

PNRR - Misura M2.C2 - Intervento 4.2 Sviluppo Trasporto Rapido di Massa

Realizzazione Trasporto Rapido Costiero Rimini Fiera - Cattolica
2^a tratta Rimini FS - Rimini Fiera (CUP D91E20000170001)

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA



IMPIANTI

RELAZIONE TECNICA

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

Ing. Roberto D'Andrea

Gruppo di lavoro

Arch. Gilberto Avella
Ing. Arianna Bichicchi
Sig.ra Elisa Canevari
Geom. Barbara Dominici
Arch. Matteo Massanelli



SUPPORTO SPECIALISTICO

Geologia e modellazione sismica
Responsabile - Dott. Geol. Carlo Copioli
Collaboratori - Dott. Geol. Gianni Amantini
- Dott. Geol. Fabio Vannoni
Indagini Geognostiche - INTERGEO S.r.l.
Risoluzioni Interferenze - Ing. Gianluca Vitali
Piano del verde - Arch. Serena Corbelli

PROGETTAZIONE



architecna
engineering



Ing. Andrea
Spinosa

Responsabile integrazione prestazioni specialistiche

Ing. Pietro Caminiti

Responsabili di Disciplina

Ing. Pietro Caminiti - *Infrastruttura*
Ing. Maurizio Falzea - *Opere Strutturali*
Ing. Angela Tortorella - *Impianti*
Arch. Alessandro Cacciatore - *Architettura e Sistemazioni Urbane*
Ing. Massimo Plazzi - *Idrologia e Idraulica*
Ing. Davide Salvo - *Capitolati e Documenti Economici*
Ing. Fabrizio Conti - *Coordinatore Sicurezza in fase di Progettazione*
Ing. Andrea Spinosa - *Pianificazione dei trasporti e ACB*
Dott. Geol. Ignazio Giuffré - *Geologia*

SUPPORTO SPECIALISTICO

Ambiente

SIMINGEGNERIA

Archeologia

Akanthos S.r.l.

COMMESSA

TRC2

FASE

PFTE

DISCIPLINA

SIS

TIPO/NUMERO

RT001

REV.

A

SCALA

-

NOME FILE

TRC2-PFTE-SIS-RT-001-A

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	FEB_2023	EMISSIONE	A. STURNIOLO	A. TORTORELLA	P. CAMINITI
B	-	-	-	-	-
C	-	-	-	-	-

SOMMARIO

1. Premessa.....	2
2. IMPIANTI TECNOLOGICI DI LINEA	2
2.1. Sistema di alimentazione elettrica.....	2
2.1.1. SSE Rimini Fiera.....	3
2.1.2. Sistema di telecomando e telecontrollo.....	5
2.1.3. Dimensionamento preliminare dell’impianto di trazione elettrica.....	6
2.2. Linea di contatto	8
2.2.1. Calcolo tipologico delle sollecitazioni e verifica dei sostegni	8
2.3. Impianti di ausilio e regolamentazione dell’esercizio.....	40
2.3.1. Posto Centrale di Controllo (PCC).....	40
2.3.2. Regime di blocco delle tratte a singola via di corsa (SVC)	41
3. IMPIANTI di fermata	41
3.1. Impianto LFM	41
3.2. Predisposizioni per impianti di Sistema	42
4. IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE PUBBLICA.....	43
4.1. Prescrizioni normative.....	43
4.2. Funzionalità.....	44
4.3. Criteri di qualità nell’illuminazione stradale	45
4.4. Individuazione delle categorie illuminotecniche	46
4.5. Rispondenza ai criteri ambientali minimi.....	50
4.6. Criteri di dimensionamento elettrico.....	50
4.6.1. Protezione contro i contatti indiretti.....	50
4.6.2. Protezione contro i contatti diretti.....	51
4.7. Descrizione dell’impianto.....	51
4.8. Impianti tecnologici sottovie e sottopassi	52

1. PREMESSA

Quanto descritto in queste pagine costituisce la Relazione tecnica degli impianti del progetto di fattibilità tecnico economica (PFTE) per la realizzazione dell'infrastruttura Trasporto Rapido Costiero Rimini Fiera – Cattolica (2° tratta Rimini FS – Rimini Fiera).

L'intervento per la realizzazione del Sistema di Trasporto Rapido Costiero "Ravenna – Cattolica" (TRC) si inquadra nell'ambito dei programmi della Regione Emilia - Romagna orientati a creare un sistema di trasporto pubblico, rapido ed efficiente, a servizio della riviera romagnola tra Ravenna e Cattolica.

Si tratta di una infrastruttura che si svilupperà lungo la Riviera Romagnola e avrà come target la mobilità di breve e brevissimo raggio.

Il presente progetto è relativo alle opere di realizzazione della 2^a tratta estensione a nord Rimini FS – Rimini Fiera di lunghezza pari a 4,2 km, che risulta essere la naturale estensione ed integrazione della tratta centrale (Rimini FS – Riccione FS), aperto al pubblico esercizio dal novembre 2019.

La direttrice Rimini Stazione FS - Rimini Fiera è stata pertanto indirizzata sulla stessa filosofia tecnica e tecnologica della tratta centrale attraverso la progettazione di una infrastruttura di trasporto metropolitano di tipo leggero appartenente ai sistemi intermedi tipo "Bus Rapid Transit" – busvia ad alto livello di servizio - in sede segregata e protetta, attrezzata con un impianto di trazione elettrica ai fini dell'utilizzo di filopodati equipaggiati con sistemi di ausilio all'esercizio e di regolamentazione delle tratte a singola via di corsa ad alto livello di sicurezza che utilizzerà materiale rotabile a due casse di lunghezza fino a 18,75 m avente elevati standard tecnologici e di comfort per l'utenza.

2. IMPIANTI TECNOLOGICI DI LINEA

2.1. SISTEMA DI ALIMENTAZIONE ELETTRICA

La linea sarà alimentata da una sottostazione elettrica di conversione, denominata SSE Rimini Fiera, posta a circa 3.000 m dalla SSE Rimini FS già esistente sulla linea 1 del TRC, che provvederà ad alimentare in maniera bilaterale il primo tratto dell'estensione a nord, ad una tensione nominale di 750 Vcc.

Quindi ci sarà una alimentazione elettrica bilaterale nella prima tratta da Rimini FS e l'altra tratta avrà l'alimentazione a sbalzo fino alla Fiera per una lunghezza di circa 1.200 m.

La sottostazione verrà collegata alla linea con alimentazione bilaterale.

Ogni 300 / 350 m di linea saranno messi in opera collegamenti equipotenziali tra i fili di contatto.

Prima del collegamento ai fili di contatto risalite saranno disposti sezionatori bipolari, e tra i pali di sostegno contrapposti verranno amarrate due funi di acciaio parallele per la sospensione degli isolatori di sezione al fine della separazione delle tratte di alimentazione.

2.1.1. SSE Rimini Fiera

La nuova Sottostazione elettrica sarà realizzata in muratura, in un'area adiacente la fermata n. 5, alla progr. 3+000,00 circa, e sarà costituita da celle MT, n°2 trasformatori di gruppo da 890kVA, n°2 convertitori CA/CC, n°2 celle extrarapidi, n° 1 trasformatore servizi ausiliario da 15kVA, n°1 quadro SA con batterie e carica batterie, n°1 quadro di comando ed automazione, cavi per interconnessione alle linee di contatto e sistema di messa a terra interrato.

Si prevede anche la fornitura e posa in opera di un prefabbricato in c.a.v. per i locali di consegna ENEL, sarà del tipo omologato secondo la DG 2092, avente dimensioni esterne pari a m. 6,70 x 2,50 x 2,60 (l x p x h), suddivisa in due vani (Vano ENEL + Vano MISURE) con all'interno i seguenti equipaggiamenti:

- impianto elettrico interno d'illuminazione con lampade secondo tab ENEL DY3021;
- n.2 porte a due ante in VTR omologate ENEL DS 919 complete di serrature DS 988;
- n.1 porta ad un'anta in lamiera zincata e verniciata omologata ENEL completa di serratura;
- n.1 cassetta porta chiavi;
- n.2 griglie di ventilazione in VTR omologate ENEL dim. mm 1200 x 500;
- n.1 plotta di copertura in VTR per l'accesso alla vasca di fondazione dim. mm 1000 x 600 (vano ENEL);
- n.1 plotta di copertura in VTR per l'accesso alla vasca di fondazione dim. mm 600 x 600 (vano misure);
- n.1 quadro per servizi ausiliari omologato ENEL DY3016/3;
- n.2 aspiratori eolici in acciaio inox;
- elementi di copertura cunicoli;
- n.4 canalette per l'uscita delle acque piovane;
- n.1 passante in materiale plastico per l'uscita cavo alimentazione temporanee;
- n.1 sistema passacavo a parete per cavi antenna;
- n.1 armadio rack omologato ENEL DY 3005;
- n.1 Telaio supporto quadri BT DS3055.

La sottostazione dovrà essere realizzata in modo tale da poter funzionare con sovraccarico del 100% per due minuti con un ciclo/ora e del 50% per quattro ore con un ciclo ogni 6 ore. Sarà inoltre equipaggiata con circuito per effettuare il test di linea per verificare l'integrità della linea stessa, dando il consenso al comando alla chiusura dell'interruttore extrarapido e con dispositivo atto ad individuare sulla linea un sovraccarico od un cortocircuito per il comando di apertura dell'interruttore extrarapido. Sarà realizzato l'impianto di terra di protezione ed equipotenziale.

Oltre al normale impianto di illuminazione è previsto impianto per forza motrice ed impianto luce di emergenza.

La sottostazione, partendo dalla fornitura a 15KV a 50Hz, sarà composta da:

- unità di MT prefabbricate di sezionamento e protezione con arrivo cavi e risalita, con interruttore-sezionatore di manovra in esafluoruro di zolfo, trasformatori di corrente e di tensione, strumenti di misura, linea trasformatore di potenza con interruttore in esafluoruro di zolfo;
- n. 2 trasformatori di potenza, con isolamento in resina epossidica, idonei ad alimentare i raddrizzatori al silicio a doppio ponte di Graetz, del tipo trifase con doppio secondario con reazione dodecafase, e potenza di 890 kVA.

Ogni trasformatore dovrà possedere le seguenti caratteristiche:

- ✓ tensione primaria 15.000 V \pm 2,5%
- ✓ tensione concatenata a vuoto di ogni avvolgimento 750 V
- ✓ frequenza 50 Hz
- ✓ classe di isolamento F
- ✓ collegamenti primario a triangolo,
- ✓ secondari stella e triangolo
- ✓ sovraccarico 100% per 2 minuti (un ciclo ora)
- ✓ 50% per 4 ore (un ciclo 6 ore)
- ✓ temperatura massima avvolgimenti 100 °C
- ✓ tensione di corto circuito 8%
- n. 1 trasformatore trifase per l'alimentazione dei servizi ausiliari con raffreddamento in resina epossidica, potenza 50 KVA, con le seguenti caratteristiche:
 - ✓ tensione primaria 15.000 V \pm 2,5%
 - ✓ tensione concatenata a vuoto di ogni avvolgimento 750 V
 - ✓ frequenza 50 Hz
 - ✓ classe di isolamento F
 - ✓ collegamenti primario a triangolo,
 - ✓ secondari stella e triangolo
 - ✓ temperatura massima avvolgimenti 100 °C
- n. 1 quadro CC costituito da:
 - n. 2 raddrizzatori al silicio con diodi collegati a ponte di Graetz con reazione dodecafase, con le seguenti caratteristiche:
 - ✓ tensione raddrizzata nominale 750 V
 - ✓ tensione massima a vuoto 900 V
 - ✓ sovraccarico 100% per 1 minuto (un ciclo ora)
 - ✓ 50% per 2 ore (un ciclo 6 ore)
 - ✓ Raffreddamento AN
 - n. 2 interruttori extrarapidi del tipo unipolare in aria a soffio magnetico, per installazione all'interno, e con le seguenti caratteristiche principali:

- ✓ tensione nominale 1.000 V
- ✓ tempo massima di apertura 12 ms
- ✓ tensione ausiliari 110 V

L' interruttore dovrà essere montato su carrello con ruote, e dotato di comando di emergenza manuale. Inoltre, dovrà essere dotato di un apposito circuito per il test di linea e di un rivelatore di guasto della linea di contatto che però dovrà essere insensibile ad improvvisi incrementi di assorbimento di corrente dovuti a contemporanei avviamenti di filobus. Tale dispositivo dovrà essere corredato da:

- ✓ contatore del numero di interventi
 - ✓ regolatore della soglia di intervento
 - ✓ segnalazione ottica di intervento
 - ✓ spia funzionamento in corso
- n. 1 quadro di bassa tensione realizzato in lamiera di acciaio con spessore non inferiore a 2 mm, verniciato con polveri termoindurenti a base di resine epossidiche e poliestere. Le apparecchiature devono essere dotate di targhette per l'identificazione delle utenze. Tutti gli interruttori dei quadri elettrici dovranno essere provvisti di protezione magnetotermica per ogni polo interrotto. La portata degli interruttori dovrà essere dimensionata per una corrente pari ad 1,5 volte la corrente di esercizio.

I conduttori per linee di terra ed equipotenziali dovranno essere del tipo FS17, mentre per energia, comandi e segnalazioni del tipo FG16OR16.

Sezionatori, che dovranno essere del tipo in aria a lame simultanee, per installazione all'interno, saranno dotati di comando rinvio fronte cella con serrature a interblocchi meccanici di sicurezza. Le aste del comando rinvio dovranno essere rese elettricamente discontinue tramite interposizione di isolatore. Gli scaricatori saranno del tipo a condensatore e resistore con spinterometro.

Gli accumulatori saranno del tipo stazionario al Pb in contenitore plastico ermetico, e per il relativo soccorritore. Tensione nominale degli elementi 2V, capacità 250 Ah a 25°C. Il relativo carica batterie sarà con raddrizzatore al silicio a due rami per ricarica accumulatori e contemporanea alimentazione dei carichi alimentati a 110 Vcc. Il raddrizzatore carica batterie, equipaggiato con trasformatore di isolamento, dovrà essere alimentato dalla rete a 400V, 50 Hz.

Il posto periferico a microprocessore dovrà essere equipaggiato per la gestione autonoma e la trasmissione dei segnali relativi alle segnalazioni, comandi e misure in numero adeguato alle esigenze dell'esercizio.

2.1.2. Sistema di telecomando e telecontrollo

Si prevede per la nuova SSE un sistema di telecomando, volto alla gestione dei nuovi apparati di alimentazione, che includerà sia il Sistema di Controllo Locale che l'adeguamento del Posto Centrale di Telecomando Remoto, per l'inserimento della nuova sottostazione.

Le sottostazioni elettriche esistenti sono già dotate di un sistema di telecomando e telecontrollo delle apparecchiature presenti.

È prevista la fornitura e posa di un'Unità di Controllo (RTU) dedicata al governo della sottostazione; ai moduli di I/O di tale unità vengono riportati direttamente i segnali ed i comandi relativi alle apparecchiature elettriche di sottostazione. Il controllo locale viene eseguito attraverso un pannello sinottico gestito dalla stessa Unità di Controllo. Il collegamento con il Posto Centrale di Telecomando viene eseguito direttamente dall'Unità di Controllo.

