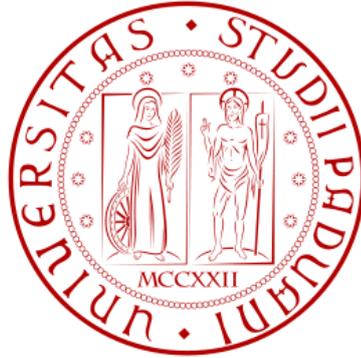


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA



Corso di Laurea in
ingegneria elettrotecnica

TECNICHE COSTRUTTIVE PER
IMPIANTI DI INNEVAMENTO ARTIFICIALE

RELATORE

Prof. Fellin Lorenzo

STUDENTE

Zeni Renzo

Anno Accademico 2010/2011

*Lentamente muore chi diventa schiavo dell'abitudine,
Ripetendo ogni giorno gli stessi percorsi
Chi non cambia la marca, il colore dei vestiti,
chi non parla a chi non conosce.
Muore lentamente chi evita una passione,
chi preferisce il nero su bianco e i puntini sulle i
piuttosto che un insieme di emozioni,
proprio quelle che fanno brillare gli occhi
quelle che fanno di uno sbaglio un sorriso,
quelle che fanno battere il cuore davanti all'errore e ai sentimenti.
Lentamente muore chi non capovolge il tavolo,
chi è infelice sul lavoro,
chi non rischia la certezza per l'incertezza per inseguire un sogno,
chi non si permette almeno una volta nella vita di fuggire ai consigli sensati.
Lentamente muore chi non viaggia, chi non legge,
chi non ascolta musica, chi non trova grazia in se stesso.
Muore lentamente chi distrugge l'amor proprio,
chi non si lascia aiutare;
chi passa i giorni a lamentarsi della propria sfortuna
o della pioggia incessante.
Lentamente muore chi abbandona un progetto prima di iniziarlo,
chi non fa domande sugli argomenti che non conosce,
chi non risponde quando gli chiedono qualcosa che conosce.
Evitiamo la morte a piccole dosi,
ricordando sempre che essere vivo richiede uno sforzo
di gran lunga maggiore del semplice fatto di respirare.
Soltanto l'ardente pazienza porterà al raggiungimento
Di una splendida felicità*

Pablo Neruda

Indice

1	Formazione della neve	3
1.1	Neve Naturale	3
1.2	Neve Artificiale	5
1.2.1	Processo di produzione	5
1.2.2	Tipologie di cannoni da neve	7
1.2.3	Parti principali costituenti di un cannone da neve	12
2	Impianti di innevamento	15
2.1	Impianto Alpe di Pampeago	16
2.1.1	Schema a blocchi dell'impianto	16
2.1.2	Serbatoi acqua	16
2.1.3	Stazioni di Pompaggio	16
2.1.4	Generatori di neve	18
2.1.5	Rete energia elettrica	18
2.1.6	Rete di controllo	19
2.1.7	Richiesta idrica	19
3	Distribuzione energia elettrica	21
3.1	Cabine alimentazione	21
3.2	Modalità costruttive rete BT	22
3.2.1	Luogo di installazione	22
3.2.2	Colonnina di attacco	23
3.2.3	Linee di distribuzione	25
3.2.4	Collegamento tra le varie tratte	25
3.2.5	Tipologia di cavo	27
3.2.6	Modalità di posa	29
3.2.7	Impianto di terra[16]	30
3.3	Protezioni	33

3.3.1	Lunghezza massima protetta delle linee	33
3.4	Verifica del dimensionamento con NEPLAN	34
3.4.1	Situazione 1	35
3.4.2	Situazione 2	36
3.4.3	Situazione 3	43
3.4.4	Considerazioni	43
4	Stazioni di pompaggio	47
4.1	Sezione MT	47
4.1.1	Generalità	47
4.1.2	Caratteristiche Alimentazione	48
4.1.3	Impianto di terra cabina	49
4.1.4	Protezioni adottate	50
4.2	Sezione di trasformazione	53
4.2.1	Generalità	53
4.2.2	Inserzione a vuoto dei trasformatori sulla rete.	55
4.2.3	Caratteristiche dei trasformatori	56
4.2.4	Rifasamento dei trasformatori	57
4.3	Sezione BT	58
4.3.1	Generalità	58
4.3.2	Apparecchi utilizzatori	58
4.3.3	Schema unifilare dell'impianto	63
4.3.4	Protezione dei motori	64
4.4	Impianti di trattamento dell'acqua	64
4.4.1	Generalità	64
4.4.2	Percorso acqua	68
4.4.3	Torri di raffreddamento	69
4.4.4	Filtri	69
4.4.5	Tattamento ad ozono	71
4.4.6	Ozonizzatore Bewazon[10]	80
5	Conclusioni	85
A	Identificazione Cavi	89
B	Codici ANSI	91

Introduzione

Al giorno d'oggi, per le stazioni sciistiche, è sempre più importante riuscire a fornire all'appassionato di sport invernali un servizio ottimale. Questo si traduce in un miglioramento dei sistemi di risalita, che devono continuamente essere ammodernati e in una eccellente preparazione delle piste da sci.

Il capitolo impianti di risalita è in molti luoghi già chiuso, in quanto le zone sfruttabili sono già state "colonizzate"; vi sono inoltre norme di tutela del territorio e norme sullo sfruttamento ambientale che ormai, in molte località, impediscono la costruzione di nuove infrastrutture.

I comprensori, per attirare il cliente, possono quindi fare leva praticamente solo sulla qualità della preparazione delle piste. Ogni anno in autunno questo diventa un punto cruciale; infatti non sempre la natura si dimostra generosa regalando abbondanti nevicate, ma per la maggior parte delle volte, come negli ultimi anni, si rivela abbastanza avara di precipitazioni in tal periodo. In questo caso per poter aprire le piste da sci nei tempi stabiliti si rende necessaria l'adozione di complessi impianti di innevamento programmato. Attraverso di essi (temperature basse permettendo) si riesce infatti a produrre in tempi molto brevi la quantità di neve necessaria all'apertura al pubblico delle piste.

