono essere registrati, così come ogni danno, deterioramento, difetto o condizione di pericolo.

Le verifiche devono essere obbligatoriamente effettuate da persona esperta, competente nella verifica e con strumenti di misura, dispositivi di controllo e metodi che devono essere scelti in conformità con le norme della serie CEI EN 61557.

L'intervallo di tempo della verifica periodica, così come stabilito all'interno dell'edizione VII della norma CEI 64-8, è fissato in 5 anni.

5.10 Documentazione fotografica

In questo paragrafo vengono riportate alcune foto che hanno come obiettivo quello di mostrare i luoghi, all'interno dell'impianto sportivo di via Pulliere, dove potrebbero essere ubicati l'interruttore generale e il quadro elettrico generale, e dove dovrebbero essere installate le torri faro e i relativi quadri elettrici.



Figura 5.5. Possibile ubicazione, all'interno del magazzino contenete il materiale tecnico per l'allenamento, del gruppo di misura e dell'interruttore generale (Q1)

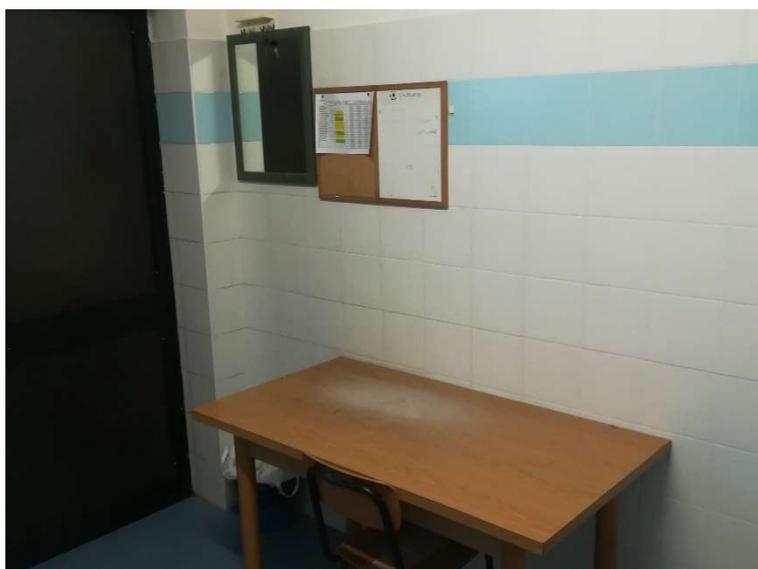


Figura 5.6. Possibile ubicazione, all'interno dello spogliatoio dell'arbitro, del quadro elettrico generale (Q2)



Figura 5.7. Zona di ubicazione della torre faro A e del relativo quadro elettrico (QTFA)



Figura 5.8. Zona di ubicazione della torre faro B e del relativo quadro elettrico (QTFB)



Figura 5.9. Zona di ubicazione della torre faro C e del relativo quadro elettrico (QTFC)



Figura 5.10. Zona di ubicazione della torre faro D e del relativo quadro elettrico (QTFD)

Capitolo 6

Conclusioni

Il controllo della luce dispersa è importante per qualunque tipologia di impianto di illuminazione esterno, ma diventa fondamentale quando si tratta di andare ad illuminare grandi aree e impianti sportivi. Negli ultimi anni quasi tutte le regioni italiane hanno emanato norme per il contenimento dell'inquinamento luminoso, il risparmio energetico nell'illuminazione per esterni e per la tutela dell'ambiente e dell'attività svolta dagli osservatori astronomici.

Il lavoro di tesi svolto offre diversi spunti di riflessione a riguardo, ma soprattutto mette in evidenza quanto uno studio illuminotecnico eseguito correttamente influisca pesantemente sulla scelta finale dei proiettori da utilizzare.