Il posto periferico a microprocessore dovrà essere equipaggiato per la gestione autonoma e la trasmissione dei segnali relativi alle segnalazioni, comandi e misure in numero adeguato alle esigenze dell'esercizio.

La comunicazione tra la sottostazione ed il Posto Centrale di Telecomando si basa su un'infrastruttura di comunicazione in fibra ottica.

2.1.3. Dimensionamento preliminare dell'impianto di trazione elettrica

E' stata sviluppata una verifica preliminare del sistema elettrico di trazione, con analisi delle tensioni minime in linea, del carico di sottostazione e del corretto dimensionamento delle condutture.

Come già detto, la linea sarà alimentata da una sottostazione elettrica di conversione, denominata SSE Rimini Fiera, posta a circa 3.000 m dalla SSE Rimini FS già esistente sulla linea 1 del TRC, che provvederà ad alimentare in maniera bilaterale il primo tratto dell'estensione a nord, ad una tensione nominale di 750 Vcc.

Quindi ci sarà una alimentazione elettrica bilaterale nella prima tratta da Rimini FS e l'altra tratta avrà l'alimentazione a sbalzo fino alla Fiera per una lunghezza di circa 1.200 m.

E' stato considerato lo scenario di traffico filoviario con cadenzamento a 5 minuti, che prevede un numero massimo di 6 vetture in linea sulla nuova tratta.

I parametri elettrici considerati sono:

- ✓ Potenza di cortocircuito trifase della rete di alim. a monte MT: 325MVA (12,5kA)
- ✓ Tensione primaria di alimentazione 15kV - 10%
- ✓ Potenza apparente nominale del trasformatore di trazione 890kVA
- ✓ Tensione di corto circuito 8%
- ✓ Tensione secondaria 666V
- ✓ Tensione a vuoto lato continua 8031V
- ✓ Sezione dei conduttori del bifilare 100mmq
- ✓ Resistenza dei conduttori del bifilare a 20°C 0.178W/km
- ✓ Temperatura di funzionamento del bifilare 70°C
- ✓ Usura del bifilare 20%
- ✓ Alimentatori in cavo tipo RG16H1R12 di sezione 1x240mmq
- ✓ Feeder ausiliario in cavo tipo RG16H1R12 di sezione 1x240mmq
- ✓ Resistenza del cavo tipo RG16H1R12 A 20°C 0.0754W/km
- ✓ Temperatura di funzionamento del cavo tipo RG7H1R 60°C

E' stata considerata la configurazione bilaterale, ovvero esercendo l'impianto con le sottostazioni in parallelo, in cui ogni sezione di tracciato risulta alimentata in modo bilaterale dalle due SSE adiacenti

(ad eccezione del tratto di terminale di estremità a partire dal km 3+000). L'alimentazione di tipo bilaterale inoltre permette, nel caso di un totale fuori servizio di una delle sottostazioni, di garantire ugualmente la continuità dell'esercizio che potrà solamente subire una dilatazione della frequenza delle corse.

Le simulazioni sono state eseguite considerando due gruppi di trazione in funzionamento per ogni sottostazione (trasformatori da 890 kVA) e linee di contatto dei due sensi di marcia collegate tra loro in parallelo ogni 300m.

Per ogni fermata è stato ipotizzato un tempo di sosta pari a 20 secondi per la discesa e salita dei passeggeri; per quanto riguarda invece le fermate al capolinea si è ipotizzato un tempo pari a cinque minuti per l'inversione del senso di marcia del mezzo. Per quanto riguarda la velocità del mezzo sono stati imposti dei limiti: prima e dopo ogni rotonda, si è ipotizzato di non superare i 20-25 km/h mentre nei tratti rettilinei di non superare 70 km/h.

Per garantire sulla linea di trazione livelli di tensione in accordo a quanto definito nella normativa europea CEI EN 50163:2004, con cadenzamento a 5 minuti, è necessario prevedere un'alimentazione della linea di tipo bilaterale e inoltre prevedere l'installazione di un feeder di rinforzo di tipo RG12H1R12 1,8/3kV in Cu con sezione 1x240mmq per polarità. Tali conduttori saranno posati nel cavidotto di linea. La connessione alla linea verrà realizzata con un cavo di tipo 1x120mmq FG7R 1,8/3kV, derivato mediante un giunto a "T" dal feeder.

Considerando la tratta terminale, da progr. 3+000,00 a progr. 4+247,34, quale condizione più critica, si ottiene:

Lunghezza tratta	[km]	1,3
R Doppio bifilare	[Ohm/km]	0,21
R cavo 240 mmq	[Ohm/km]	0,08
R // Doppio bifilare con cavo	[Ohm/km]	0,057931034
R loop	[Ohm]	0,075310345
R SSE	[Ohm]	0,043
R totale	[Ohm]	0,118310345
V0 SSE	[V]	750
R totale	[Ohm]	0,118310345
I filobus	[A]	500
N. max filobus		2
I totale filobus	[A]	1000
Caduta di tensione	[V]	118,3103448
Tensione Minima a fine linea	[V]	631,6896552

2.2. LINEA DI CONTATTO

La linea di trazione elettrica sarà realizzata con sistema di sospensione elastica di tipo autocompensato.

In funzione delle differenti tipologie, le strutture di sostegno saranno con sistema di sospensione Linea di Contatto-Mensola in lega di Alluminio o sistema di sospensione Linea di Contatto-Trasversale. Per entrambe le tipologie viene rispettato il principio di doppio isolamento, così come tra i due singoli fili di contatto componenti il bifilare per qualsiasi configurazione. Sono previste configurazioni con doppio bifilare a doppia via di corsa e doppio bifilare a singola via di corsa, oltre al singolo bifilare in singola via di corsa.

La LdC sarà di tipo fissa non contrappesata, con filo di contatto sagomato con sezione nominale 100mmq, secondo la norma CEI-EN 50149 e sospensione del filo di contatto del tipo autocompensata. La scelta del tipo di sospensione auto-compensata è derivata dal fatto che risulta possibile con questo sistema avere campate fino ad un massimo di 35 m. In generale la sospensione elastica comporta anche i seguenti vantaggi:

- eliminazione dei punti rigidi della linea in corrispondenza delle sospensioni dei conduttori che ne producono un'anomala usura sotto la spinta del pattino di presa di corrente di circa 10 daN;
- attenuazione della variazione della tensione meccanica nei conduttori dovuta alla variazione della temperatura;
- possibilità di realizzare campate in rettilineo fino a 35 m, con curva di posa 9 daN/mm² a – 20° C con fili scarichi;
- buona stabilità di accoppiamento tra pattino di presa di corrente e conduttore con conseguente riduzione di scarrucolamenti.

I pali di sostegno saranno troncoconici a sezione ottagonale in acciaio zincato a caldo secondo norma CEI 7.6, con blocchi di fondazione a forma di parallelepipedo in calcestruzzo completamente interrati a sezione quadrata.

I fili di contatto verranno posati ad un'altezza dal manto stradale di 5,20 m ed in posizione centrale alla corsia di marcia, tenendo i conduttori di polarità positiva dei due bifilari ad una distanza tra loro non minore di 0,60 m.

Presso il capolinea della linea esistente di Rimini Stazione, sarà necessario adeguare la geometria dell'impianto esistente, per l'ancoraggio degli scambi e per la modifica della sospensione e della linea esistente. I previsti bifilari si innestano, così come il percorso, al capolinea Rimini FS, sulla prima tratta già realizzata Rimini FS - Riccione FS, tramite scambio elettrico in direzione Fiera e scambio meccanico per inserirsi in direzione Rimini.

2.2.1. Calcolo tipologico delle sollecitazioni e verifica dei sostegni

Si riportano di seguito un calcolo tipologico di stabilità dei sostegni della linea di contatto.

Le analisi strutturali e le verifiche di sicurezza sono state effettuate in accordo con le prescrizioni contenute nelle seguenti normative vigenti:

NORMA ITALIANA “CEI 11-4” - Esecuzione di linee elettriche aeree esterne

NORMA ITALIANA “CEI EN 50119” – Applicazione ferrovie, tranvie, filoviarie e metropolitane – Impianti fissi – Linee aeree di contatto per trazione elettrica

NORMA ITALIANA “CEI EN 50125-2” – Applicazione ferrovie, tranvie, filoviarie e metropolitane – Condizioni ambientali per gli equipaggiamenti

NORMA UNI EN 1991-1-1 – Azioni sulle strutture

IPOTESI DI CALCOLO E CARICHI UNITARI SULLE FUNI E SUI FILI

Le ipotesi di calcolo, i dati climatici e le relative azioni da sovraccarico vengono determinate sulla base Capitolo 6.2 della CEI EN 50119 di cui si esplicita il contenuto:

6.2 Azioni sulle linee aeree di contatto

6.2.1 Introduzione

I valori caratteristici, concernenti i dati climatici, delle azioni sulle linee sono derivati dalla EN 50125-2. L'insieme delle azioni costituisce un sistema di progetto completo specialmente tenendo in considerazione i casi di carico stabiliti.

Le azioni sulle linee aeree di contatto sono considerate come azioni quasi-statiche che non richiedono la verifica della sollecitazione a fatica.

Le azioni dinamiche dovute alla interazione pantografo/linea di contatto conseguente alla circolazione dei filobus sono di ridotta entità e non vengono presi in considerazione.

6.2.2 Carichi permanenti

I pesi propri dei sostegni e delle loro apparecchiature quali mensole, dispositivi di tensionamento (regolazione del tiro), isolatori e fili di sostegno trasversali agiscono come carichi permanenti. Il valore caratteristico è GK.

6.2.3 Carichi variabili

La variazione della tensione delle apparecchiature di ormeggio fisso è determinata in base ad ogni singolo caso di carico, come di seguito:

- *conduttore sotto l'azione del carico del ghiaccio;*
- *conduttore alla temperatura di progetto e alla temperatura minima;*
- *conduttore sotto l'azione del massimo carico del vento;*
- *conduttore sotto l'azione combinata dei carichi del ghiaccio e del vento. Il valore caratteristico è Q_{CK} .*

6.2.4 Carichi dovuti al vento

6.2.4.1 Generalità

Il progetto delle linee aeree di contatto, considerati i carichi del vento, si basa sulla velocità del vento misurata dieci metri al di sopra del terreno, mediata su un periodo di dieci minuti, in uno spazio relativamente aperto caratterizzato da un terreno di categoria II conformemente alla EN 1991-1-4. Per il progetto strutturale dei sostegni i valori delle velocità del vento in 50 anni sono dati nella EN 50125-2.

Il progetto dei carichi del vento agenti su linee aeree di contatto è eseguito con il metodo descritto nei paragrafi da 6.2.4.2 a 6.2.4.7 della CEI EN 50119.

6.2.4.2 Pressione dinamica del vento

La pressione dinamica del vento q_k misurata in daN/m^2 agente sugli elementi di linea aerea di contatto è determinata mediante la seguente formula:

$$q_k = \frac{1}{2} * G_q * G_t * \rho * V_R^2 = \frac{1}{2} * 2,05 * 1 * 1,307 * 21,67^2 = 62,9 daN/m$$

dove

G_q è il fattore di risposta alle raffiche di vento così come definito nella ENV 1991-2-4:1995. Per le linee aeree di contatto di altezza pari a circa 10 m, G_q è assunto pari a 2,05;

G_t è il fattore caratteristico del terreno che tiene in considerazione la protezione delle linee, per esempio nelle trincee, negli attraversamenti delle città e delle foreste. Negli spazi aperti G_t è 1,0;

V_R è la velocità di riferimento del vento in m/s ad un'altezza di 6 m al di sopra del terreno, mediata su un intervallo di 10 minuti, con un periodo di ritorno in accordo con 6.2.4.1, la cui determinazione avviene attraverso la seguente formula definita dalla CEI EN 50125-2:

$$V_R = V_{10} * (h/10)^\alpha =$$

dove:

V_{10} è la velocità misurata a 10 metri da terra avente un tempo di ritorno pari a 50 anni dedotta dalla ENV 1991-2-4;

α parametro di andamento accidentato in relazione alla categoria del terreno assunto pari a 0,28 per i centri città in accordo alla CEI EN 50125-2;

h è l'altezza da terra del conduttore max 6 metri.

ρ è la densità dell'aria, pari a $1,225 kg/m^3$ a $15^\circ C$ e 600 m di altitudine, variabile in funzione dell'altitudine e temperatura con la seguente formula:

$$\rho = 1,225 * (288/T) * e^{-1,2*10^{-4}*H} = 1,225 * (288/268) * e^{-1,2*10^{-4}*57} = 1,307 kg/m^3$$

dove

T è la temperatura assoluta in K pari a $268^\circ K$ ($-5^\circ C$);

H è l'altitudine del Comune.

6.2.4.3 Forze del vento sui conduttori

La pressione del vento sui conduttori determina forze trasversali alla direzione della linea. La forza agente su un sostegno per effetto dell'azione del vento sulle due campate adiacenti è determinata mediante la formula:

$$Q_{wc} = q_k * G_C * d * C_C * (L_1 + L_2) * \frac{1}{2} * \cos^2 \phi$$

dove

q_k è la pressione dinamica caratteristica del vento pari a 62,9 daN/m (fare riferimento a 6.2.4.2);

G_C è il fattore di risposta strutturale dei conduttori che tiene in considerazione la risposta dei conduttori mobili al carico del vento. Il fattore G_C dovrebbe essere determinato sulla base dell'esperienza nazionale. Un valore ampiamente accettato sarebbe $G_C = 0,75$;

d è il diametro del conduttore;

C_C è il coefficiente di resistenza del conduttore assunto pari ad 1,0;

L_1, L_2 sono le lunghezze delle due campate adiacenti;

ϕ è l'angolo d'incidenza della direzione critica del vento rispetto alla perpendicolare al conduttore, in generale si assume ϕ pari a zero.

6.2.4.4 Forze del vento su isolatori ed altri accessori di linea

La forza del vento su un isolatore agisce in corrispondenza del punto di attacco al sostegno nella direzione del vento e è determinata mediante la formula:

$$Q_{Wins} = q_k * G_{ins} * C_{ins} * A_{ins}$$

dove

q_k è la pressione dinamica caratteristica del vento (fare riferimento a 6.2.4.2);

G_{ins} è il fattore di risonanza strutturale per gli isolatori. Si assume un valore di 1,05;

C_{ins} è il coefficiente di resistenza degli isolatori. Si assume un valore di 1,2;

A_{ins} è l'area della proiezione orizzontale dell'isolatore su un piano verticale perpendicolare all'asse dell'azione del vento.

La forza del vento sugli altri componenti è calcolata mediante l'equazione di cui sopra con la dovuta considerazione di appropriati coefficienti di resistenza. In molti casi i carichi del vento su isolatori o altri accessori di linea sono molto bassi rispetto ai carichi di altra natura.

6.2.4.5 Forze del vento su campate trasversali e mensole

Le forze del vento agenti su travi trasversali, sospensioni trasversali e campate trasversali come pure sulle mensole sono determinate considerando le azioni del vento sui conduttori determinate mediante le formule specificate in 6.2.4.3.