La tesina, per la parte descrittiva si traduce prima in una descrizione generale del funzionamento dei macchinari atti a produrre la neve.

Si passa poi ad una descrizione delle infrastrutture necessarie a far funzionare un impianto per la produzione della neve soffermandosi in particolare su alcuni aspetti elettrico-impiantistici di maggior importanza.

Viene inoltre descritta una stazione di pompaggio dell'acqua, elemento molto importante per il funzionamento dell'insieme.

È stata fatta inoltre anche una parte di simulazione con l'usilio del computer, ed in particolare con il software NEPLAN, tramite cui si è andati a verificare il corretto dimensionamento delle linee BT, in alcune "configurazioni tipo" di carico. Tale esigenza è nata dal fatto che ormai è risaputo che tale impianto presenta dei

problemi in determinate condizioni di carico.

Capitolo 1

Formazione della neve

1.1 Neve Naturale

Il cristallo di neve inizia la sua formazione all'interno dell'atmosfera; in essa infatti vi è spesso una alta concentrazione di vapore acqueo, cioè molecole di acqua in sospensione nell'aria. Se la temperatura dell'aria si abbassa tali molecole cominciano a condensare formando delle piccole gocce d'acqua; tale processo avviene solitamente attorno a delle particelle chiamate nuclei di condensazione (sali, pollini o micropolveri sospese) che presentano un diametro medio di circa $1\mu\text{m}$.

Quando la temperatura dell'aria si abbassa fino a superare il limite di 0°C è molto probabile che, anziché di gocce d'acqua, avvenga la formazione di minuscoli cristalli di ghiaccio. In pratica nella nube si ha che il vapore acqueo rimane nello stato di soprassaturazione (processo di raffreddamento di un liquido al di sotto della sua temperatura di solidificazione, senza che avvenga effettivamente la solidificazione stessa)[1]. A -10°C gela una gocciolina su un milione, a -30°C una su mille e a -40°C tutte quante gelano.

Al diminuire della temperatura dell'aria si ha una concentrazione sempre maggiore del numero di particelle atte a diventare nuclei di congelamento e quindi si ha un aumento della formazione di cristalli di ghiaccio per congelamento. Affinché avvenga velocemente questo processo, dando origine alla precipitazione nevosa, si rende necessaria la presenza di nuclei di congelamento; non necessariamente essi devono essere le stesse particelle che fungono da nuclei di condensazione (responsabili della formazione delle gocce di pioggia). La maggior parte di questi nuclei di congelamento sono polveri sospese di argille, tipicamente caolinite. Essendo la tensione di vapore dell'acqua, a parità di temperatura, superiore a quella del ghiaccio si avrà una migrazione delle molecole d'acqua, dalle gocce surraffredda-

te verso i cristalli di ghiaccio, accrescendo per sublimazione in questo modo il cristallo.

Un'altra causa di accrescimento dei cristalli è l'incontro, durante il tragitto verso terra, con delle gocce d'acqua sopraffuse; quando si ha la collisione si ha un'immediata solidificazione dell'acqua sulla superficie del cristallo, in un processo chiamato di "brinata". Quando un cristallo è brinato di solito cade più rapidamente perché è più pesante, nonostante la resistenza di caduta dell'aria. Al contrario l'evoluzione da vapore generalmente aumenta la resistenza all'aria attraverso la formazione di ramificazioni.

A volte i cristalli di ghiaccio vengono interamente coperti di brina fino a formare dei cristalli di neve pallottolare all'interno del quale la forma originaria del cristallo non è più riconoscibile. Questo può succedere quando si ha l'attraversamento di nubi molto spesse o da ripetuti passaggi in correnti d'aria di convezione termica nelle nubi.

Nella fase di accrescimento, per i due motivi sopra citati, si ha quindi un aumento della massa dei singoli cristalli di ghiaccio; essi vengono a subire sempre più la forza di gravità ed iniziano il percorso verso il terreno. Durante la caduta il cristallo è interessato da sollecitazioni dovute a variabili diverse le quali, come detto sopra, contribuiscono a dare la forma finale del fiocco di neve. Tra le più influenti si possono ricordare:

- la temperatura dell'aria in cui avviene il moto;
- la velocità di caduta (dipendente dalla temperatura e dalla massa del cristallo);
- l'umidità dell'aria;
- le correnti ascensionali.

L'aumento di massa del cristallo è proporzionale alla temperatura dell'aria incontrata durante la discesa: se l'aria è fredda i cristalli sono più piccoli invece se l'aria è più calda si avrà un cristallo di dimensioni maggiori, anche perché in un'aria più calda vi è la possibilità di una maggiore concentrazione di umidità e quindi un'ulteriore accrescimento del cristallo durante la discesa, anziché solo in quota nell'atmosfera.

In figura 1.1 si possono vedere alcune delle possibili configurazioni di fiocchi di neve:

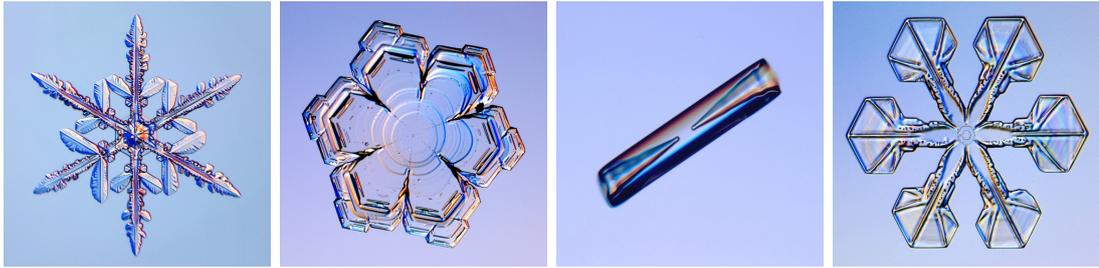


Figura 1.1: Immagini al microscopio di fiocchi di neve

Caduto al suolo il cristallo di neve subisce una serie di metamorfosi che ne vanno a modificare la forma iniziale e le caratteristiche fisiche. Tali trasformazioni dipendono essenzialmente dalla temperatura del manto nevoso e dal contenuto di acqua nella neve. Il metamorfismo modifica la densità del manto nevoso che può quindi variare da un minimo di 50 kg/m^2 ad un massimo di 300 kg/m^2 .