Nei capitoli di questo elaborato è stato possibile verificare che, nonostante la grande diffusione che la tecnologia LED sta avendo in questi ultimi anni nell'illuminazione di interni ed esterni, al momento, per illuminare correttamente un impianto sportivo come quello di via Pulliere che ha dimensioni mediamente grandi, la soluzione che permette di ottenere i requisiti illuminotecnici previsti dalle normative, rispettando anche la legge regionale n.17 del Veneto in tema di contenimento dell'inquinamento luminoso, è quella con lampade a ioduri metallici, assai più collaudata rispetto a quella con lampade a tecnologia LED.

Sul mercato è infatti possibile trovare dei proiettori con lampade a ioduri metallici in grado di illuminare correttamente impianti sportivi di piccole – medie dimensioni e più in generale spazi esterni che presentano problemi di controllo della luce dispersa. Questi proiettori, invece di avere un'effettiva struttura a “vetro piano”, come del resto hanno anche la quasi totalità dei proiettori con lampade a tecnologia LED presenti nel mercato, sono caratterizzati da un vetro frontale inclinato che permette di ottenere un maggiore rendimento ottico, mentre a schermare correttamente il fascio luminoso è lo stesso corpo del proiettore che racchiude il gruppo ottico. Utilizzando quindi proiettori che sfruttano questo concetto ottico ottimizzato, con ottiche asimmetriche, si riescono ad ottenere gli illuminamenti medi e le uniformità richiesti dalle norme, mantenendo l'abbagliamento al di sotto dei valori massimi ammessi e soprattutto limitando al minimo l'inquinamento luminoso provocato dalle emissioni di intensità luminosa per angoli pari o maggiori a 90° rispetto all'orizzonte.

Come già ricordato nelle righe precedenti, nel mercato è possibile trovare una molteplicità di proiettori con lampade a tecnologia LED con una struttura a “vetro piano” e ottiche *full cut-off*, ma come è stato possibile verificare nelle pagine di questa tesi, difficilmente l'ottica

asimmetrica di questa tipologia di corpi illuminanti è ad oggi perfezionata e quasi sempre le case produttrici dei proiettori non sono ancora in grado di fornire i file fotometrici necessari per poter realizzare le simulazioni del caso. Quindi, attualmente, se si vuole illuminare un impianto sportivo come quello di Santa Giustina con proiettori a tecnologia LED è necessario utilizzare proiettori con ottica simmetrica che, seppur ammessi dalla legge regionale n.17, non sono performanti quanto quelli asimmetrici. Tutti questi proiettori sono caratterizzati da un'angolazione di massima intensità troppo ridotta ed è quindi necessario inclinarli, come è stato possibile verificare in questa tesi, per ottenere i livelli di illuminamento e uniformità richiesti dalla norma. Chiaro però che installando questi proiettori inclinati e non perfettamente paralleli alla superficie dell'impianto sportivo, oltre a non rispettare la legge regionale n.17, si possono creare degli indesiderati effetti di abbagliamento agli atleti, agli arbitri e agli spettatori, ma soprattutto si ha un'emissione oltre i 90° che crea un inquinamento luminoso diretto non trascurabile. Basti ricordare, come visto nel § 4.7, che il flusso luminoso diretto verso il cielo sopra i proiettori è, nel caso di un'illuminazione con proiettori a tecnologia LED, quasi mille volte maggiore rispetto a quello ottenibile con un'illuminazione con proiettori che montano lampade a ioduri metallici e che il flusso diretto verso l'alto, a piccoli angoli sopra l'orizzonte (tra 90° e 110°) che si ricorda sono i più critici per quanto concerne l'inquinamento luminoso, è, nella variante con lampade a LED, 50 volte più grande di quello che si ottiene con l'utilizzo di proiettori con lampade a ioduri metallici.