6.2.4.5.1 Forze del vento su pali

La pressione caratteristica del vento $q_{(z)}$, in N/m^2 , per qualsiasi specifica altezza del suolo, z , è ottenuta dall'equazione seguente:

$$q_{(z)} = \delta \times \beta \times f \times C_{e(z)} \times q_{(10)}$$

dove:

δ è un coefficiente che dipende dalle dimensioni del palo; detto coefficiente è dato dalla seguente relazione:

$\delta = 1 - 0.01xh$ dove h è l'altezza nominale in metri del palo

β è un coefficiente che dipende dal comportamento dinamico del palo;

$\beta = 1,5$ (fissato tramite dati tabellari)

f è un coefficiente topografico;

$f = 1$

$C_{e(z)}$ è un coefficiente che dipende dalle caratteristiche del terreno del luogo di installazione e dall'altezza dal suolo z ;

$C_{e(z)} = 1,78$ (fissato tramite dati tabellari)

$q_{(10)}$ è la pressione del vento di riferimento data dalla seguente formula:

$$q_{(10)} = 0,5 \times \rho \times (C_s)^2 \times V_{ref}^2 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

dove:

V_{ref} è la velocità misurata a 10 metri da terra avente un tempo di ritorno pari a 50 anni dedotta dalla ENV 1991-2-4 che;

$$V_{ref} = C_{ALT} \times V_{ref,0} = 25 \text{ m/s}$$

$V_{ref,0}$ è il valore di base della velocità del vento di riferimento a 10 m sul livello del mare, ottenuta dalle carte del vento

C_{ALT} è un coefficiente di altezza fissato a 1,0

ρ è la densità dell'aria, pari a $1,225 \text{ kg/m}^3$ a $15 \text{ }^\circ\text{C}$ e 600 m di altitudine, variabile in funzione dell'altitudine e temperatura con la seguente formula:

$$\rho = 1,225 * (288/T) * e^{-1,2*10^{-4}*H} = 1,225 * (288/268) * e^{-1,2*10^{-4}*57} = 1,307 \text{ kg/m}^3$$

C_s è il coefficiente di conversione di V_{ref} da una probabilità annuale di superamento di 0,02 in altre probabilità, viene posto pari a 1 mantenendo pertanto periodo di ritorno di 50 anni

$C_s = 1$

Viene assunto un valore di riferimento $q_{(z)} = 0,00992 \text{ daN/cm}^2$ riferito ad un palo da 8 metri.

6.2.5 Carichi dovuti al ghiaccio

I carichi del ghiaccio si determinano per accumulo dovuto a brina, deposito di neve/ghiaccio e neve bagnata sui conduttori delle linee aeree di contatto. I carichi caratteristici del ghiaccio g_{IK} dipendono dal clima e dalle condizioni locali, per es. dall'altitudine, dalla vicinanza di laghi e dall'esposizione al vento. Le definizioni per i carichi del ghiaccio sono date nella EN 50125-2.

6.2.6 Carichi combinati del vento e del ghiaccio

Qualora per il progetto degli impianti e delle strutture della linea aerea di contatto siano prese in considerazione le azioni combinate dei carichi del ghiaccio e del vento, si può assumere il 50% del carico del vento, conformemente a 6.2.4, come agente sulle strutture e sulle apparecchiature senza ghiaccio e sui conduttori coperti da ghiaccio in accordo con 6.2.5. Un valore alternativo può essere fissato nella specifica dell'acquirente.

La forza peso unitaria p_i del ghiaccio è assunta pari a 900 daN/mc ed il coefficiente di resistenza aerodinamica è scelto pari a 1,0.

Si deve considerare un incremento del diametro dell'accumulo di ghiaccio. Il diametro equivalente D_I in metri dell'accumulo di ghiaccio è calcolato mediante la formula:

$$D_I = \sqrt{d^2 + 4 * g_{IK} / \Pi * \rho_i}$$

dove

d è il diametro del conduttore senza ghiaccio misurato in metri;

g_{IK} è il carico caratteristico del ghiaccio valutato in 0,7 daN/m.

6.2.7 Effetti della temperatura

Gli effetti della temperatura devono essere considerati assieme alle altre azioni climatiche esistenti. I seguenti parametri sono definiti sulla base della EN 50125-2:

- *la minima temperatura da considerare in assenza di altre azioni climatiche (-20°C);*
- *la temperatura ambiente di riferimento per la condizione di carico limite del vento (+5°C);*
- *la temperatura da assumere con i carichi del ghiaccio e, ove appropriato, con i carichi combinati del ghiaccio e del vento (-5°C).*

NOTA Le seguenti temperature sono utilizzate in molti paesi: temperatura minima -20 °C; temperatura ambiente di riferimento +5 °C; temperatura con carichi del ghiaccio (e con carichi combinati del vento e del ghiaccio ove pertinente) -5 °C. Le temperature possono essere utilizzate quando si considera il carico di trazione dei conduttori.

6.2.8 Carichi di costruzione e di manutenzione

I carichi dovuti alle attività di costruzione e manutenzione devono essere considerati, tenendo in considerazione le procedure di lavoro, le controventature temporanee, i dispositivi di sollevamento, ecc. Devono essere assunti valori raccomandati di almeno 1,0 kN per le travi orizzontali delle strutture dei portali e di almeno 2,0 kN per gli altri tipi di strutture, agenti in senso verticale. Queste forze devono agire sui nodi individualmente più sfavorevoli delle travi o in corrispondenza dei punti di attacco dei

sostegni o dei conduttori alle strutture. Qualora si adottino idonee pratiche di lavorazione non è necessario progettare gli elementi strutturali per tali carichi.

6.2.9 Carichi accidentali

I carichi accidentali sono specificati per tenere in considerazione il contenimento guasti e le situazioni di emergenza. In generale, in ogni punto di attacco di un conduttore alla struttura è applicato il relativo carico statico residuo risultante dal rilascio della tensione di un filo di contatto, una fune portante o una linea di alimentazione. In generale è sufficiente considerare i carichi accidentali per le strutture all'estremità delle sezioni di regolazione o per le strutture di ancoraggio di punto fisso. I dettagli dovrebbero essere forniti nella specifica dell'acquirente assieme alla definizione dei casi di carico associati.

6.3 Tipi di strutture e relativi casi di carico

6.3.1 Casi di carico e combinazioni di carico

6.3.1.1 Prescrizioni generali

Per il progetto dei conduttori, delle apparecchiature e dei sostegni, fondazioni incluse, è determinato lo stato limite ultimo mediante la considerazione del caso di carico che dà il massimo effetto di carico in ogni singolo elemento.

Le forze di trazione dei conduttori devono essere determinate conformemente ai carichi che agiscono sui conduttori nel caso di carico considerato. Le componenti delle forze di trazione dei conduttori nei punti di attacco dei sostegni, compreso l'effetto degli angoli verticali ed orizzontali, devono essere adeguatamente tenute in considerazione. I carichi sui sostegni devono essere scelti tenendo in considerazione la specifica funzione del sostegno nel sistema linea aerea di contatto. Qualora un sostegno svolga diverse funzioni, quale per es. la funzione di struttura di tensionamento (regolazione del tiro) che porta anche delle mensole, è applicata la combinazione più sfavorevole dei carichi che possono verificarsi simultaneamente.

La specifica può, se necessario, fissare prescrizioni aggiuntive. Le condizioni di carico a breve termine che si verificano durante le attività d'installazione e ricostruzione devono essere considerate separatamente.

I casi di carico normali sono definiti nei paragrafi da 6.3.1.2 a 6.3.1.7. Le applicazioni di questi casi di carico sono mostrate in Tabella 14 e in 6.3.2.

6.3.1.2 Caso di carico A: Carichi alla temperatura minima

Carichi permanenti, devono essere considerate le forze di trazione dei conduttori alla temperatura minima e alla temperatura ambiente di progetto.

NOTA Si considerano le condizioni di temperature descritte in 6.2.7.

6.3.1.3 Caso di carico B: Carichi massimi del vento

Carichi permanenti, forze di trazione dei conduttori aumentate dell'azione del vento e dei carichi del vento su ogni elemento, in accordo con 6.2.4 della presente Norma, agenti lungo la direzione più sfavorevole. La temperatura ambiente in tale condizione è conforme a quanto specificato in 6.2.7.

6.3.1.4 Caso di carico C: Carichi del ghiaccio

Carichi permanenti, forze dei conduttori aumentate dei carichi del ghiaccio in accordo con 6.2.5 e dei carichi del ghiaccio sulle strutture, se applicabili.

6.3.1.5 Caso di carico D: Azione combinata dei carichi del vento e del ghiaccio

Carichi permanenti, forze di trazione dei conduttori aumentate dell'effetto combinato dei carichi del ghiaccio e dei carichi del vento, conformemente a 6.2.6 della presente Norma, e dei carichi del ghiaccio e del vento agenti sulle strutture. Il carico del vento agisce nella direzione più sfavorevole.

6.3.1.6 Caso di carico E: Carichi di costruzione e manutenzione

Carichi permanenti, aumentati dei carichi di costruzione e manutenzione in accordo al paragrafo 6.2.8 della presente Norma, assieme ad un carico ridotto del vento e a un carico ridotto del ghiaccio ove specificato.

6.3.1.7 Caso di carico F: Carichi accidentali

Carichi permanenti assieme alla riduzione non intenzionale delle forze relative ad uno o più conduttori.

6.3.2 Tipo di strutture e applicazione dei casi di carico

6.3.2.1 Mensole

Le mensole portano la linea aerea di contatto di uno o più binari. Esse possono essere fissate ai sostegni mediante cerniere che consentono alle mensole di ruotare attorno all'asse verticale, non fornendo alcuna resistenza ai carichi longitudinali della linea aerea di contatto.

In alternativa, le mensole fissate rigidamente alle strutture offrono una resistenza alle forze longitudinali originate dalle linee aeree di contatto.

I relativi casi di carico sono:

- *A, B, C e se necessario D per le mensole incernierate,*
- *A, B, C, D se necessario, E se necessario e F per le mensole rigide.*

6.3.2.2 Sospensione trasversale (flessibile)

Le sospensioni trasversali portano le linee aeree di contatto per mezzo di elementi di fune ed isolatori in condizioni di solo carico di trazione.

I relativi casi di carico sono A, B, C e D se necessario, E se necessario, ed F. L'ultimo è applicabile solo per sospensioni trasversali con punti fissi.

6.3.2.3 Strutture trasversali rigide (travi trasversali, portali)

Le strutture trasversali rigide consistono di travi resistenti a flessione che sono fissate alle strutture mediante cerniere o mediante giunti resistenti a flessione. I relativi casi di carico sono A, B, C, D se necessario, E se necessario, ed F.

6.3.2.4 Strutture di sospensione

Una struttura di sospensione porta una o più mensole per sostenere la linea aerea di contatto I relativi casi di carico sono A, B, C, D se necessario ed E se necessario.

6.3.2.5 Tiranti di poligonazione in curva

I tiranti di poligonazione sopportano solo forze radiali derivanti da una o più linee di contatto ma non carichi verticali. I relativi casi di carico sono A, B, C, D se necessario ed E se necessario.

6.3.2.6 Strutture di ancoraggio di punto fisso

Una struttura di ancoraggio di punto fisso è progettata per sopportare le forze di ormeggio nell'ancoraggio di punto fisso oltre che per svolgere altre funzioni quali portare le mensole. I relativi casi di carico sono A, B, C, D se necessario, E se necessario ed F.

6.3.2.7 Strutture di punto fisso

Una struttura di punto fisso è progettata per resistere alle forze radiali dovute agli ancoraggi di punto fisso oltre che per svolgere altre funzioni quali portare le mensole. I relativi casi di carico sono A, B, C, D se necessario ed E se necessario.

6.3.2.8 Strutture per il sostegno trasversale rigido e flessibile

Strutture progettate per resistere alle forze risultanti da ogni tipologia di struttura di sostegno trasversale quali sospensioni trasversali, travi trasversali e campate trasversali. I relativi casi di carico sono A, B, C, D se necessario ed E se necessario. Il caso di carico F è considerato in presenza di un punto fisso.

6.3.2.9 Strutture per le configurazioni a fune portante orizzontale

Nelle strutture per configurazioni a fune portante orizzontale, le forze agiscono simultaneamente in diverse direzioni ed a differenti altezze. I relativi casi di carico sono A, B, C, D se necessario ed F.

NOTA Una fune portante orizzontale è una configurazione in cui i fili di contatto sono sostenuti da fili che sono principalmente in posizione orizzontale. Questa configurazione è utilizzata prevalentemente in aree urbane. I pali o gli edifici ai quali sono fissati i fili orizzontali possono essere relativamente lontani dai binari.

6.3.2.10 Strutture di tensionamento (regolazione del tiro)

Una struttura di tensionamento porta le terminazioni delle apparecchiature della linea aerea di contatto ed altri conduttori che sono tensionati (regolati) automaticamente o fissati rigidamente e possono avere altre funzioni quali portare mensole o sospendere elementi. I relativi casi di carico sono A, B, C, D se necessario ed E se necessario. Caso di carico F se le linee di contatto sono terminate in due direzioni opposte al fine di ammettere la riduzione non intenzionale dei carichi di trazione.

6.3.2.11 Strutture con alimentatori e linee di rinforzo parallele

Queste strutture portano i carichi relativi agli alimentatori e alle linee di rinforzo parallele e svolgono altre funzioni nell'impianto della linea aerea di contatto. Se necessario dovrebbe essere fatta una distinzione tra strutture equipaggiate con isolatori di trazione o di sospensione. I relativi casi di carico sono A, B, C, D se necessario ed E se necessario ed F.

6.3.2.12 Strutture della linea aerea di contatto che portano linee aeree di alimentazione aggiuntive

Le strutture con linee aeree di alimentazione aggiuntive portano i carichi relativi alle linee aeree e svolgono altre funzioni nell'impianto della linea aerea di contatto.

I relativi casi di carico sono A, B, C, D se necessario, E se necessario ed F riguardanti le azioni risultanti dalla linea aerea di contatto. In aggiunta devono essere considerati i casi di carico di cui alla EN 50341-1 rispetto alla funzione del sostegno nel sistema a linea aerea di contatto.

6.3.2.13 Sostegni di ancoraggio

I sostegni di ancoraggio sono elementi strutturali atti a resistere alle forze di trazione dei tiranti che sostengono le strutture delle linee di contatto. I casi di carico devono essere scelti in accordo al tipo di struttura ancorata.

6.3.3 Fattori parziali per le azioni

6.3.3.1 Generalità

L'utilizzo dei fattori è una pratica comune conforme alla serie EN 1993 per le strutture in acciaio e alla serie EN 1992 per le strutture in calcestruzzo. I fattori parziali sono divisi in fattori parziali per le azioni e fattori parziali per i materiali. I valori dei fattori parziali per le azioni e per i materiali sono specificati nella presente Norma. I fattori parziali relativi a condizioni non coperte dalla presente Norma possono essere estratti dalle Norme Europee per il progetto strutturale o possono essere fissati nella specifica dell'acquirente. I fattori particolari applicabili sono riassunti in Tab. 15.

6.3.3.2 Azioni permanenti

Il fattore parziale per le azioni permanenti del peso proprio è γ_G e per le azioni permanenti delle forze di trazione dei conduttori è γ_C . È raccomandato un valore di 1,3; valori alternativi possono essere fissati nella specifica dell'acquirente. Quando il peso proprio di ogni elemento agisce favorevolmente, cioè riducendo il caricamento, il fattore parziale γ_G è assunto pari a 1,0.