1.2 Neve Artificiale

La neve artificiale è una neve che, anche se può sembrare uguale, presenta delle caratteristiche fisiche un po' diverse rispetto alla neve naturale. È prodotta con apparecchiature che, in particolari condizioni climatiche favorevoli, trasformano l'acqua in neve mediante un processo che tenta di imitare quello naturale. Tali macchinari sono chiamati *cannoni da neve*; un esempio si può vedere in figura 1.2

1.2.1 Processo di produzione

In ingresso al macchinario si ha energia elettrica ed acqua ad una pressione relativamente alta; in uscita si hanno delle particelle di acqua gelata, molto simili alla neve naturale che cade dal cielo.

Il processo che avviene in un cannone da neve è concettualmente molto semplice; in pratica si tenta di riprodurre le condizioni naturali in cui, in presenza di basse temperature, si trovano sospesi in aria germi di nucleazione e particelle di acqua fortemente nebulizzata; siccome le condizioni di temperatura (considerando la temperatura di bulbo umido) non sono modificabili a piacimento, per la regolazione del funzionamento si deve agire sugli altri due fattori: i nucleatori (che producono i germi di nucleazione) e gli ugelli (che nebulizzano l'acqua).[2]



Figura 1.2: Esempio di cannone da neve a ventola T60

Temperatura di bulbo umido

È la temperatura fondamentale per l'innnevamento programmato. È data dalla combinazione della temperatura dell'aria in ° Celsius o °Fahrenheit e dell'umidità relativa dell'aria in %. Per la produzione di neve artificiale solitamente si imposta la macchina per funzionare solo con una T_{umida} di -5°C . A valori superiori vi è il rischio che si produca neve troppo bagnata.

La T_{umida} corrisponde alla temperatura riportata da un termometro, la cui sfera di mercurio viene avvolta con una garza inumidita con acqua. Se l'umidità dell'aria è molto ridotta l'acqua della garza evapora velocemente e di conseguenza sottrae alla colonnina di mercurio molto calore. Il termometro quindi segna una temperatura inferiore alla reale temperatura dell'aria. L'umidità dell'aria influisce in modo importante sul valore della temperatura umida. Tanto più è umida l'aria tanto meno umidità riesce ad assorbire e quindi la temperatura deve essere più bassa per poter formare i cristalli di neve dalle sottili goccioline d'acqua. Dunque con una minore umidità dell'aria è più facile per l'acqua evaporare dalla superficie dell'acqua nebulizzata e raffreddare maggiormente la goccia. Le stazioni meteo, che possono essere montate sui generatori di neve, trasmettono continuamente valori attuali della temperatura umida alla centrale di controllo.[3]

Per ricavare la temperatura di bulbo umido dalla temperatura dell'aria e dall'umidità relativa si usa il diagramma psicrometrico di Mollier; esso però non è di facile e veloce interpretazione e nella pratica vengono usate delle tabelle del tipo

riportato in [fig1.3](#).

1.2.2 Tipologie di cannoni da neve

Esistono vari tipi di generatori di neve; i vari tipi di generatori di neve sostanzialmente si distinguono in base alla modalità di nucleazione ed alla tecnica usata per garantire al cristallo un tempo di permanenza in aria, adeguato alla formazione dei cristalli di neve.

Esistono vari tipi di generatori di neve; di seguito sono descritti:

1. cannoni a bassa pressione (ventole);
2. aste ad alta pressione (aste);
3. aste a bassa pressione (lance).

Cannoni a bassa pressione

Un esempio di cannone a bassa pressione si può vedere in [figura 1.4](#).

Sono formati da un corpo cilindrico della lunghezza di circa un metro, dotato di una ventola ad una estremità e di ugelli e nucleatori disposti in una o più corone concentriche all'estremità opposta rispetto al ventilatore. I nucleatori solitamente si trovano sulla corona più esterna della bocca del cannone e sono in numero molto inferiore rispetto agli ugelli. Il grande numero di ugelli e la varietà dei fori di uscita, spesso regolabili, rendono questo dispositivo molto versatile e adattabile alle varie condizioni climatiche. L'espulsione dei germi di nucleazione e delle particelle di acqua finemente nebulizzata spetta alla ventola, che ne permette il trasporto a grande distanza, fino a cinquanta metri in condizioni favorevoli (assenza di vento contrario o presenza di vento in coda).

Il compressore dell'aria compressa è di solito posizionato alla base del cannone. Esso, insieme al motore della ventola, costituisce una fonte di calore che potrebbe influire negativamente sulla qualità della neve ed è quindi da tenerne conto durante la sua progettazione. Il grosso vantaggio della bassa pressione è la notevole versatilità; la macchina infatti è autonoma per quanto riguarda la produzione di aria compressa e necessita quindi solo di un collegamento elettrico ed idraulico per l'adduzione dell'acqua; inoltre vi è anche la possibilità di montarli sui gatti delle nevi.