Trascurando per un attimo la legge regionale n.17 e ipotizzando quindi che le varie simulazioni effettuate in questa tesi con le due varianti, quella con lampade a ioduri metallici e quella con lampade a tecnologia LED, siano entrambe realizzabili concretamente, è stato verificato come, al di là di un investimento iniziale che nel caso di proiettori a LED è nettamente più dispendioso, il costo totale dell'impianto in un arco temporale di 25 anni, comprensivo, oltre che dell'investimento iniziale, anche dei costi di manutenzione e dei costi dell'energia elettrica consumata, è, nel caso di un impianto con proiettori a LED, circa la metà di quello di un impianto con proiettori che montano lampade a ioduri metallici. Con questa ultima considerazione si vuole sottolineare che, nel momento in cui nel mercato saranno presenti proiettori a LED con ottiche asimmetriche in grado di soddisfare i requisiti illuminotecnici richiesti rispettando anche quanto stabilito dalla legge regionale n.17, allora sarà conveniente utilizzare prevalentemente proprio questa tipologia di proiettori.

Ringraziamenti

Vista la mia lunga e tortuosa carriera di studente prima e di studente-lavoratore poi, presso l'Università degli Studi di Padova, fare adesso dei ringraziamenti implica sicuramente dimenticare qualcuno che in questi anni, tanti, ha collaborato, in qualunque maniera, affinché oggi potessi raggiungere un traguardo così importante.

Certi traguardi non si raggiungono mai in solitaria e credere di avercela fatta solo grazie alle proprie capacità è certamente un pensiero troppo egoistico per essere vero.

Vale quindi la pena fermarsi un attimo e ringraziare tutte quelle Persone che mi hanno aiutato. Un primo ringraziamento va sicuramente al Prof. Pietro Fiorentin e al Dott. Andrea Bertolo in quanto, grazie alle loro idee e alle loro proposte, sono riuscito a realizzare una tesi che va ben al di là di un "semplice" progetto di illuminazione di un impianto sportivo.

Un grazie va poi a Ennio Vigne, Sindaco del Comune di Santa Giustina e gli Addetti dell'Area Tecnica – Lavori Pubblici, su tutti Susy Foltran, per aver fin da subito apprezzato la mia idea di tesi e per aver collaborato nel fornirmi svariato materiale tecnico risultato fondamentale per la stesura dell'elaborato.

Un ringraziamento è doveroso anche allo Studio Bortot & C. S.a.S. di Santa Giustina, soprattutto a Laura, per le importanti dritte fornitemi nella stesura del capitolo riguardante la progettazione elettrica.

Tra tutti i compagni di Università conosciuti in questi anni, il mio più grande grazie va a Daniele che, con preziosi consigli e appunti di incredibile precisione, ha reso i miei ultimi esami universitari "quasi" facili.

Conclusi i ringraziamenti "tecnici", è giunta l'ora di dire GRAZIE a coloro che in tutti questi anni mi hanno supportato e sopportato.

Un grazie di cuore va alla mia ragazza Celeste che ha sempre creduto in me, apprezzandomi per quello che sono. Con lei ho ritrovato la voglia di riprendere in mano i libri dell'Università dopo qualche anno di "black out" totale. In questi sette e più anni mi è sempre stata vicina, condividendo con me momenti belli, bellissimi, ma anche periodi difficili e preoccupanti, mostrandomi sempre quanto tenga a me e quanto mi ami.

Non posso certo dimenticare di dire grazie a tutti i miei parenti, a tutti i miei amici e a tutte quelle persone vicine a me che in qualunque maniera, anche semplicemente con un in bocca al lupo o una telefonata, si sono ricordati di tutti i miei vari esami e impegni di svariato genere. L'ultimo ringraziamento, quello più grande, va ai miei genitori, senza i quali tutto ciò non sarebbe stato possibile. A mia mamma Mariantonietta e a mio papà Luigi che tanti sacrifici hanno fatto pur di vedermi sorridere, che hanno sempre tifato per me e mi sono stati vicini in tutti questi 33 anni. Loro mi hanno insegnato tanto, hanno saputo consigliarmi in ogni decisione importante e soprattutto mi hanno dato il regalo più prezioso per un figlio e cioè il

loro amore: un amore sincero, incondizionato e pronto a tutto. Senza di loro, oggi, non sarei quello che sono.