6.3.3.3 Azioni variabili, carichi del vento e del ghiaccio

Per i fattori parziali γ_W per i carichi del vento, γ_I per i carichi del ghiaccio e γ_C per le forze di trazione dei conduttori sotto l'azione dei carichi del vento o del ghiaccio, è raccomandato un valore di 1,3. Valori alternativi possono essere fissati nella specifica dell'acquirente.

6.3.3.4 Carichi accidentali

Per i casi di carico accidentali i fattori parziali γ_G per i carichi permanenti, γ_C per le forze di trazione dei conduttori e γ_A per i carichi accidentali possono essere assunti pari a 1,0.

6.3.3.5 Carichi di costruzione e manutenzione

Il fattore parziale per i carichi di costruzione e manutenzione γ_P è 1,5. Questo fattore è combinato con un valore di 1,3 per i fattori parziali γ_G e γ_C relativi ai carichi permanenti.

Tabella 15 – Sintesi dei fattori parziali per le azioni

Tipo carico	Caso di carico					
	A	B	C	D	E	F
Permanente γ_G, γ_{op}	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1
Rilassamento $\gamma_G \gamma_{cv}, \gamma_{op}$	1	1	1	1	1	1
Vento γ_w		1,3		1,3		1
Ghiaccio γ_i			1,3	1,3		
Sicurezza γ_A						1
Costruzione γ_P					1,5	

SCHEMA DI CALCOLO DEI TIRI IN CURVA

È noto che in curva i tiranti più sollecitati sono sempre quelli che collegano i conduttori ai sostegni esterni alla curva, svolgendo quelli interni principalmente una funzione di mantenimento della configurazione di equilibrio al variare delle condizioni di carico e di temperatura. Infatti in corrispondenza di ogni deviazione α imposta al conduttore, il tirante esterno assorbe un tiro pari a:

$$T = 2 \times T_c \times \sin \alpha/2$$

dove T_c è il tiro presente nel conduttore

La configurazione di equilibrio del sistema può essere calcolata secondo lo schema seguente:

β = angolo del tirante esterno rispetto all'orizzontale

γ = angolo del tirante interno rispetto all'orizzontale

T = tiro orizzontale generato dalla deviazione del conduttore

Q = peso da sostenere in corrispondenza del punto di applicazione dei tiranti

T_β = tiro nel tirante esterno

T_γ = tiro nel tirante interno

Dalle condizioni di equilibrio risulta

$$T_\beta \times \cos \beta - T_\gamma \cos \gamma = T$$

$$T_\beta \times \sin \beta + T_\gamma \sin \gamma = Q$$

Sviluppando e risolvendo il sistema si ottiene

$$T_\gamma = \frac{Q - T \operatorname{tg} \beta}{\sin \gamma + \cos \gamma \operatorname{tg} \beta}$$

$$T_{\beta} = \frac{Q \cos \gamma + T \sin \gamma}{\sin \gamma \cos \beta + \cos \gamma \times \sin \beta}$$

Poiché il tirante interno non può lavorare a compressione deve inoltre risultare:

$$T_{\gamma} \geq 0 \quad Q - T \operatorname{tg} \beta \geq 0 \quad \operatorname{tg} \beta \leq Q/T$$

Questa relazione è importante in quanto ci consente di stabilire la pendenza massima da assegnare al tirante esterno se si vuole che la configurazione di equilibrio del sistema non abbia a variare con il variare della tesatura del conduttore.

CONSIDERAZIONI SULLE MENSOLE

Il procedimento adottato per la determinazione delle sollecitazioni sulle mensole e sui relativi tiranti di sospensione si articola preliminarmente nella determinazione delle sollecitazioni sulla struttura, generate dai carichi determinati con la combinazione più sfavorevole e successivamente nella determinazione di momenti e tiri agenti sulla mensola e dei tiri sulle funi di sospensione.

CALCOLO AZIONI SU FUNI, PALI, MENSOLE E GANCI A MURO

I calcoli relativi a trasversali e ritenute sono stati eseguiti sulla base di quanto descritto nel capitolo 4, il cui schema di calcolo è sintetizzato nello schema sotto riportato, applicando le combinazioni di carico previste dalla CEI EN 50119.

I calcoli e le verifiche relative a pali, mensole e ganci a muro sono stati eseguiti sulla base di quanto descritto nei capitoli 4, 5, 6 e 7, con particolare riferimento all'art 6.3.2.13 CEI EN 50119 e sulla base del DM 2008.

CARICHI PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE FONDAZIONI

Si riporta nel seguito la descrizione dei carichi e dei sovraccarichi considerati per il dimensionamento delle strutture di fondazione dei pali, valutati in accordo alle Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14/02/2018). Le azioni sismiche sono da ritenere trascurabili rispetto agli altri carichi e non verranno considerate.

Pesi propri strutturali (G1)

I pesi propri degli elementi strutturali sono riferiti ai plinti in c.a. determinati con riferimento ai valori dei pesi dell'unità di volume riportati nella Tab. 3.1.I. delle N.T.C. 2008 (c.a.: $1/c_{ls}=25.0 \text{ KN/m}^3$) e quelli dei pali di sostegno con riferimento al peso tabellare. Sono stati inoltre considerati i traversi aggettanti in AL per i sostegni a mensola.

Carichi Permanenti non strutturali (G2)

I carichi permanenti non strutturali principali sono dovuti al tiro dei bifilari conduttori. Questi vengono tesati con un tiro pari a circa 560 daN ad una temperatura di 15°C. Tale carico assiale, ad una temperatura di -5°C assume una trazione di 1000 daN. Da tale valore è possibile anche determinare la componente radiale della sollecitazione generata dalla poligonazione in curva:

$$T_r = 2 T \sin (\alpha/2)$$

Il peso proprio dei conduttori è stato considerato con una forza di 0,86 daN/m, tale carico corrisponde ad una sezione di 11,80 mm di diametro e si applica sui traversi in funzione dell'esatta area di influenza e per il numero di bifilari previsti nel tratto considerato.

Carichi variabili (Q)

Il carico variabile applicato è quello del vento, la sua determinazione soddisfa i requisiti della norma NTC 2018, tale procedura di calcolo è riconosciuta anche dalle Norme CEI EN 50119 facendo esplicito riferimento al par.6.2.4.1 alla possibilità di impiegare metodi standard previsti dalla normativa vigente.

E' stata dunque individuata la velocità di riferimento v_b definita come il valore caratteristico della velocità del vento a 10m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II, mediata su 10 minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni.

Successivamente si è determinata la pressione del vento data dall'espressione:

$$p = q_b C_e C_p C_d$$

dove:

q_b è la pressione cinetica di riferimento $q_b = 1/2 \rho v^2$ e $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$.

$c_e(z)$ è il coefficiente di esposizione e dipende dall'altezza z sul suolo del punto considerato, dalla topografia del terreno e dalla categoria di esposizione del sito ove sorge la costruzione. Per altezze non superiori a $z=200\text{m}$ è dato dalla formula $c_e(z) = k^2 c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)] = 1,75$ avendo desunto k_r , z_0 e z_{min} indicati dalla tab.3.3. Il con una categoria di esposizione del sito pari a IV e una classe di rugosità del terreno pari a "A";

c_p coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore viene preso pari a 0,70 per superfici cilindriche (v.re circ. 3.3.10.5).

c_d è il coefficiente dinamico con cui si tiene conto degli effetti riduttivi associati alla non contemporaneità.

E' stato assunto cautelativamente pari ad 1.

In definitiva la pressione del vento così calcolata è pari a 62,9 daN/m².

COMBINAZIONI DI CARICO

Per le combinazioni di carico è stato scelto l'approccio progettuale 2. Pertanto, secondo quanto indicato dalle NTC 14 Gennaio 2008, le verifiche di sicurezza agli SLU fanno riferimento alla combinazione **A1 + M1 + R3**. I coefficienti parziali di amplificazione delle azioni adottati sono riportati nelle tabelle 2.6.I:

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1	1
	Sfavorevole		1,1	1,3	1
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0	0	0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0	0	0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Ai fini delle verifiche delle fondazioni dei pali sono stati impiegati i coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno della tabella 6.2.II:

PARAMETRO	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1) STR	(M2) GEO
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi_k$	γ_φ	1	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_k	γ_γ	1	1

I coefficienti parziali di sicurezza per le fondazioni superficiali sono stati dedotti dalla tabella tab.6.4.I, in particolare per la verifica di carico limite e per lo scorrimento dei plinti di fondazione dei pali;

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE	(R1)	(R2)	(R3)
Capacità portante	$\gamma_R =$	1	1,8	2,3
Scorrimento	$\gamma_R =$	1	1,1	1,1

Ai soli fini della verifica al ribaltamento del sistema palo-fondazione, come previsto al punto 6.5.3.1.1 "Per i muri di sostegno o per le strutture miste ad essi assimilabili...", la combinazione impiegata è stata quella di equilibrio di corpo rigido (EQU).

PLINTI DI FONDAZIONE: MODELLO DI CALCOLO E VERIFICHE

Le azioni Normali, di Taglio e il Momento alla base del palo vengono trasferite alla base del plinto dopo aver applicato i coefficienti di amplificazione A1 e aver determinato la componente integrativa del momento secondo il braccio del taglio (pari all'altezza del plinto stesso). Alla base del plinto viene determinata l'eccentricità del carico verticale e di conseguenza la massima compressione nel terreno.

- Le verifiche eseguite sul plinto comprendono:
- Verifica del Carico Limite, usando la formulazione di Terzaghi in condizioni drenate;
- Verifica allo Scorrimento secondo l'angolo di attrito;
- Verifica a Ribaltamento relativa al punto critico di rotazione;

- Verifica Strutturale dell'armatura inferiore sottoposta a trazione alla base del plinto.

Per ogni palo sono stati considerati presenti i seguenti carichi:

- carichi verticali permanenti dovuti a pesi propri (peso palo) e portati (mensole, tiranti, isolatori, delta, LdC);
- carichi orizzontali permanenti dovuti a tiri da LdC deviate o ormeggiate;
- azione orizzontale variabile trasversale dovuta al vento trasversale su LdC, pali e altri manufatti al 100% del suo valore calcolato come indicato nel seguito;
- azione orizzontale variabile trasversale dovuta al vento trasversale al 50% del suo valore calcolato come indicato nel seguito, in condizione con manicotti di ghiaccio sui cavi portati (diametri maggiorati delle LdC);
- azione verticale variabile dovuta al ghiaccio formatosi in manicotti sulle LdC portate.

Le combinazioni di carico valutate nel seguito per ogni palo sono pertanto:

- condizione senza ghiaccio NO ICE con azione vento al 100% sui diametri delle LdC e altri manufatti (pali, delta) + vari carichi verticali permanenti + azioni orizzontali permanenti (tiri da deviate, ormeggi);
- condizione con ghiaccio SI ICE con azione vento al 50% sui diametri delle LdC maggiorati dai manicotti di ghiaccio e altri manufatti (pali, delta) + vari carichi verticali permanenti e variabili (=manicotti di ghiaccio) + azioni orizzontali permanenti (tiri da deviate, ormeggi);

Coefficienti di amplificazione delle azioni:

x 1.30 i carichi permanenti G (pesi propri e portati, deviazioni Ldc, tiri per ormeggi LdC)

x 1.50 i carichi variabili Q (vento, ghiaccio)

Tali coefficienti di amplificazione sono utilizzati per le verifiche di:

- stima portanza terreno di fondazione
- stima sicurezza allo scorrimento della fondazione sul piano di posa
- verifica al ribaltamento della fondazione + palo sul piano di posa
- verifica a punzonamento delle fondazioni
- Verifica armatura e tensioni nelle sezioni in calcestruzzo armato.

CALCOLO SOLLECITAZIONI SUI PALI ED ANALISI E VERIFICHE DELLE FONDAZIONI

Palo con mensola			
conduttore		carichi elementari	
Sezione	100,00 (mmq)	carichi massimi del vento - no ghiaccio	
Diametro	11,80 (mm)	vento su cond. 1	50,98 (daN)
Peso/ml	0,86 (daN/ml)	vento su cond. 2	50,98 (daN)
PALO TRONCOCONICO ESAGONALE		peso conduttore 1	51,60 (daN)
lunghezza f.t.	7.700 (mm)	peso conduttore 2	51,60 (daN)
Φ_{base}	270,0 (mm)	Azione combinata del carico del vento e del ghiaccio	
Φ_{testa}	140 (mm)	vento su cond. 1	38,66 (daN)
peso	303 (Kg)	vento su cond. 2	38,66 (daN)
W minimo all'incastro:	255 (cm ³)	peso conduttore 1	100,63 (daN)
mensola		peso conduttore 2	100,63 (daN)
Φ	55 (mm)	peso acc.sost. di un cond.	2,60 (daN)
peso unitario	8,80 (daN/ml)	schema grafico	
lunghezza	7.000 (mm)		
altezza attacco al palo	6.000 (mm)		
distanza palo/asse bin. 1	2.500 (mm)		
distanza palo/asse bin. 2	6.000 (mm)		
linea			
Campata linea 1	60,00 (m)		
Campata linea 2	60,00 (m)		
Angolo deviazione linea 1	1,00 (gradi)		
Angolo deviazione linea 2	1,00 (gradi)		
Casi di carico			
Caso di carico A: Carichi alla temperatura minima			
$M_f =$	1.043 (daN*m)	Tiro equivalente =	174 (daN)
Caso di carico B: Carichi dovuti al vento massimo			
$M_f =$	2.325 (daN*m)	Tiro equivalente =	387 (daN)
Caso di carico C: Carichi dovuti al ghiaccio			
$M_f =$	1.557 (daN*m)	Tiro equivalente =	260 (daN)
Caso di carico D: Azione combinata dei carichi del vento e del ghiaccio			
$M_f =$	2.302 (daN*m)	Tiro equivalente =	384 (daN)
Caso di carico E: carichi di costruzione e manutenzione			
$M_f =$	1.486 (daN*m)	Tiro equivalente =	248 (daN)
Verifica stabilità del palo			
$M_f \text{ max} =$	2.325 (daN*m)		
W necessario	106 (cm ³)	Coefficiente di sicurezza:	2,41

AZIONI SUL PALO		
Vsd	Nsd	Msd
daN	daN	daNm
387	571	2325

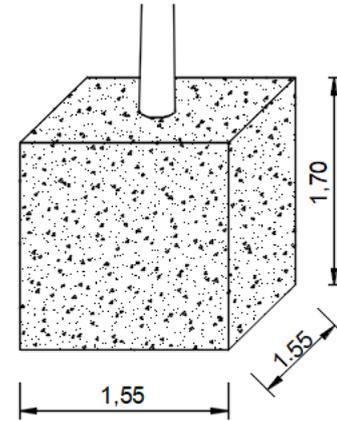
DIMENSIONI PLINTO			
lungh.	largh.	altezza	
1,55	1,55	1,70	m

MOMENTO STABILIZZANTE PLINTO		
W_{plinto}	daN	10211
b_{stab}	m	0,775
γ_{EQU}		0,9
$M_{stab,pl}$	daNm	7122

MOMENTO RIBALTANTE $M_{rib,d}$		
Vsd	daN	387
hT	m	1,70
M_{sd}	daNm	2325
$M_{rib,d}$	daNm	2984