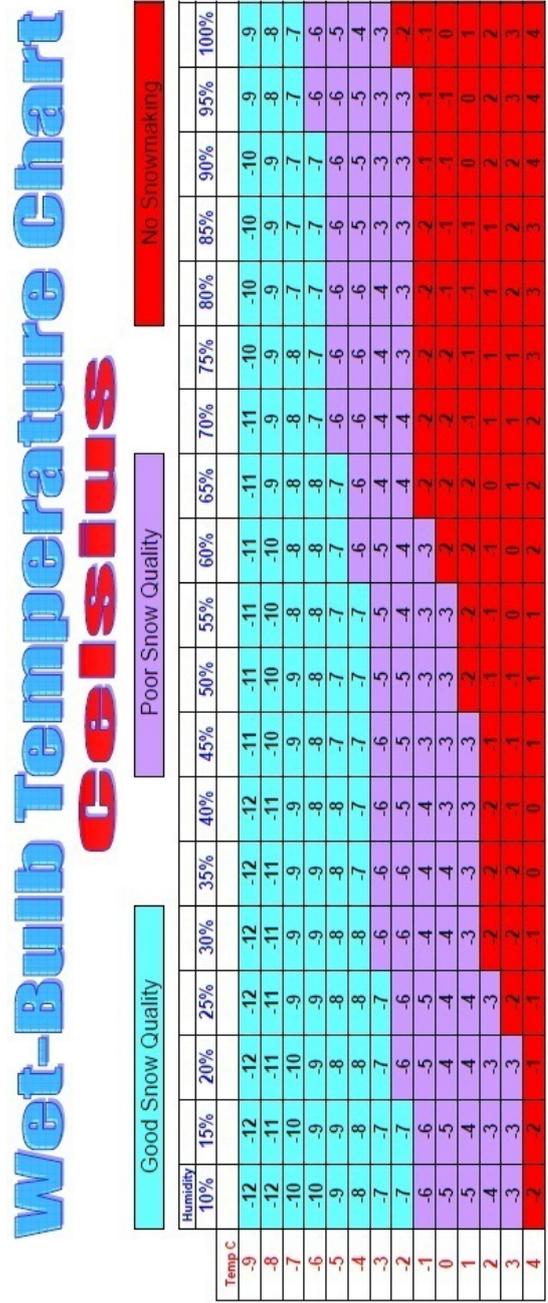


Figura 1.3: Qualità della neve in funzione della temperatura di bulbo umido



Figura 1.4: Cannone a bassa pressione Technoalpin Mod M20

Nella tabella 1.1 si trovano, come esempio le caratteristiche di un modello prodotto dalla ditta technoalpin:[5]

Cannoni ad alta pressione

Questa tipologia è costituita da un'asta di lunghezza variabile (dai 3 agli 8 metri) sulla quale viene posta una testa cilindrica in cui si miscelano insieme aria ed acqua. La nebulizzazione dell'acqua è ottenuta mediante il passaggio, attraverso un ugello di emissione, di questa miscela di acqua ed aria compressa (circa 6bar). Su alcuni cannoni di questo tipo, che sfruttano l'effetto venturi, la pressione dell'acqua può essere anche minore che quella dell'aria.

L'espansione dell'aria compressa alla pressione atmosferica determina un sensibile raffreddamento dell'acqua che permette di produrre neve artificiale a temperature superiori rispetto al sistema a bassa pressione. Il vantaggio di questi innevatori è la facilità d'uso e la elevata affidabilità, dovuta alla totale mancanza di componenti esterni all'asta come compressori o ventole. Il principale svantaggio è legato al notevole consumo elettrico per la produzione di aria compressa: infatti questi innevatori necessitano di grossi compressori (con potenze intorno ai $200 \div 400\text{kW}$) centralizzati per la produzione di aria compressa, canalizzata poi ai vari pozzetti in prossimità delle aste. Le tubazioni sono di solito poste parallelamente alle tubazioni dell'acqua sfruttando quindi lo stesso scavo. Un notevole vantaggio invece è che il cannone non necessita in loco di alimentazione elettrica.

Dato caratteristico	Valore
Lunghezza	2310 mm
Larghezza	2050 mm
Altezza	2250 mm
Peso cannone	714 kg
Peso con carrello di fissaggio	165kg
Peso timone, asse delle ruote, ruote	87 kg
Brandeggio	360°
Inclinazione max	45°
Potenza motore Ventola	18,5 kW
Potenza compressore	4kW
Potenza riscaldamento	0,3 - 1 kW
Tensione di funzionamento	400/440 V
Frequenza	50/60 Hz
Prese conformi CEE	63 A
Prese acqua Kamlok	2 ”
Pressione acqua minima	8 bar
Pressione acqua massima	40/50 bar
Filtro acqua	250 µm
Ugelli acqua fissi	12 Quadrijet
Ugelli acqua variabili	12 Quadrijet
Nucleatori	6

Tabella 1.1: Caratteristiche tecniche M20



Figura 1.5: Esempio di asta ad alta pressione

In figura 1.5 si vede un esempio di asta ad alta pressione:[6]

Cannoni a lancia a bassa pressione[7]

Quest'ultima tipologia si compone di un'asta dell'altezza di 6-10 *m* alla cui sommità si trova una testa che ospita nucleatori ed ugelli. Il metodo di produzione è simile a quello dei cannoni a bassa pressione. Il tempo di volo non è ottenuto tramite la ventola ma tramite l'altezza di nebulizzazione. Di solito questi dispositivi hanno temperature di esercizio inferiori agli altri dispositivi. Si tratta dell'ultima generazione di cannoni neve e sta trovando molti consensi tra i gestori dei comprensori. In questa tipologia il compressore per l'aria (4kW) è posto in loco in un pozzetto interrato e quindi non si necessita di stazioni di compressione dell'aria centralizzate e molto costose.

In figura 1.6 si può vederne un esempio.



Figura 1.6: Esempio di lancia a bassa pressione

1.2.3 Parti principali costituenti di un cannone da neve

Oltre alla logica di comando, i componenti meccanici ed elettrici principali sono:

- compressore per l'aria;
- ventola (non presente nelle aste, sia in alta che in bassa pressione);
- Nucleatori;
- Ugelli.