Riferimenti

Bibliografia:

G. Moncada Lo Giudice, A. de Lieto Vollaro, *“Illuminotecnica”*, Borghetto Lodigiano (LO), Casa Editrice Ambrosiana (MI), Terza Edizione, ottobre 2007, capitoli 2 – 4 – 5 – 6.

L. Fellin, contributi di R. Caldon, A. De Lorenzi, M. Fauri, *“Complementi di impianti elettrici”*, Padova, Casa Editrice Diade – marchio editoriale di proprietà di Cusl Nuova Vita Coop. Sociale, giugno 1990, capitoli 5 – 8.

TuttoNormel, *“Guide Blu – N. 6 Illuminazione Esterna”*, Torino, Edizioni TNE, marzo 2006, capitoli 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 8 – 13.

TuttoNormel, *“I cavi CPR. Cosa cambia dal 1° luglio 2017”*, Mensile TuttoNormel – Guida all’applicazione delle norme nel settore elettrico, n. 6 giugno 2017, pp. 3 – 11, giugno 2017.

Associazione Italiana Industrie Cavi e Conduttori Elettrici (aice), *“I cavi e il regolamento prodotti di costruzione – CPR UE 305/11. Raccomandazioni dell’industria italiana di cavi e conduttori elettrici”*, settembre 2016.

Nuovo Colombo, *“Manuale dell’ingegnere - 85ª edizione”*, Lavis (TN), Ulrico Hoepli Editore S.p.A. (MI), maggio 2012, volume terzo.

“Manuale Cremonese di ELETTROTECNICA”, quarta edizione, Zanichelli editore S.p.A. (BO), marzo 2015.

Sitografia:

<http://cielobuio.org/wp-content/uploads/cielobuio/lrv17/venetostellato-manuale.pdf>

[https://it.wikipedia.org/wiki/Santa_Giustina_\(Italia\)](https://it.wikipedia.org/wiki/Santa_Giustina_(Italia))

<http://www.tuttitalia.it/veneto/provincia-di-belluno/67-comuni/popolazione/>

http://www.figctolmezzo.com/news/figc_105.pdf

https://it.wikipedia.org/wiki/Lampada_a_scarica

http://www.pancavi.com/webadmin/gestione_pagine/documenti/350952037SIDERPALI.pdf

<https://b2b.dial.de/index.php/s/59cd037dcc33e6c53b9b8dc19b7eb59a#pdfviewer>

http://www.fidal.it/upload/files/GGG/Formazione/GGG_PRONTUARIO_mar_2012.pdf

<http://impiantistica.coni.it/images/impiantistica/norme%20coni.pdf>

http://www.eventi.saie.bolognafiere.it/media/saie/presentazioni%20sba/sala%20A/Manuale_Presicci.pdf

<http://www.thornlighting.it/it-it/prodotti/illuminazione-per-esterni/proiettori-per-impianti-sportivi/Champion/champion-2kw/96261235>

http://www.osram.com.au/osram_au/products/lamps/high-intensity-discharge-lamps/metal-halide-lamps-with-quartz-technology/powerstar-hqi-ts424850/index.jsp?productId=ZMP_1009335

<http://www.amstra.it/fari-proiettori-led/faro-proiettore-led-titan-evo-4s/#1471012502893-c37a31ab-0ce3>

<http://www.cree.com/led-components/products/xlamp-leds-discrete/xlamp-xp-g3>

<https://www.schneider-electric.it/documents/supporto/librerie/Guida-BT-2012.pdf>

<http://apps.gewiss.com/CATALOGO/IT/IlluminazioneSportiva2/files/assets/common/downloads/IlluminazioneSportiva.pdf>

<http://www.hager.it/prodotti/distribuzione-energia/protezione/interruttori-automatici-magnetotermici/6042.htm>

http://www.latrivenetacavi.com/it/cavi_categorie.aspx?type=195

http://www.sirci.it/public/File/SIRCI/corrugati_cavidotti.pdf

<https://www.inail.it/cs/internet/docs/alg-impianti-di-protezione-contro-le-scariche-atmosferiche.pdf>