MOMENTO STABILIZZANTE PALO		
Nsd	daN	571
bp	m	0,775
γ_{EQU}		0,9
$M_{stab,p}$	daNm	398

VERIFICA A RIBALTAMENTO		
$M_{rib,d}$	daNm	2984
$M_{stab,d}$	daNm	7520
$F_s = M_{stab,d} / M_{rib,d} =$		2,52



Fondazioni Dirette
Verifica in tensioni efficaci

$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot g_{\gamma}$$

D = Profondità del piano di appoggio

e_B = Eccentricità in direzione B ($e_B = Mb/N$)

e_L = Eccentricità in direzione L ($e_L = MI/N$) (per fondazione nastriforme $e_L = 0$; $L^* = L$)

B^* = Larghezza fittizia della fondazione ($B^* = B - 2 \cdot e_B$)

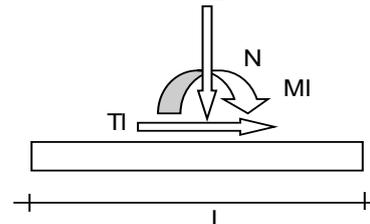
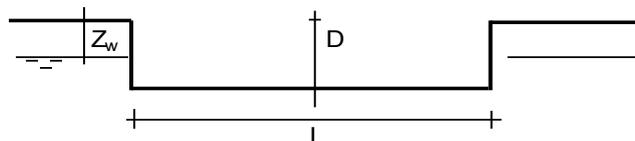
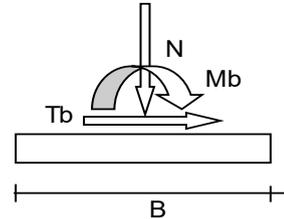
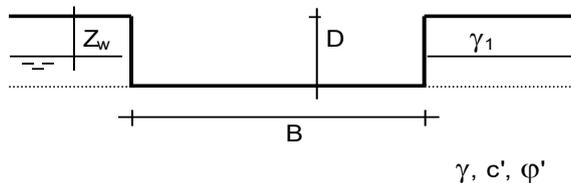
L^* = Lunghezza fittizia della fondazione ($L^* = L - 2 \cdot e_L$)

(per fondazione nastriforme le sollecitazioni agenti sono riferite all'unità di lunghezza)

coefficienti parziali

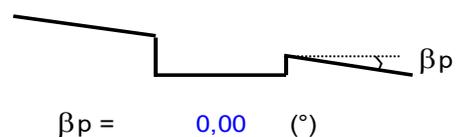
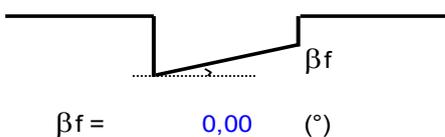
Metodo di calcolo		azioni		proprietà del terreno	
		permanenti	temporanee variabili	$\tan \phi'$	c'
Stato limite ultimo	○	1,00	1,30	1,25	1,60
Tensioni ammissibili	○	1,00	1,00	1,00	1,00
definiti dall'utente	●	1,00	1,50	1,00	1,00

valori suggeriti dall'EC7



(Per fondazione nastriforme $L = 100$ m)

- B = 1,55 (m)
- L = 1,55 (m)
- D = 1,70 (m)



AZIONI

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	138,46	0,00	138,46
Mb [kNm]	29,84	0,00	29,84
MI [kNm]	0,00	0,00	0,00
Tb [kN]	3,87	0,00	3,87
TI [kN]	0,00	0,00	0,00
H [kN]	3,87	0,00	3,87

Peso unità di volume del terreno

$\gamma_1 = 16,00$ (kN/mc)
 $\gamma = 16,00$ (kN/mc)

Valori caratteristici di resistenza del terreno

$c' = 0,00$ (kN/mq)
 $\phi' = 24,00$ (°)

Valori di progetto

$c' = 0,00$ (kN/mq)
 $\phi' = 24,00$ (°)

Profondità della falda

$Z_w = 10,00$ (m)

$e_B = 0,22$ (m)
 $e_L = 0,00$ (m)

$B^* = 1,12$ (m)
 $L^* = 1,55$ (m)

q : sovraccarico alla profondità D

$q = 27,20$ (kN/mq)

γ : peso di volume del terreno di fondazione

$\gamma = 16,00$ (kN/mc)

Nc, Nq, Ny : coefficienti di capacità portante

$Nq = \tan^2(45 + \phi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \phi')}$

$Nq = 9,60$

$Nc = (Nq - 1) / \tan \phi'$

$Nc = 19,32$

$Ny = 2 \cdot (Nq + 1) \cdot \tan \phi'$

$Ny = 9,44$

sc, sq, sy : fattori di forma

$s_c = 1 + B \cdot Nq / (L^* \cdot Nc)$

$s_c = 1,36$

$s_q = 1 + B \cdot \tan \phi' / L^*$

$s_q = 1,32$

$s_\gamma = 1 - 0,4 \cdot B^* / L^*$

$s_\gamma = 0,71$

i_c, i_q, i_γ : fattori di inclinazione del carico

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1,58 \quad \theta = \arctg(T_b/T_l) = 90,00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1,42 \quad m = 1,58 \quad (-)$$

$$i_q = (1 - H/(N + B^*L^* c' \cotg\varphi'))^m \quad (m=2 \text{ nel caso di fondazione nastriforme e } m=(m_b \sin^2\theta + m_l \cos^2\theta) \text{ in tutti gli altri casi)}$$

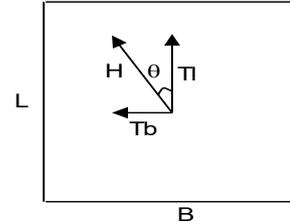
$$i_q = 0,96$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_c - 1)$$

$$i_c = 0,95$$

$$i_\gamma = (1 - H/(N + B^*L^* c' \cotg\varphi'))^{(m+1)}$$

$$i_\gamma = 0,93$$



d_c, d_q, d_γ : fattori di profondità del piano di appoggio

$$\text{per } D/B^* \leq 1; d_q = 1 + 2 D \tan\varphi' (1 - \sin\varphi')^2 / B^*$$

$$\text{per } D/B^* > 1; d_q = 1 + (2 \tan\varphi' (1 - \sin\varphi')^2) * \arctan(D / B^*)$$

$$d_q = 1,31$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \tan\varphi')$$

$$d_c = 1,35$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1,00$$

b_c, b_q, b_γ : fattori di inclinazione base della fondazione

$$b_q = (1 - \beta_f \tan\varphi')^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0,00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1,00$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan\varphi')$$

$$b_c = 1,00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = 1,00$$

g_c, g_q, g_γ : fattori di inclinazione piano di campagna

$$g_q = (1 - \tan\beta_p)^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0,00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = 1,00$$

$$g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan\varphi')$$

$$g_c = 1,00$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_\gamma = 1,00$$

Carico limite unitario

$$q_{lim} = 488,16 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Pressione massima agente

$$q = N / B * L *$$

$$q = 79,83 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Coefficiente di sicurezza

$$F_s = q_{lim} / q = 6,12$$

VERIFICA A SCORRIMENTO

$$H_d = 3,87 \quad (\text{kN})$$

$$S_d = N * \tan(\varphi') + c' * B * L *$$

$$S_d = 61,65 \quad (\text{kN})$$

Coefficiente di sicurezza allo scorrimento

$$F_{scorr} = 15,91$$

PALO _ trasversale in rettilineo _ PALO

conduttore			carichi elementari sul conduttore		
Altezza conduttore	5,60	(m)	carichi massimi del vento - no ghiaccio		
Sezione	100,00	(mm ²)	vento su cond. 1	50,98	(daN)
Diametro	11,80	(mm)	vento su cond. 2	50,98	(daN)
Peso/ml	0,86	(daN/ml)	peso conduttore 1	51,60	(daN)
Parafil			peso conduttore 2	51,60	(daN)
Peso unitario	0,15	(daN/ml)	Azione combinata del carico del vento e del ghiaccio		
Diametro	0,0135	(m)	vento su cond. 1	38,66	(daN)
linea			vento su cond. 2	38,66	(daN)
Campata linea 1	60,00	(m)	peso conduttore 1	100,63	(daN)
Campata linea 2	60,00	(m)	peso conduttore 2	100,63	(daN)
Angolo deviazione linea 1	1,00	(gradi)	peso acc.sost. di un cond.	2,60	(daN)
Angolo deviazione linea 2	1,00	(gradi)	carichi elementari sul parafil		
Sospensioni			carichi massimi del vento - no ghiaccio		
I _A	2,00	(m)	vento su parafil 1	0,19	(daN)
I _B	2,00	(m)	vento su parafil 2	0,19	(daN)
I ₁₋₂	2,60	(m)	peso parafil 1	0,50	(daN)
Pendenza in A	0,10	(%)	peso parafil 2	0,50	(daN)
Pendenza in B	0,10	(%)	Azione combinata del carico del vento e del ghiaccio		
tiri per curva ip. A			vento su parafil 1	0,13	(daN)
H1 (daN)=	10,47	(daN)	vento su parafil 2	0,13	(daN)
H2 (daN)=	10,47	(daN)	peso parafil 1	3,38	(daN)
			peso parafil 2	3,38	(daN)
tiri per curva ip. B-E-F			Schema grafico		
H1 (daN)=	5,24	(daN)			
H2 (daN)=	5,24	(daN)			
tiri per curva ip. C-D					
H1 (daN)=	8,73	(daN)			
H2 (daN)=	8,73	(daN)			

Ipotesi di carico					
Caso di carico A: Carichi alla temperatura minima					
Lato interno			Lato esterno		
T _A	698	(daN)	T _B	725	(daN)
H _A	6,1	(m)	H _B	6,0	(m)
M _A	4220,46	(daN*m)	M _B	4378,93	(daN*m)
Caso di carico B: Carichi dovuti al vento massimo					
Lato interno			Lato esterno		
T _A	698	(daN)	T _B	845	(daN)
H _A	6,1	(m)	H _B	6,0	(m)
M _A	4220,46	(daN*m)	M _B	5103,84	(daN*m)
vento sul palo A	603	(daN*m)	vento sul palo B	603	(daN*m)
MA _{totale}	4823,44	(daN*m)	MB _{totale}	5706,81	(daN*m)
Caso di carico C: Carichi dovuti al ghiaccio					
Lato interno			Lato esterno		
T _A	1362	(daN)	T _B	1384	(daN)
H _A	6,1	(m)	H _B	6,0	(m)
M _A	8241,12	(daN*m)	M _B	8365,55	(daN*m)
Caso di carico D: Azione combinata dei carichi del vento e del ghiaccio					
Lato interno			Lato esterno		
T _A	1362	(daN)	T _B	1486	(daN)
H _A	6,1	(m)	H _B	6,0	(m)
M _A	8241,12	(daN*m)	M _B	8977,86	(daN*m)
vento sul palo A	151	(daN*m)	vento sul palo B	151	(daN*m)
MA _{totale}	8391,86	(daN*m)	MB _{totale}	9128,61	(daN*m)
Caso di carico E: carichi di costruzione e manutenzione					
Lato interno			Lato esterno		
T _A	698	(daN)	T _B	811	(daN)
H _A	6,1	(m)	H _B	6,0	(m)
M _A	4220,46	(daN*m)	M _B	4903,32	(daN*m)
Verifiche					
Palo 02	TRONCOCONICO		PALO 01	TRONCOCONICO	
Mf max=	8.392	(daN*m)	Mf max=	9.129	(daN*m)
W necessario =	381	(cm ³)	W necessario =	415	(cm ³)
Altezza in B =	6,05	(m)	Altezza in B =	6,04	(m)
Coefficiente di sicurezza:	1,52		Coefficiente di sicurezza:	1,40	

AZIONI SUL PALO		
Vsd	Nsd	Msd
daN	daN	daNm
1387	713	8392

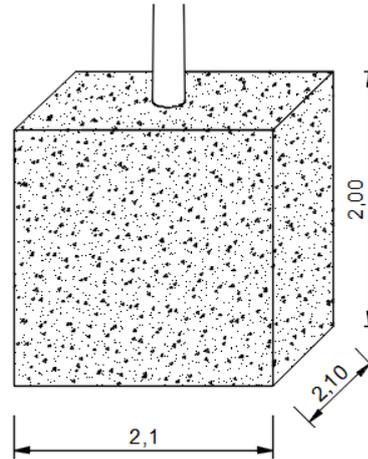
DIMENSIONI PLINTO			
lungh.	largh.	altezza	
2,10	2,10	2,00	m

MOMENTO STABILIZZANTE PLINTO		
w_{plinto}	daN	22050
b_{stab}	m	1,05
γ_{EQU}		0,9
$M_{stab,pl}$	daNm	20837

MOMENTO RIBALTANTE $M_{rib,d}$		
Vsd	daN	1387
hT	m	2,00
M_{sd}	daNm	8392
$M_{rib,d}$	daNm	11166

MOMENTO STABILIZZANTE PALO		
Nsd	daN	713
b_p	m	1,05
γ_{EQU}		0,9
$M_{stab,p}$	daNm	673

VERIFICA A RIBALTAMENTO		
$M_{rib,d}$	daNm	11166
$M_{stab,d}$	daNm	21511
$F_s = M_{stab,d} / M_{rib,d} =$		1,93



Fondazioni Dirette
Verifica in tensioni efficaci

$$q_{lim} = c^* N c^* s c^* d c^* i c^* b c^* g c + q^* N q^* s q^* d q^* i q^* b q^* g q + 0,5^* \gamma^* B^* N \gamma^* s \gamma^* d \gamma^* i \gamma^* b \gamma^* g \gamma$$

D = Profondità del piano di appoggio

e_B = Eccentricità in direzione B ($e_B = Mb/N$)

e_L = Eccentricità in direzione L ($e_L = MI/N$) (per fondazione nastriforme $e_L = 0$; $L^* = L$)

B^* = Larghezza fittizia della fondazione ($B^* = B - 2^*e_B$)

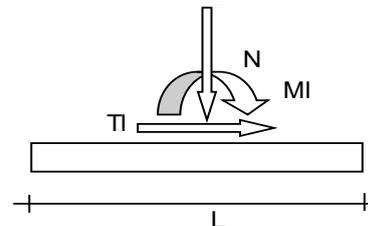
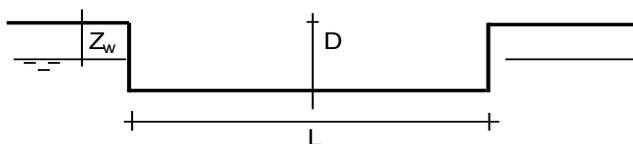
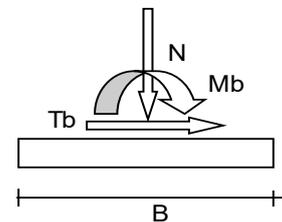
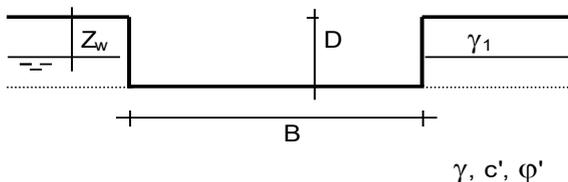
L^* = Lunghezza fittizia della fondazione ($L^* = L - 2^*e_L$)