Compressore per l'aria

Il compressore a bordo è utilizzato per la produzione dell'aria compressa ad una pressione di 4 bar ed una temperatura di circa 30°C la quale, in appositi miscelatori interni viene mescolata ad una piccola parte d'acqua e poi espulsa attraverso i nucleatori. Durante l'espansione dell'aria si ha un forte abbassamento della temperatura e si riescono a raggiungere delle temperature prossime ai -40°C, in modo da avere l'istantaneo congelamento dell'acqua e la formazione dei germi di nucleazione.

I compressori montati sulle macchine più datate erano a bagno d'olio, in quanto la tecnologia non consentiva di fare macchine economiche ed affidabili con tecnologia a secco. Ora invece le macchine più moderne (dopo il 1999) adottano dei compressori completamente a secco; con questo tipo di costruzione, non vi è alcuna possibilità che l'aria compressa contenga particelle di fluido lubrificante, evitando così un possibile danno ambientale, derivante da un malfunzionamento o da una rottura.

La potenza utilizzata da questi compressori, standard per la maggior parte dei modelli, è intorno ai $4kW$.

Ventola

La ventola è presente in alcuni cannoni a bassa pressione, comunemente chiamati "ventole". Serve a creare un flusso d'aria in grado di trasportare a grande distanza sia le particelle di acqua nebulizzate, sia i germi di nucleazione; Più il *tempo di volo*¹ è lungo e maggiore è la possibilità che i germi incorporino le particelle d'acqua sospese nebulizzate dagli ugelli, con un conseguente accrescimento dei cristalli di neve. Inoltre più le particelle stanno in aria, più c'è la possibilità che i germi accrescano con numerose ramificazioni; in questo modo una volta caduta a terra la coltre nevosa conterrà una maggiore quantità d'aria rispetto a della neve formata da "palline" di acqua ghiacciata, prive di interstizi d'aria. Si avrà quindi una neve "migliore", tanto più la densità si avvicina a quella della neve naturale, e quindi tanto più rimane in aria sospesa.

Nucleatore[8]

Il nucleatore è un particolare tipo di ugello in cui, rispetto agli ugelli per la nebulizzazione dell'acqua, si possono ottenere delle goccioline più piccole mediante l'ausilio di un atomizzatore ad aria. Questo tipo di atomizzazione, con l'ausilio di aria compressa miscelata all'acqua, viene definita come atomizzazione pneumatica, bifasica o a due fluidi. In pratica si ha un dispositivo che a bassa temperatura nebulizza aria ed acqua assieme, creando la prima microscopica particella di ghiaccio, detta germe di nucleazione. Il principio di funzionamento si può vedere in figura 1.7.

Ugello

Un ugello spruzzatore è un dispositivo che converte l'energia di pressione di una vena fluida nell'energia cinetica delle goccioline spruzzate.

L'acqua, ad una pressione variabile tra il minimo ed il massimo richiesto dalle macchine, viene nebulizzata dagli ugelli in goccioline di circa $100 \mu m$ di diametro; si creano così le condizioni di umidità affinché, grazie alle basse temperature, il

¹definito come il tempo medio che intercorre da quando la particella d'acqua esce dall'ugello fino a quando tocca terra. Variabile dai 10-20 s.

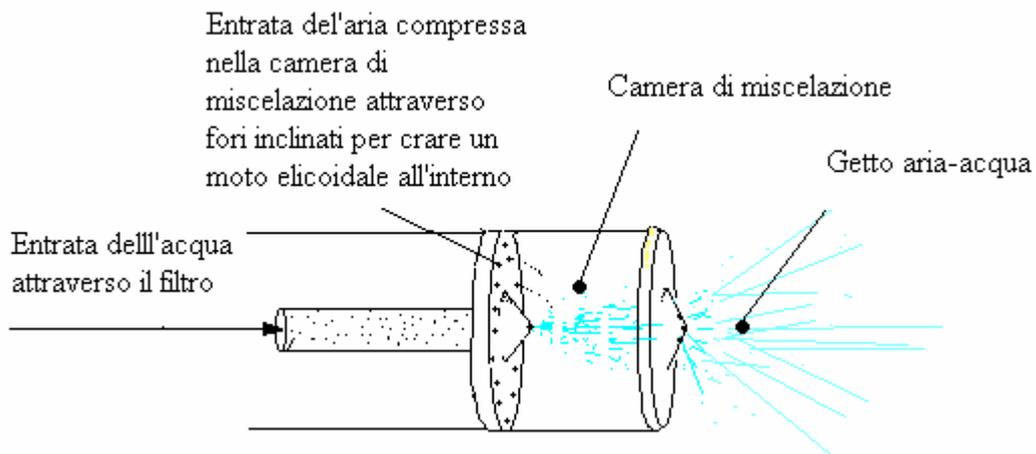


Figura 1.7: Principio di funzionamento ugello nucleatore

germe di nucleazione incorpori queste nuove particelle d'acqua e si ingrandisca fino a diventare un fiocco di neve (o qualcosa di molto simile ad esso), secondo le modalità sopra descritte.

Capitolo 2

Impianti di innevamento

Gli innevatori sono naturalmente la parte più importante di un impianto di innevamento, ma una buona produzione di neve non può prescindere che dal perfetto funzionamento di una moltitudine di sistemi.

Si scopre subito quindi che è fundamentalmente errato parlare di "impianto"; un sistema di questo genere infatti, si compone di molteplici sezioni interconnesse tra loro, le quali assumono importanza fondamentale per il corretto funzionamento dell'insieme. Effettuando una prima analisi, le parti principali che si possono definire sono:

- serbatoio di accumulo acqua;
- stazione di pompaggio acqua;
- rete di distribuzione dell'acqua;
- rete di distribuzione dell'energia elettrica;
- rete di comando e controllo;
- macchine per la produzione della neve (installazione fissa o mobile);
- stazioni per la produzione di aria compressa e relativa rete di distribuzione (solo in impianti dove sono presenti cannoni ad alta pressione);
- torri di raffreddamento;
- sonde termo-igrometriche.