(per fondazione nastriforme le sollecitazioni agenti sono riferite all'unità di lunghezza)

coefficienti parziali

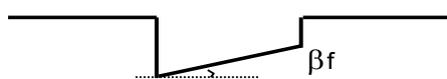
Metodo di calcolo		azioni		proprietà del terreno	
		permanenti	temporanee variabili	$\tan \varphi'$	c'
Stato limite ultimo	○	1,00	1,30	1,25	1,60
Tensioni ammissibili	○	1,00	1,00	1,00	1,00
definiti dall'utente	●	1,00	1,50	1,00	1,00

valori suggeriti dall'EC7



(Per fondazione nastriforme L = 100 m)

- B = 2,10 (m)
- L = 2,10 (m)
- D = 2,00 (m)



$\beta_f = 0,00$ (°)



$\beta_p = 0,00$ (°)

AZIONI

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	293,78	0,00	293,78
Mb [kNm]	111,66	0,00	111,66
MI [kNm]	0,00	0,00	0,00
Tb [kN]	13,87	0,00	13,87
Ti [kN]	0,00	0,00	0,00
H [kN]	13,87	0,00	13,87

Peso unità di volume del terreno

$\gamma_1 = 16,00$ (kN/mc)
 $\gamma = 16,00$ (kN/mc)

Valori caratteristici di resistenza del terreno

$c' = 0,00$ (kN/mq)
 $\varphi' = 24,00$ (°)

Valori di progetto

$c' = 0,00$ (kN/mq)
 $\varphi' = 24,00$ (°)

Profondità della falda

$Z_w = 10,00$ (m)

$e_B = 0,38$ (m)
 $e_L = 0,00$ (m)

$B^* = 1,34$ (m)
 $L^* = 2,10$ (m)

q : sovraccarico alla profondità D

$q = 32,00$ (kN/mq)

γ : peso di volume del terreno di fondazione

$\gamma = 16,00$ (kN/mc)

N_c, N_q, N_γ : coefficienti di capacità portante

$N_q = \tan^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \varphi')}$

$N_q = 9,60$

$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi'$

$N_c = 19,32$

$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi'$

$N_\gamma = 9,44$

s_c, s_q, s_γ : fattori di forma

$s_c = 1 + B^* N_q / (L^* N_c)$

$s_c = 1,32$

$s_q = 1 + B^* \tan \varphi' / L^*$

$s_q = 1,28$

$s_\gamma = 1 - 0,4 \cdot B^* / L^*$

$s_\gamma = 0,74$

i_c, i_q, i_γ : fattori di inclinazione del carico

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1,61 \quad \theta = \arctg(T_b/T_I) = 90,00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1,39 \quad m = 1,61 \quad (-)$$

$$i_q = (1 - H/(N + B^*L^* c' \cotg\varphi'))^m \quad (m=2 \text{ nel caso di fondazione nastriforme e } m=(m_b \sin^2\theta + m_l \cos^2\theta) \text{ in tutti gli altri casi)}$$

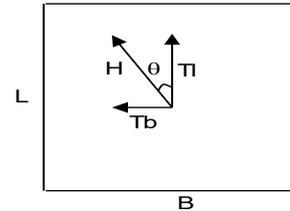
$$i_q = 0,93$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q)/(N_c \tan\varphi')$$

$$i_c = 0,92$$

$$i_\gamma = (1 - H/(N + B^*L^* c' \cotg\varphi'))^{(m+1)}$$

$$i_\gamma = 0,88$$



d_c, d_q, d_γ : fattori di profondità del piano di appoggio

per $D/B^* \leq 1$; $d_q = 1 + 2 D \tan\varphi' (1 - \sin\varphi')^2 / B^*$

per $D/B^* > 1$; $d_q = 1 + (2 \tan\varphi' (1 - \sin\varphi')^2) * \arctan(D / B^*)$

$$d_q = 1,31$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \tan\varphi')$$

$$d_c = 1,34$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1,00$$

b_c, b_q, b_γ : fattori di inclinazione base della fondazione

$$b_q = (1 - \beta_f \tan\varphi')^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0,00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1,00$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan\varphi')$$

$$b_c = 1,00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = 1,00$$

g_c, g_q, g_γ : fattori di inclinazione piano di campagna

$$g_q = (1 - \tan\beta_p)^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0,00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = 1,00$$

$$g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan\varphi')$$

$$g_c = 1,00$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_\gamma = 1,00$$

Carico limite unitario

$$q_{lim} = 543,65 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Pressione massima agente

$$q = N / B * L^*$$

$$q = 104,41 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Coefficiente di sicurezza

$$F_s = q_{lim} / q = 5,21$$

VERIFICA A SCORRIMENTO

$$H_d = 13,87 \quad (\text{kN})$$

$$S_d = N * \tan(\varphi') + c' * B * L^*$$

$$S_d = 130,80 \quad (\text{kN})$$

Coefficiente di sicurezza allo scorrimento

$$F_{scorr} = 9,43$$

AZIONI SUL PALO		
Vsd	Nsd	Msd
daN	daN	daNm
1511	713	9129

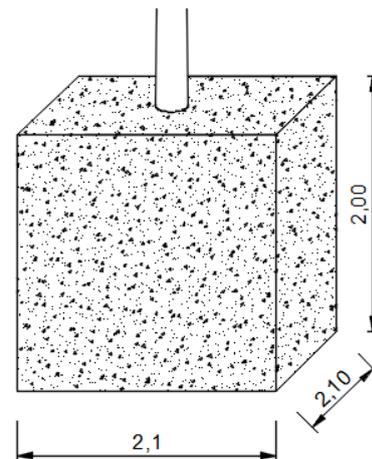
DIMENSIONI PLINTO			
lung.	largh.	altezza	
2,10	2,10	2,00	m

MOMENTO STABILIZZANTE PLINTO		
w _{plinto}	daN	22050
b _{stab}	m	1,05
V _{EQU}		0,9
M _{stab.pl}	daNm	20837

MOMENTO RIBALTANTE M _{rib,d}		
Vsd	daN	1511
hT	m	2,00
M _{sd}	daNm	9129
M_{rib,d}	daNm	12150

MOMENTO STABILIZZANTE PALO		
Nsd	daN	713
b _p	m	1,05
V _{EQU}		0,9
M _{stab.p}	daNm	673

VERIFICA A RIBALTAMENTO		
M _{rib,d}	daNm	12150
M _{stab,d}	daNm	21511
F_s = M_{stab,d} / M_{rib,d}		1,77



Fondazioni Dirette
Verifica in tensioni efficaci

$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + q \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot d_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot g_{\gamma}$$

D = Profondità del piano di appoggio

e_B = Eccentricità in direzione B ($e_B = Mb/N$)

e_L = Eccentricità in direzione L ($e_L = MI/N$) (per fondazione nastriforme $e_L = 0$; $L^* = L$)

B^* = Larghezza fittizia della fondazione ($B^* = B - 2 \cdot e_B$)

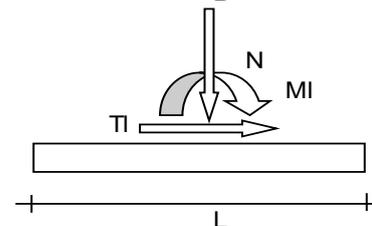
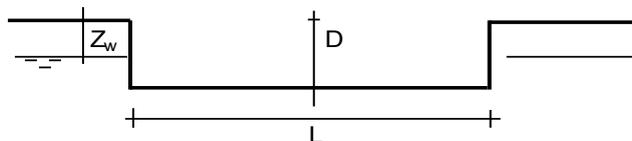
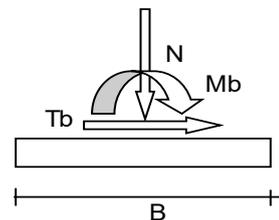
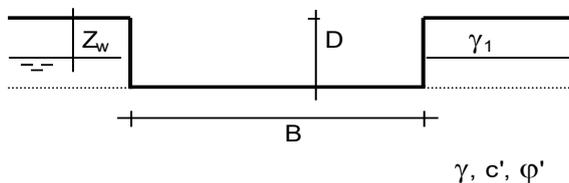
L^* = Lunghezza fittizia della fondazione ($L^* = L - 2 \cdot e_L$)

(per fondazione nastriforme le sollecitazioni agenti sono riferite all'unità di lunghezza)

coefficienti parziali

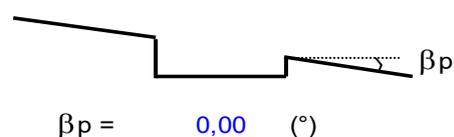
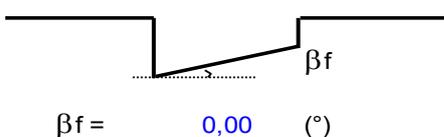
Metodo di calcolo	azioni		proprietà del terreno	
	permanenti	temporanee variabili	$\tan \varphi'$	c'
Stato limite ultimo	1,00	1,30	1,25	1,60
Tensioni ammissibili	1,00	1,00	1,00	1,00
definiti dall'utente	1,00	1,50	1,00	1,00

valori suggeriti dall'EC7



(Per fondazione nastriforme $L = 100$ m)

- B = 2,10 (m)
- L = 2,10 (m)
- D = 2,00 (m)



AZIONI

	valori di input		Valori di calcolo
	permanenti	temporanee	
N [kN]	293,78	0,00	293,78
Mb [kNm]	121,50	0,00	121,50
MI [kNm]	0,00	0,00	0,00
Tb [kN]	15,11	0,00	15,11
TI [kN]	0,00	0,00	0,00
H [kN]	15,11	0,00	15,11

Peso unità di volume del terreno

$\gamma_1 = 16,00$ (kN/mc)
 $\gamma = 16,00$ (kN/mc)

Valori caratteristici di resistenza del terreno

$c' = 0,00$ (kN/mq)
 $\varphi' = 24,00$ (°)

Valori di progetto

$c' = 0,00$ (kN/mq)
 $\varphi' = 24,00$ (°)

Profondità della falda

$Z_w = 10,00$ (m)

$e_B = 0,41$ (m)
 $e_L = 0,00$ (m)

$B^* = 1,27$ (m)
 $L^* = 2,10$ (m)

q : sovraccarico alla profondità D

$q = 32,00$ (kN/mq)

γ : peso di volume del terreno di fondazione

$\gamma = 16,00$ (kN/mc)

N_c, N_q, N_γ : coefficienti di capacità portante

$N_q = \tan^2(45 + \varphi'/2) \cdot e^{(\pi \cdot \tan \varphi')}$

$N_q = 9,60$

$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi'$

$N_c = 19,32$

$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \tan \varphi'$

$N_\gamma = 9,44$

s_c, s_q, s_γ : fattori di forma

$s_c = 1 + B \cdot N_q / (L^* \cdot N_c)$

$s_c = 1,30$

$s_q = 1 + B \cdot \tan \varphi' / L^*$

$s_q = 1,27$

$s_\gamma = 1 - 0,4 \cdot B^* / L^*$

$s_\gamma = 0,76$

i_c, i_q, i_γ : fattori di inclinazione del carico

$$m_b = (2 + B^* / L^*) / (1 + B^* / L^*) = 1,62 \quad \theta = \arctg(Tb/TI) = 90,00 \quad (^\circ)$$

$$m_l = (2 + L^* / B^*) / (1 + L^* / B^*) = 1,38 \quad m = 1,62 \quad (-)$$

$$i_q = (1 - H/(N + B^*L^* c' \cotg\varphi'))^m \quad (m=2 \text{ nel caso di fondazione nastriforme e } m=(m_b \sin^2\theta + m_l \cos^2\theta) \text{ in tutti gli altri casi)}$$

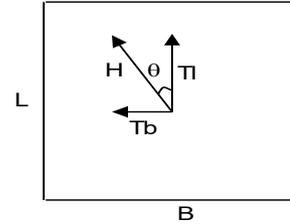
$$i_q = 0,92$$

$$i_c = i_q - (1 - i_q)/(Nq - 1)$$

$$i_c = 0,91$$

$$i_\gamma = (1 - H/(N + B^*L^* c' \cotg\varphi'))^{(m+1)}$$

$$i_\gamma = 0,87$$



d_c, d_q, d_γ : fattori di profondità del piano di appoggio

$$\text{per } D/B^* \leq 1; d_q = 1 + 2 D \tan\varphi' (1 - \sin\varphi')^2 / B^*$$

$$\text{per } D/B^* > 1; d_q = 1 + (2 \tan\varphi' (1 - \sin\varphi')^2) * \arctan(D / B^*)$$

$$d_q = 1,31$$

$$d_c = d_q - (1 - d_q) / (N_c \tan\varphi')$$

$$d_c = 1,35$$

$$d_\gamma = 1$$

$$d_\gamma = 1,00$$

b_c, b_q, b_γ : fattori di inclinazione base della fondazione

$$b_q = (1 - \beta_f \tan\varphi')^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0,00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$b_q = 1,00$$

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan\varphi')$$

$$b_c = 1,00$$

$$b_\gamma = b_q$$

$$b_\gamma = 1,00$$

g_c, g_q, g_γ : fattori di inclinazione piano di campagna

$$g_q = (1 - \tan\beta_p)^2 \quad \beta_f + \beta_p = 0,00 \quad \beta_f + \beta_p < 45^\circ$$

$$g_q = 1,00$$

$$g_c = g_q - (1 - g_q) / (N_c \tan\varphi')$$

$$g_c = 1,00$$

$$g_\gamma = g_q$$

$$g_\gamma = 1,00$$

Carico limite unitario

$$q_{lim} = 534,33 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Pressione massima agente

$$q = N / B * L *$$

$$q = 109,91 \quad (\text{kN/m}^2)$$

Coefficiente di sicurezza

$$F_s = q_{lim} / q = 4,86$$

VERIFICA A SCORRIMENTO

$$H_d = 15,11 \quad (\text{kN})$$

$$S_d = N * \tan(\varphi') + c' * B * L *$$

$$S_d = 130,80 \quad (\text{kN})$$

Coefficiente di sicurezza allo scorrimento

$$F_{scorr} = 8,66$$

2.3. IMPIANTI DI AUSILIO E REGOLAMENTAZIONE DELL'ESERCIZIO

Al fine di sfruttare le infrastrutture del sistema TRC esistente e per permettere una gestione omogenea della linea è condizione necessaria prevedere una estensione compatibile con l'attuale piattaforma tecnologica in grado di garantire il controllo dell'esercizio dell'intera infrastruttura.

Tale estensione consentirà di impiegare anche per la nuova linea (naturale estensione ed integrazione di quella realizzata) la stessa tipologia di veicoli utilizzati sulla linea Rimini FS – Riccione FS e di integrare le funzionalità di localizzazione, di regolarizzazione, di segnalamento mediante un unico sistema in grado di gestire l'intero percorso del TRC.

In particolare, i sistemi che saranno ampliati/integrati per la nuova linea sono:

1. sistema di segnalamento;
2. sistema di localizzazione e controllo dell'esercizio;
3. sistema di bordo veicolo;
4. sistema di regolazione semaforica;
5. sistema audio/video;
6. sistema di telecontrollo sottostazioni elettriche;
7. infrastruttura delle Telecomunicazioni;
8. impianti di fermata.

2.3.1. Posto Centrale di Controllo (PCC)

La nuova linea Rimini FS e Rimini Fiera sarà completamente integrata nel Posto Centrale di Controllo esistente, acquisendone tutte le peculiarità e funzionalità.

L'attuale piattaforma tecnologica di supervisione, monitoraggio, sicurezza e regolazione dell'esercizio permette l'espansione del sistema consentendo di gestire il TRC anche in caso di estensioni della rete di trasporto o di eventuali modifiche del tracciato ampliando semplicemente gli apparati di campo.

In particolare, le funzionalità messe a disposizione saranno:

- supervisione e controllo delle aree di segnalamento;
- supervisione (localizzazione) della flotta;
- supervisione e controllo della regolarità dell'esercizio;
- supervisione e controllo degli impianti di alimentazione e trazione elettrica;
- supervisione e controllo delle fermate (videosorveglianza tramite telecamere ed interfonie, diffusione di informazioni al pubblico tramite pannelli a messaggio variabile ed altoparlanti);
- supervisione e controllo delle funzionalità a bordo veicolo.

La piattaforma software esistente si compone di cinque sistemi a logica distribuita, integrati tra loro, che garantiscono la supervisione e il controllo dell'intera linea e possono estendere le loro funzionalità anche alla nuova linea Rimini FS – Fiera. Tali sistemi sono i seguenti:

- sistema di segnalamento, supervisione e controllo della linea deputato alla gestione in sicurezza degli instradamenti nelle tratte a singola via di corsa;
- sistema di controllo dell'esercizio e localizzazione deputato alla localizzazione del veicolo, alla gestione del sistema radio e al controllo dell'esercizio;
- sistema di supervisione delle sottostazioni elettriche deputato al telecontrollo e alla supervisione degli apparati presenti nelle sottostazioni elettriche;
- sistema di videosorveglianza, informazione all'utenza e comunicazioni interfoniche deputato alla gestione delle funzionalità di sicurezza in fermata mediante telecamere a circuito chiuso, interfoni,
- sistemi di informazione all'utenza quali pannelli a messaggio variabile e diffusione sonora;
- sistema di bordo deputato alle funzionalità di bordo quali comunicazione terra/bordo, localizzazione, gestione dell'interfaccia conducente e comunicazioni via radio.

Nel contesto della nuova linea si prevede di integrare il posto centrale esistente con le pagine grafiche di supervisione della nuova linea.

2.3.2. Regime di blocco delle tratte a singola via di corsa (SVC)

La gestione delle tratte a SVC del TRC combina due condizioni di sicurezza dell'esercizio:

- mutuo controllo sul consenso ad accedere alla tratta a singola corsia di marcia;
- rilevazione di un eventuale ingresso non autorizzato di una vettura o di altro autoveicolo nella tratta.

3. IMPIANTI DI FERMATA

3.1. IMPIANTO LFM

Gli impianti elettrici luce e F.M. di linea a servizio della fermata saranno alimentati dal quadro di fermata, da fornitura dell'Ente di distribuzione elettrica in bassa tensione 380/220 V - 50 Hz.

La posizione dei quadri elettrici dipenderà dalle caratteristiche architettoniche della fermata e dell'area adiacente alla fermata. In ogni caso la posizione dei quadri elettrici dovrà essere al di fuori della zona della linea di contatto e del captatore di corrente (rif. EN 50122).

Il sistema di distribuzione dell'impianto elettrico è un sistema TT in bassa tensione.

La banchina della fermata sarà illuminata con apparecchi di illuminazione (strisce LED) integrati nella pensilina, atti a garantire l'illuminamento necessario, con grado di protezione non inferiore ad IP65.

La luce serale potrà essere ottenuta con l'inserzione del pieno carico; il comando per l'accensione e lo spegnimento sarà realizzato tramite un interruttore crepuscolare a cellula fotoelettrica.

La norma "UNI 10819" tratta la limitazione della dispersione verso l'alto del flusso luminoso degli apparecchi per l'illuminazione esterna.

Le finalità sono le seguenti:

- riduzione dell'inquinamento luminoso e dei consumi
- riduzione dei fenomeni d'abbagliamento
- tutela dell'inquinamento luminoso delle zone circostanti
- miglioramento della qualità della vita e delle condizioni di fruizione dei centri urbani e dei beni ambientali.

L'impianto è stato progettato nel rispetto della normativa UNI 10819. Per limitare in modo efficace l'inquinamento luminoso si è minimizzata tutta quella parte di esso che è evitabile in quanto non assolutamente necessaria per produrre l'illuminazione richiesta. Per un'efficace limitazione dell'inquinamento luminoso non si è sovrailluminato. Questo significa limitare i livelli di luminanza ed illuminamento delle superfici illuminate a quanto effettivamente necessario. Significa anche non applicare livelli superiori al minimo previsto dalle norme di sicurezza, quando presenti, in modo da garantire la sicurezza senza produrre eccessivo inquinamento luminoso.

I circuiti relativi all'illuminazione saranno realizzati con cavi tipo FG16M16 posti in opera in tubo pvc interrato ad una profondità di cm 50 dal piano di campagna.

La rete di alimentazione delle utenze FM si dipartirà dal Quadro di Fermata e sarà costituita da più circuiti monofase e trifase con neutro singolarmente protetti.

Tutte le giunzioni e le derivazioni dovranno essere eseguite in scatola stagna IP 67 o pozzetto di ispezione.

I quadri elettrici di fermata saranno del tipo stradale in vetroresina, installati a pavimento, incluso telaio di base, a due vani di diversa altezza (di cui uno per il contatore di fornitura elettrica), con portello cieco completo di serratura, con grado di protezione non inferiore ad IP55.

Sarà prevista una singola protezione magnetotermica differenziale per ogni linea in uscita alimentante le utenze luce e f.m..

Il sistema di terra adottato è del tipo TT e dovrà coesistere con l'impianto di terra della Trazione Elettrica, che ha origine dalle sottostazioni elettriche di linea.

Tutte le masse metalliche delle apparecchiature presenti in fermata saranno collegate ad una barra di terra; per garantire lo scatto dell'interruttore extrarapido in caso di cedimento della linea di contatto, la barra equipotenziale sarà collegata al binario tramite l'interposizione di un diodo per limitare le correnti vaganti.

La scelta effettuata è conforme alle prescrizioni della Normativa CEI EN 61936-1 - CEI EN 50522 e CEI 9-6.

L'impianto d'illuminazione, essendo costituito di elementi in doppio isolamento, sarà privo di un collegamento all'impianto di terra.

3.2. PREDISPOSIZIONI PER IMPIANTI DI SISTEMA

Tutte le fermate della linea TRC saranno equipaggiate con i seguenti apparati (non di fornitura nel presente progetto):

- Telecamere di videosorveglianza;
- Pannelli a messaggio variabile;
- Altoparlanti per la diffusione sonora;
- Interfono per la comunicazione con gli operatori del posto centrale di controllo.
- Access point;
- Barriere automatiche (ove previsto).

La pensilina sarà predisposta con le opportune strutture di sostegno / staffe / adattatori per poter ospitare gli apparati. Le pensiline dovranno essere inoltre predisposte con le necessarie vie cavi con ridotte curvature ed aperture di ispezione al fine di consentire l'agevole infilaggio dei cavi e le attività di manutenzione.

L'elaborato TRC2-PFTE-SIS-DG-008 mostra la disposizione tipica degli apparati in fermata e delle relative predisposizioni impiantistiche. La posizione di dettaglio degli apparati dovrà essere integrata considerando la conformazione specifica delle fermate e la presenza degli altri sistemi.

I cavidotti in partenza dagli armadi dovranno essere adattati a valle della definizione dei relativi punti di presa.

La risalita dal piano di banchina al tetto della pensilina avverrà tipicamente dal pozzetto centrale di banchina passando all'interno del ritto della pensilina. L'interfono sarà posizionato sul ritto centrale.

4. IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE PUBBLICA

4.1. PRESCRIZIONI NORMATIVE

Tutti i componenti dovranno essere dotati di marchio IMQ per gli apparecchi ammessi al regime del marchio, in alternativa di marchio CEI o comunque corredati di certificazione del costruttore per la rispondenza alle norme relative. Devono rispondere alle caratteristiche nominali del circuito in cui verranno installati in termini di potenza, tensione, corrente massima assorbita e frequenza nominali. Inoltre tutti i componenti dell'impianto dovranno essere dotati di relativo marchio CE apposto dal costruttore.

Per la definizione delle caratteristiche tecniche degli impianti, anche ove non specificato, si deve fare riferimento specifico a tutta la normativa di legge ed alle prescrizioni degli Enti preposti in vigore. In particolare, a scopo esemplificativo, si elencano:

- Legge 186, 1 marzo 1968: Disposizioni concernenti la produzione dei materiali e l'installazione degli impianti elettrici.
- DLGS 81/08 e SSME: Testo Unico per la sicurezza sul lavoro.
- D.M. 22 Gennaio 2008 n°37
- Disposizioni particolari dei Vigili del Fuoco in materia di impianti elettrici.
- Posizioni della locale azienda distributrice dell'energia elettrica (Unareti)
- Legge Regionale Lombardia contro l'inquinamento luminoso n°31 2015 " Misure di efficientamento dei sistemi di illuminazione esterna con finalità di risparmio energetico e di riduzione dell'inquinamento luminoso.

Gli impianti sono stati progettati e dovranno essere realizzati nel rispetto delle norme tecniche:

- Internazionale: CIE (ISO), IEC
- Europeo: CEN, CENELEC
- Nazionale: UNI, CEI
- conformità alla legge CAM 2022 del DM 23.06.2022

4.2. FUNZIONALITÀ

L'illuminazione pubblica deve permettere agli utenti della strada di circolare nelle ore notturne con facilità e sicurezza; l'analisi delle esigenze visive che caratterizzano le diverse categorie di utenti costituisce pertanto la premessa per una razionale impostazione del progetto.

Il concetto di funzionalità è piuttosto differente per l'automobilista o per il pedone. Per il primo si tratta di percepire distintamente, localizzandoli con certezza e in tempo utile, i punti singolari del percorso (incroci, curve, ecc.) e gli ostacoli eventuali, per quanto possibile senza l'aiuto dei proiettori di profondità e anabbaglianti. Per il pedone sono essenziali la visibilità distinta dei bordi del marciapiede, dei veicoli e degli ostacoli nonché l'assenza di zone d'ombra troppo marcate.

La presenza e la forma degli oggetti sono percepiti in virtù dei contrasti di luminanza e di colore. Normalmente nella visione diurna i due tipi di contrasto coesistono mentre in quella notturna il contributo del contrasto di colore praticamente si annulla; il problema fondamentale dell'illuminotecnica si riduce pertanto a quello di produrre sulla strada i contrasti di luminanza sufficienti a fornire una chiara immagine della stessa e degli oggetti presenti su di essa.

La possibilità di percepire tali contrasti è influenzata dal livello medio di luminanza, dalla sua uniformità e dall'abbagliamento prodotto dai centri luminosi. Questi parametri costituiscono le principali caratteristiche per determinare se l'illuminazione è di qualità.

L'uniformità di luminanza garantisce che l'immagine della strada sia fornita in modo chiaro e senza incertezze fornendo visibilità e conforto visivo al guidatore. Esiste una relazione tra il livello di luminanza e i requisiti di uniformità: quando il livello di luminanza aumenta detti requisiti risultano meno stringenti. Inoltre l'impressione soggettiva concernente la qualità di un'installazione dipende da altri fattori quali l'intervallo tra i centri luminosi e la loro disposizione. L'uniformità di luminanza di una superficie stradale illuminata si modifica anche in funzione delle condizioni atmosferiche, peggiorando con fondo bagnato.

Per una circolazione sicura è necessario che il tracciato della strada, i suoi bordi, gli eventuali incroci e gli altri punti speciali devono essere resi visibili. L'impianto deve pertanto incrementare la visibilità della strada in rapporto ai fianchi stradali nonché la visibilità dei mezzi destinati a contribuire alla guida, quali la segnaletica orizzontale e le barriere di sicurezza ("guida visiva"), inoltre, tramite l'ideale disposizione degli apparecchi illuminati, il tracciato della strada e l'avvicinamento ad incroci o altri punti speciali, deve essere percepibile ad una distanza sufficiente ("guida ottica"). Un uso ottimale delle possibilità che gli impianti di illuminazione stradale possono offrire ai fini della guida visiva e ottica è altrettanto importante per la sicurezza e il comfort della circolazione quanto il livello di luminanza, l'uniformità o la limitazione dell'abbagliamento.

Gli impianti di illuminazione sono installati in condizioni di esposizione alle intemperie; inoltre sono accessibili ad un numero elevato di persone; infine richiedono interventi ad altezze notevoli da terra e su strade anche a traffico veicolare intenso e veloce: questi fatti rendono particolarmente stringenti i requisiti delle norme per la prevenzione degli infortuni. In particolare tutti i materiali ed apparecchi devono essere costruiti e installati a regola d'arte e l'esecuzione degli impianti deve essere affidata a imprese qualificate.

Tutte le parti in tensione dell'impianto, comunque accessibili, devono essere protette contro i contatti diretti; tutte le parti metalliche, comunque accessibili, che per difetto di isolamento possono andare in tensione, devono essere protette contro i contatti indiretti.

I componenti dei centri luminosi, in particolare le lampade, i rifrattori, gli schermi e gli accessori elettrici, devono consentire una facile sostituzione in opera ma soprattutto devono essere rigorosamente sicuri agli effetti delle cadute a seguito di oscillazioni, proprie del sostegno provocate dal vento o dal traffico pesante.

4.3. CRITERI DI QUALITÀ NELL'ILLUMINAZIONE STRADALE

La norma UNI 11248 "Illuminazione stradale - Selezione delle categorie illuminotecniche" indica i requisiti illuminotecnici qualitativi e quantitativi da considerare nel progetto degli impianti d'illuminazione stradale; essa è applicabile a tutte le strade rettilinee o in curva*, siano esse urbane o extraurbane, con traffico esclusivamente motorizzato o misto.

Le grandezze fotometriche cui fare riferimento per garantire un corretto compito visivo agli utenti delle strade sono:

- luminanza** media mantenuta del manto stradale (L_m [cd/m^2]);
- uniformità generale*** (U_0) e Longitudinale**** (U_l) di detta luminanza;
- indice di abbagliamento debilitante causato dall'installazione (TI [%]);
- spettro di emissione delle lampade;
- guida ottica.

Livello di luminanza. Dal livello di luminanza dipende il potere di rivelazione, inteso come percentuale di un insieme definito di oggetti percepibile dal conducente in ogni punto della strada. Il potere di rivelazione aumenta all'aumentare della luminanza media del manto stradale, con andamento dipendente dall'uniformità e dal grado di abbagliamento debilitante prodotto dall'impianto.

Uniformità di luminanza. Generalmente, il parametro utilizzato per descrivere la distribuzione delle luminanze sulla superficie stradale il rapporto $U_0 = L_{min}/L_m$, dove L_{min} è la luminanza puntuale minima e L_m è quella media sull'intera superficie stradale. Il potere di rivelazione cresce con U_0 , con andamento dipendente anche dal grado di abbagliamento debilitante.