Un altro fatto fondamentale da tenere a mente nella progettazione di un sistema di questo tipo è che deve essere estremamente affidabile e garantire un funzionamento sempre ottimale quando ne viene richiesto l'intervento. Infatti, entrando

in funzione solitamente per poche decine di giorni all'anno (quando in autunno è richiesta una rapida produzione) è indispensabile che funzioni senza interruzioni; si deve riuscire a sfruttare al meglio i giorni di freddo.

Si analizza ora un impianto in particolare, soffermandosi sugli aspetti elettrici ed impiantistici che lo caratterizzano.

2.1 Impianto Alpe di Pampeago

2.1.1 Schema a blocchi dell'impianto

In fig.2.1 si può vedere in modo molto schematico in che modo si sviluppa l'impianto dell'Alpe di Pampeago. In colore blu è indicato il percorso dell'acqua; in colore rosso sono indicate le linee in MT di alimentazione ed in colore verde sono indicate le linee BT di alimentazione delle colonnine a bordo pista.

2.1.2 Serbatoi acqua

Per quanto riguarda i serbatoi di acqua destinata alla "trasformazione" in neve, nel comprensorio se ne trovano tre:

- $10000 m^3$ (laghetto artificiale a Pampeago);
- $1000 m^3$ (vasca di carico pompe a Pampeago);
- $1000 m^3$ (vasca di carico pompe Pala di Santa).

Non c'è molto da dire su tali infrastrutture, se non che le due vasche più piccole sono completamente interrate ed il bacino più grande è a cielo libero. Purtroppo per questioni di sicurezza, tale laghetto non può essere adibito a nessun altro uso che per l'accumulo d'acqua per innevamento, in quanto deve essere recintato ed impedito l'avvicinamento da parte di chiunque; le ripide pareti sono ricoperte con dei teli in PVC, per impedire la filtrazione di acqua attraverso il fondo, essendo esso in calcestruzzo. In questo modo si riesce anche a tenere pulito il bacino in quanto le operazioni di pulizia sono molto semplificate rispetto ad un fondo in cemento.

2.1.3 Stazioni di Pompaggio

Molto importanti sono le stazioni di pompaggio dell'acqua e la corrispondente rete di distribuzione; esse infatti devono asservire tutto l'impianto con acqua

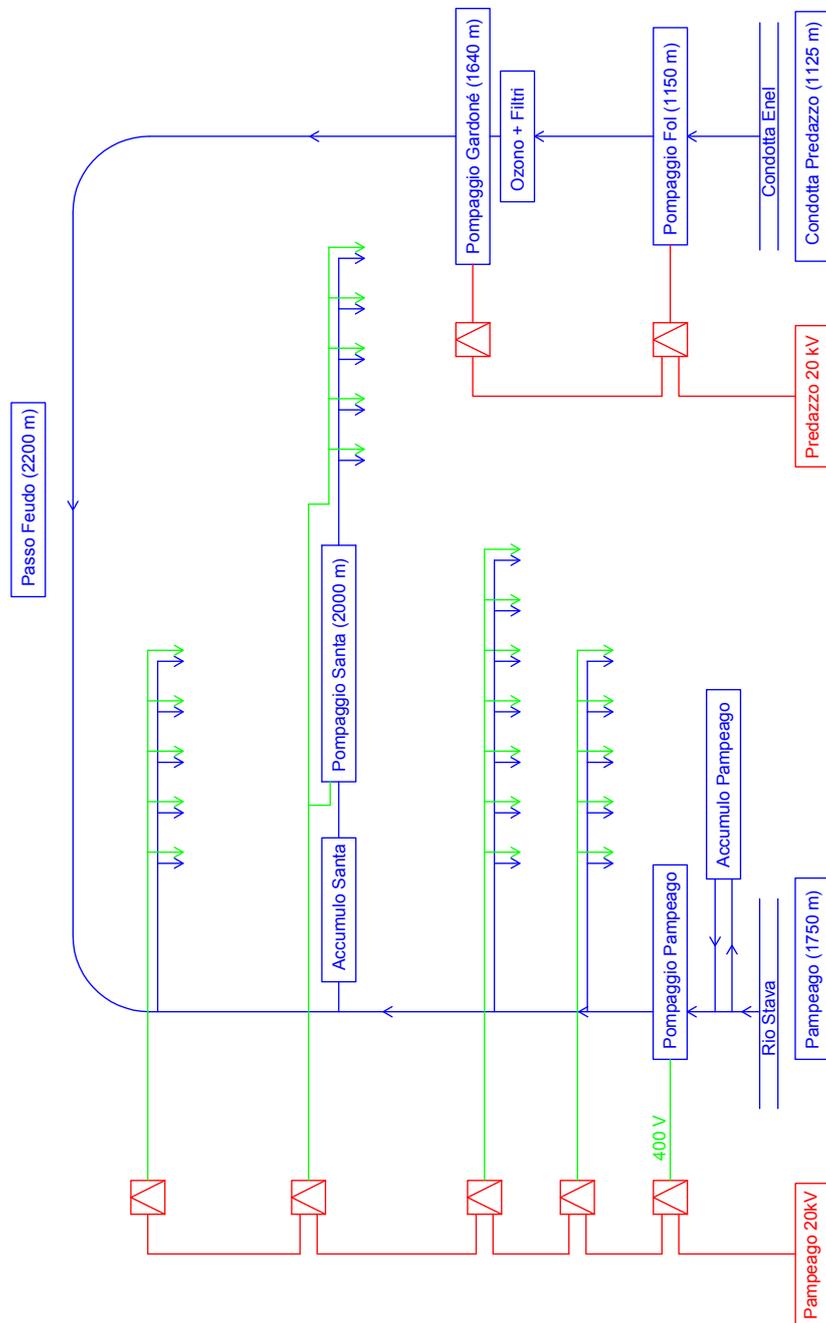


Figura 2.1: Schema a blocchi dell'impianto

ad una pressione ed una portata minima in ogni condizione di carico, il quale è variabile e dato dalle macchine in funzione in ogni preciso istante. Se la rete idrica non è dimensionata correttamente, i generatori di neve non possono lavorare correttamente venendo a crearsi un disservizio ad una o più parti di impianto. In questa trattazione non viene fatto riferimento al dimensionamento idrico delle condutture e delle pompe, in quanto esula dal contesto elettrico-impiantistico.