Abbagliamento debilitante. L'effetto dell'abbagliamento debilitante è quello di ridurre notevolmente il potere di rivelazione. Il parametro generalmente utilizzato per quantificare l'abbagliamento debilitante è l'indice TI . Spettro di emissione delle lampade. I tipi di sorgenti luminose ritenuti idonei per l'illuminazione stradale sono numerosi e differiscono considerevolmente tra di loro per la composizione spettrale della luce emessa.

La "distanza di visibilità" dipende sensibilmente dallo spettro di emissione.

Dallo spettro di emissione dipendono:

- l'acuità visiva;

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

Guida ottica. Per guida ottica s'intende la capacità di un impianto di illuminazione di dare all'utente un'immagine immediatamente riconoscibile del percorso da seguire fino ad una distanza che dipende dalla massima velocità permessa su quel tronco di strada. La guida ottica contribuisce alla sicurezza e alla facilità della guida. Pertanto essa è particolarmente importante per le intersezioni. Tra i fattori che influiscono sulla guida ottica nelle intersezioni vi sono il colore della luce, l'altezza dei pali, il livello di luminanza, la disposizione dei centri luminosi. I valori di tali grandezze sono riportati in funzione dell'indice della categoria illuminotecnica di appartenenza della strada, a sua volta dipendente dalla classificazione della strada in funzione del tipo di traffico.

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

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

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

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

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

4.4. INDIVIDUAZIONE DELLE CATEGORIE ILLUMINOTECNICHE

Ai fini della progettazione illuminotecnica risulta fondamentale definire i parametri di progetto e quindi classificare correttamente il territorio in ogni suo ambito. A questo scopo si definiscono le seguenti categorie:

- a) Categoria illuminotecnica di ingresso per l'analisi dei rischi: tale categoria deriva direttamente dalle leggi e dalle norme di settore, la classificazione non è normalmente di competenza del progettista ma lo stesso può aiutare nell'individuazione della corretta classificazione.
- b) Categoria illuminotecnica di progetto: dipende dall'applicazione dei parametri di influenza e specifica i requisiti illuminotecnici da considerare nel progetto dell'impianto.
- c) Categorie illuminotecniche di esercizio: in relazione all'analisi dei parametri di influenza e ad aspetti di contenimento dei consumi energetici, sono quelle categorie che tengono conto del variare nel tempo dei parametri di influenza.

La classificazione illuminotecnica di ambiti stradali ha come fine ultimo la definizione dei valori progettuali di luminanza che devono essere rispettati. In caso di mancanza di strumenti di pianificazione (PRIC: piano regolatore dell'illuminazione comunale o PUT: piano urbano del traffico), la classificazione illuminotecnica avviene applicando la norma UNI 11248 e la norma EN 13201.

Classificazione stradale

La classificazione stradale deve essere comunicata al progettista dal committente o dal gestore della strada, valutate le reali condizioni ed esigenze.

Le categorie illuminotecniche di ingresso dipendono dai tipi di strada delle zone di studio e sono sintetizzate nella tabella seguente in funzione del vigente Codice Stradale e del DM 6792 del 5/11/2001.

CLASSIFICAZIONE STRADA	CARREGGIATE INDIPEND.(min)	CORSIE SENSO DI MARCIA (min)	ALTRI REQUISITI MINIMI
A – autostrada	2	2+2	
B – extraurbana principale	2	2+2	tipo tangenziale e superstrade
C – extraurbana secondaria	1	1+1	con banchine lat.li transitabili - S.P. oppure S.S.
D – urbana a scorrimento veloce	2	2+2	limite velocità >50 km/h
D – urbana a scorrimento	2	2+2	limite velocità <50 km/h
E – urbana di quartiere	1	1+1 o 2 nello	solo proseguimento strade C -
		stesso senso di marcia	con corsie di manovra e parcheggi esterni
F – extraurbana locale	1	1+1 o 1	se diverse da strade C
F – urbana interzonale	1	1+1 o 1	urbane locali di rilievo che attraversano il centro abitato
F – urbana locale	1	1+1 o 1	tutte le altre strade del centro abitato

Categoria illuminotecnica di riferimento

Tab.1: Categoria illuminotecnica di ingresso per l’analisi dei rischi obbligatoria, in relazione al tipo di strada (Terza Direttiva per l’applicazione dell’art. 2 della legge regionale 29 settembre 2003, n. 19 recante: “Norme in materia di riduzione dell’inquinamento luminoso e di risparmio energetico”)

Tipo di strada	Descrizione del tipo di strada	Limite di velocità (km/h)	Categoria illuminotecnica di ingresso per l'analisi dei rischi obbligatoria
A1	Autostrade extraurbane	130-150	M1
	Autostrade urbane	130	
A2	Strade di servizio alle autostrade extraurbane	70-90	M3
	Strade di servizio alle autostrade urbane	50	
B	Strade extraurbane principali	110	M3
	Strade di servizio alle strade extraurbane principali	70-90	M4
C	Strade extraurbane secondarie (tipi C1 e C2) (1)	70-90	M3
	Strade extraurbane secondarie	50	M4
	Strade extraurbane secondarie con limiti particolari	70-90	M3
D	Strade urbane di scorrimento (2)	70	M3
		50	
E	Strade urbane di interquartiere	50	M3
	Strade urbane di quartiere	50	
F (3)	Strade locali extraurbane (tipi F1 e F2) (1)	70-90	M3
	Strade locali extraurbane	50	M4
		30	P3
	Strade locali urbane	50	M4
	Strade locali urbane: centri storici, isole ambientali, zone 30	30	C4
	Strade locali urbane: altre situazioni	30	C5/P3 (3)
	Strade locali urbane: aree pedonali	5	
	Strade locali urbane: centri storici (utenti principali: pedoni, ammessi gli altri utenti)	5	C5/P3 (3)
Strade locali interzonali	50		
	30		
F bis	Itinerari ciclo-pedonali (4)	--	P3
	Strade a destinazione particolare (1)	30	P3

Tabelle UNI EN 13201-2

Le tabelle sottostanti, come da UNI EN 13201-2, riportano i parametri di riferimento per le principali categorie illuminotecniche, stradali e non.

VALORI ILLUMINOTECNICI PER LA PROGETTAZIONE IN AMBITO STRADALE Da utilizzare unitamente alla tabella 2				
Classe	Luminanza minima mantenuta Lm (cd/mq)	Uniformità minima		Valore Max indice abbagliamento debilitante f_{Ti} (%)
		U_0 (*)	U_1 (**)	
M1	2,0	0,40	0,70	10
M2	1,5	0,40	0,70	10
M3	1,0	0,40	0,60	15
M4	0,75	0,40	0,60	15
M5	0,5	0,35	0,40	15
M6	0,3	0,35	0,40	20

VALORI ILLUMINOTECNICI PER LA PROGETTAZIONE IN ZONE DI CONFLITTO (es. rotoatorie, sottopassi, le strade commerciali, ecc.)		
Classe	Illuminamento medio orizzontale (lux) (minimo)	Uniformità U_0 (minimo)
C0	50	0,4
C1	30	0,4
C2	20	0,4
C3	15	0,4
C4	10	0,4
C5	7.5	0,4

VALORI ILLUMINOTECNICI PER LA PROGETTAZIONE IN AREE CON PRESENZA DI PEDONI (es. parcheggi a raso, marciapiedi o piste ciclabili, ecc.)		
Classe	Illuminamento medio orizzontale (lux)	Illuminamento minimo orizzontale (lux)
P1	15	3
P2	10	2
P3	7.5	1.5
P4	5	1
P5	3	0,6
P6	2	0,4
P7	Non determinato	

4.5. RISPONDEZZA AI CRITERI AMBIENTALI MINIMI

È stato pubblicato in Gazzetta Ufficiale n. 183 del 6 agosto 2022 il decreto 23 giugno 2022 che aggiorna i CAM, Criteri Ambientali Minimi, per l'acquisizione di sorgenti luminose per illuminazione pubblica, l'acquisizione di apparecchi per illuminazione pubblica, l'affidamento del servizio di progettazione di impianti per illuminazione pubblica.

L'applicazione dei CAM si è resa obbligatoria con l'approvazione del nuovo Codice Appalti.

I CAM devono essere un riferimento per le amministrazioni nella stesura dei documenti di gara e devono anche indicare il maggior punteggio da assegnare alle offerte che presentano un minor impatto sulla salute e sull'ambiente.

Il provvedimento, apportando le modifiche ai CAM ed abrogando le versioni precedenti, ha il duplice obiettivo di migliorare:

- la qualità della luce in città con un minore impatto sui cittadini, con l'impiego di lampade a led;
- l'affidamento del servizio di progettazione dell'impianto di illuminazione pubblica. Con i nuovi CAM sarà, infatti, possibile ottenere performance ambientali più elevate che garantiranno grandi benefici in termini di efficienza energetica e di riduzione dell'inquinamento, ma anche di risparmio per le casse delle amministrazioni.

Le modifiche ai CAM riguardano:

- l'efficienza energetica;
- la durabilità e il tasso di guasto di tutti i corpi illuminanti;
- le prestazioni degli apparati attraverso l'aggiornamento di due indici. Viene evidenziato che le prestazioni richieste sono differenziate a seconda delle aree da illuminare.

I nuovi criteri ambientali affrontano, inoltre, gli aspetti sociali degli appalti verdi, vigilando che i candidati dimostrino di adottare modelli organizzativi e gestionali in grado di prevenire comportamenti illeciti nei confronti dei lavoratori e garantire il massimo rispetto delle convenzioni internazionali.

4.6. CRITERI DI DIMENSIONAMENTO ELETTRICO

4.6.1. Protezione contro i contatti indiretti

Il contatto indiretto avviene con una massa in tensione a seguito di un guasto di isolamento. Negli impianti di illuminazione esterna la protezione contro i contatti indiretti può essere eseguita mediante uno dei seguenti sistemi:

- interruzione automatica dell'alimentazione (messa a terra);
- componenti ad isolamento doppio o rinforzato (classe II);
- separazione elettrica.

Nel caso specifico la protezione contro i contatti indiretti è assolta dalla tipologia dell'impianto ad isolamento doppio o rinforzato.

Gli apparecchi di illuminazione sono previsti in classe II.

Le derivazioni alle lampade saranno realizzate, in linea di principio, direttamente all'interno dei pozzetti a perfetta regola d'arte per il ripristino del doppio livello di isolamento dei conduttori.

4.6.2. Protezione contro i contatti diretti

Tutto l'impianto elettrico sarà realizzato con componentistica per posa da esterno avente un idoneo grado di protezione. Tutte le parti attive dei circuiti elettrici saranno pertanto racchiuse in custodia con tale grado di protezione minimo.

La spellatura dei cavi dovrà essere realizzata all'interno del componente di classe II.

4.7. DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO

Si prevede di installare apparecchi illuminanti a LED sui sostegni della Linea di Contatto. Si è prevista un'altezza di installazione del corpo illuminante tale da mantenere migliori prestazioni di uniformità di illuminazione, garantendo quindi un maggior comfort per gli utenti della strada.

Gli apparecchi illuminanti saranno con installazione "testa-palo", in classe II e si prevedono provvisti di sorgenti luminose a moduli LED.

L'impianto è suddiviso in zone, in relazione al tessuto urbano attraversato dalla nuova linea, ciascuna alimentata da un "Quadro elettrico di illuminazione pubblica", costituito da armadio in vetroresina idoneo al contenimento di contatore di fornitura elettrica, con montate e cablate apparecchiature di protezione e di manovra per bassa tensione e sistema per la regolazione e la supervisione degli impianti di pubblica illuminazione, attraverso onde convogliate. Ciascun quadro sarà alimentato direttamente da una fornitura elettrica trifase e da ciascun quadro saranno derivati circuiti trifase, che collegheranno i pali con fasi alternate.

I pali sono collegati al circuito di terra tramite cavo G/V 1x16mmq o di sezione superiore.

Il numero di circuiti che sono derivati da ogni quadro è determinato dalla topografia dell'impianto d'illuminazione e dai limiti dei circuiti adiacenti. Per ciascuna zona è prevista la realizzazione di circuiti trifase equilibrati con neutri separati.

Le linee elettriche, realizzate con cavi tipo FG7OR 0,6/1 KV, sono posate all'interno di cavidotti interrati fino al pozzetto adiacente il supporto del corpo illuminante.

I quadri elettrici saranno alloggiati in apposito armadio a colonna in vetroresina, con due scomparti separati di cui uno per l'ente erogatore, e chiusure a chiave. Sarà prevista una protezione magnetotermica differenziale per le linee in uscita che alimentano le utenze. All'interno del quadro è previsto un controllore elettronico di potenza ed un gruppo di potenza integrato che provvedono autonomamente a tre funzioni:

- riduzione della potenza e del flusso luminoso notturno in tutte le lampade dell'impianto secondo un ciclo definito dall'utente;
- accensione dell'impianto a tensione ridotta in modo da limitare sensibilmente le sollecitazioni alle lampade e la corrente di spunto;

- stabilizzazione (in aumento o in diminuzione) della tensione a valle nei vari regimi di funzionamento tarabili dall'utente con tolleranza ± 1 V ed in presenza di tensioni a monte nel range 210 ÷ 245 V.

La stabilizzazione della tensione effettuata dall'apparecchiatura consente di allungare notevolmente la vita delle lampade.

Tutte le apparecchiature previste saranno conformi alla norma CEI EN 61439.

Nel quadro di comando saranno montati e cablati:

- interruttore generale magnetotermico con bobina di sgancio;
- relé differenziale a due tempi di intervento (apertura contattore ed apertura interruttore generale se guasto persistente) con controllo automatico di ripristino e display luminoso di conteggio interventi;
- contattore di inserzione linea;
- interruttore magnetotermico di protezione dei circuiti ausiliari;
- selettore di funzionamento manuale/automatico (by-pass crepuscolare);
- fotocellula crepuscolare con amplificatore a regolazione di soglia (2-200 lux);
- pannello con montati e cablati interruttori magnetotermici a protezione e sezionamento delle linee in uscita di alimentazione lampade.

Il sistema per la regolazione e la supervisione dell'impianto di pubblica illuminazione sarà collegabile, se richiesto, via rete ethernet o via GSM ad un server di controllo e, tramite interfaccia web o tramite sms, potranno essere acquisiti i parametri di funzionamento dell'impianto. E' anche previsto un interruttore astronomico crepuscolare, per permettere anche la configurazione di scenari pre- memorizzati o attivati da sensori di campo.

4.8. IMPIANTI TECNOLOGICI SOTTOVIE E SOTTOPASSI

E' stata prevista l'illuminazione dei sottovia (o ampliamento dell'esistente), l'illuminazione dei sottopassi (comprese le rampe di accesso e/o le scale) e gli impianti di sollevamento acque meteoriche, laddove necessari.

Per l'illuminazione dei sottovia sono state previste plafoniere stagne a LED con corpo realizzato in un unico pezzo in acciaio privo di saldature, in grado di resistere ad ambienti particolarmente aggressivi; per l'illuminazione dei sottopassi plafoniere stagne a LED con corpo in policarbonato infrangibile, con un grado di protezione IP66; per l'illuminazione delle scale applique a LED.

Il progetto prevede, per i nuovi sottopassi, un impianto di sollevamento alimentato da una consegna BT dedicata e separata dall'impianto di illuminazione, con stazione di sollevamento prefabbricata in cls vibro compresso con prolunghie, adatta all'installazione di n.2 elettropompe.