2.1.4 Generatori di neve

Per innevare velocemente l'ampia superficie delle piste, si rende necessario un grande numero di macchine per la produzione di neve. Sono presenti infatti 51 di cannoni, con caratteristiche diverse, variabili in base al posizionamento:

21	M20 (18,5kW+4kW+1kW);
10	M18 (12,5kW+4kW+1kW);
9	M12 su torretta (9kW+4kW+1kW);
2	Baby su braccio di 6 m (7kW+4kW+1,2kW);
7	Lancia A9V (4kW);
1	M18 su braccio di 10 m (12,5kW+4kW+1kW);
1	T60 (18,5kW+4kW+1kW);

Principalmente le lance sono posizionate nelle piste ove non soffia molto vento, in modo che tutta la neve prodotta rimanga in pista. Le torrette invece sono posizionate nei tratti di pista più ripidi, come le varianti muro, in quanto non vi è la possibilità di posizionare le macchine mobili. Gli innevatori su braccio invece sono posizionati in luoghi in cui la pista è molto larga e per avere un'innevamento migliore, sparano a centro pista anziché a lato.

2.1.5 Rete energia elettrica

La rete di distribuzione dell'energia elettrica assume un ruolo di primaria importanza e deve asservire con capillarità tutte le porzioni del comprensorio. Anch'essa infatti deve essere dimensionata correttamente in modo da riuscire a fornire ai macchinari la potenza necessaria al funzionamento in ogni possibile configurazione di carico. L'intera rete deve quindi essere progettata in modo da non

presentare eccessive cadute di tensione, che porterebbero al malfunzionamento delle macchine o addirittura a precluderne il funzionamento. La rete BT si presenta diramata, con delle cabine MT/BT (20-0,4 kV) sparse sul territorio, le quali alimentano ognuna una porzione dell'impianto.

2.1.6 Rete di controllo

Con l'avvento della moderna tecnologia, si ha la possibilità di telecontrollare da remoto tutto il funzionamento dell'impianto. Tramite un terminale con accesso internet è possibile infatti accedere al programma di gestione e controllare in tempo reale il corretto funzionamento di ogni singolo elemento (pompe, generatori di neve, valvole). Infatti anche i cannoni sono dotati di automatismi (sonde termigrometriche) tali da consentire l'avviamento, lo spegnimento e la regolazione della qualità della neve (in base a temperatura ed umidità), senza l'intervento fisico dell'operatore; tale regolazione può essere fatta anche agendo in manuale sia dal posto che da terminale remoto.

2.1.7 Richiesta idrica

Fino a qualche anno fa la capacità di produzione dell'impianto nel breve intervallo di tempo era abbastanza limitata; infatti non vi era altra possibilità che utilizzare i serbatoi di acqua sopra citati ed essi venivano esauriti in tre-quattro giorni di piena produzione, nonostante il continuo apporto di acqua prelevata dal piccolo torrente limitrofo. C'era quindi la possibilità che non si riuscisse a preparare tutte le piste nel lasso di tempo desiderato, provocando un danno economico non trascurabile, se la stagione non partiva entro i termini stabiliti.

Dopo lunghe discussioni, nel 2006, per ovviare al problema dell'approvvigionamento idrico è stata presa una soluzione. Si dà quindi il via ai lavori di progettazione per un sistema di pompaggio che, prelevando l'acqua da una galleria di derivazione di una centrale idroelettrica nel fondovalle, riesce ad asservire con l'acqua necessaria tutto il comprensorio sciistico.

Tale nuova sezione dell'impianto va ad affiancare quello già esistente ed è prevista per entrare in funzione solo nei periodi autunnali in cui si rende effettivamente necessaria una grande quantità di acqua. Ad essa è dedicato un capitolo a parte, con la trattazione delle principali caratteristiche tecniche ed impiantistiche che la caratterizzano.

Capitolo 3

Distribuzione energia elettrica

La particolarità di un sistema di questo tipo è principalmente l'elevata lunghezza delle linee che lo caratterizza; infatti si parla di linee radiali con carichi distribuiti che presentano lunghezze anche di alcuni km. Per quanto riguarda gli altri aspetti impiantistici, la rete si presenta come ordinaria, senza alcuna atipicità rispetto ai tradizionali sistemi industriali. Per la caduta di tensione a fondo linea, essendo i carichi solo motori si considera un limite del 10%.

3.1 Cabine alimentazione

Sono presenti 5 cabine MT/BT per l'alimentazione della rete di alimentazione degli innevatori. La potenza installata in ciascuna è di:

- 2000 kVA Seggiovia Pala di Santa;
- 630 kVA Caserina;
- 315 kVA Residenza;
- 2000 kVA Pampeago;
- 630 kVA Tresca;
- 400 kVA Plateau Pala di Santa.

Esse non presentano alcuna particolarità, se non la quota di installazione; infatti quella al Plateau è la più alta e presenta un'altitudine di 2300 m; in base alla norma CEI 11-1 si devono maggiorare le distanze tra conduttori attivi e tra conduttori e massa. Nel caso di 2300 m, anziché una distanza di 220 mm si deve

tenere una distanza di 263 mm. Stesso discorso per le altre, anche se ne risentono in maniera minore, essendo poste più in basso.

3.2 Modalità costruttive rete BT

La conformazione della linea di alimentazione dei generatori di neve deve per forza di cose seguire la planimetria delle piste da sci; sarà quindi una rete diramata a sbalzo con alimentazione unilaterale, in cui a distanza di circa 80 m vi è posto un carico (fisso o mobile a seconda del tipo di macchina installata). Schematizzando si ha quindi una linea con carichi uniformemente distribuiti e praticamente tutti della stessa potenza elettrica, alimentata da delle cabine di trasformazione MT/BT a 20/0,4 kV.

Per l'analisi dei carichi si devono fare alcune simulazioni ipotizzando delle "configurazioni tipo"; infatti si ha una forte variabilità della posizione dei carichi sull'intera rete in base alla priorità data all'innnevamento di una data pista. Per studiare la rete, si dovrà fare una simulazione per alcune disposizioni che potrebbero comportare criticità, come ad esempio una concentrazione di macchine lungo una pista o due piste seguenti, vista il tipo di alimentazione a sbalzo.

3.2.1 Luogo di installazione

Per quanto riguarda la normativa elettrica da rispettare per questa parte di impianto, si può fare un primo riferimento alla norma CEI EN 60721-3. In essa si trovano le classificazioni per le condizioni ambientali che vengono esercitate sui componenti elettrici di un impianto; infatti la funzionalità, l'affidabilità e la durata di un impianto elettrico dipendono in larga misura dalle sollecitazioni esercitate dall'ambiente.

Pur non avendo un univoco riferimento con le norme CEI tale classificazione consente di avere il maggior numero di informazioni possibili per operare delle scelte coerenti con la regola d'arte. Il codice di classificazione delle zone si compone di due numeri ed una lettera; la prima cifra designa il campo di applicazione riferita alle condizioni del componente; la lettera ha un significato univoco:

K=condizioni climatiche usuali

Z=condizioni climatiche speciali

B=condizioni biologiche

C=sostanze chimicamente corrosive

S=corpuscoli solidi dannosi

M=condizioni meccaniche

La terza cifra che compone il codice è un numero tanto più alto quanto maggiore è la sollecitazione e ne misura la severità.

Per quanto riguarda la classificazione del luogo di posizionamento delle colonnine di attacco, si trova che per quanto riguarda il parametro K la classe di appartenenza è la 3K7; caratteristiche di tale classe sono temperature comprese tra $-40/+70^{\circ}\text{C}$, umidità relativa compresa tra 10/100%, una variazione della temperatura di $1^{\circ}\text{C}/\text{min}$, una ventilazione di 5m/s, presenza di condensazione, ghiaccio, precipitazioni (neve, grandine o pioggia di stravento).[13]

3.2.2 Colonnina di attacco

Per il collegamento delle macchine alla rete, si predispongono delle colonnine a bordo pista per il collegamento idraulico, elettrico di potenza e di controllo. Esse sono costituite da acciaio zincato e contengono le prese per i collegamenti elettrici delle macchine. Un esempio si può vedere in figura 3.1b.

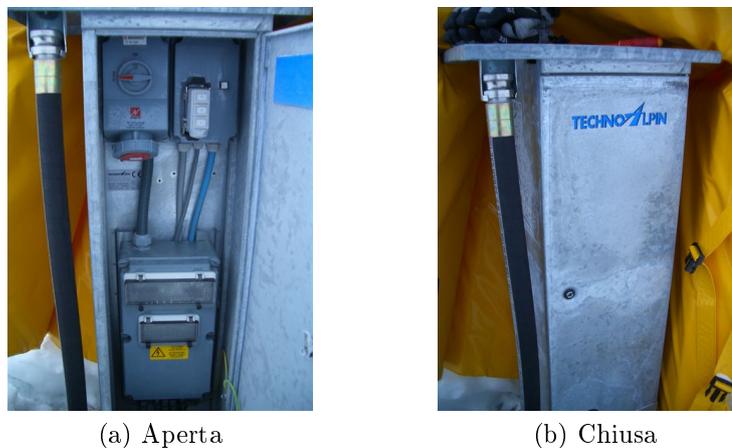


Figura 3.1: Esempio di colonnina per il collegamento dei cannoni mobili

Esse sono costituite con delle fondamenta costituite con dei pozzetti in calcestruzzo interrati, della dimensione laterale $1,2 \times 1,5 \text{ m}$ per una profondità di 2 m sui quali viene appoggiato un coperchio in metallo. Il coperchio presenta un foro delle dimensioni $30 \times 30 \text{ cm}$ all'interno del quale può scorrere la colonnina (in modo da poterla abbassare durante la stagione estiva). A lato della colonnina scorrevole è posto l'attacco per l'acqua, costituito da una normale spina Kamlock da 2" (fig 3.2).



Figura 3.2: Attacco Kamlock



Figura 3.3: Valvola per l'intercettazione dell'acqua

Per quanto riguarda la parte elettrica, all'interno del pozzetto è presente un riscaldatore della potenza di 100 W che è sempre in funzione, per impedire il congelamento delle tubazioni dell'acqua, e della valvola motorizzata (fig3.3) che apre il flusso dell'acqua su comando del cannone; in questo modo non si ha sempre l'acqua in pressione nelle manichette di collegamento e nel cannone. Questo è molto importante, in quanto le manichette sono appoggiate a diretto contatto con il terreno e quindi con la neve e se l'acqua al loro interno non è in movimento, è inevitabile che ghiacci, viste le basse temperature. Altra funzione della valvola è la limitazione della pressione dell'acqua, in quanto l'attacco Kamlock e la manichetta presentano una pressione massima pari a 16 bar .

All'esterno del pozzetto, all'interno della colonnina, sono poste le spine per il collegamento di potenza del cannone (spina Trifase 5Poli 63A in accordo con IEC 60309, fig3.4), una luce di servizio, una spina a 230 V (all'interno del quadro), e la spina per il collegamento delle apparecchiature di comando e controllo da remoto dei cannoni (come si può vedere in fig 3.1a).



Figura 3.4

Le prolunghe utilizzate per la connessione elettrica tra il cannone e la colonnina hanno una lunghezza di 40 m e sono assemblate rispettando la CEI 23-12. Le spine e le prese per le connessioni mobili presentano un grado di protezione IP67. Il cavo utilizzato per le prolunghe è un FG7(O)R con una sezione di 4G16.

3.2.3 Linee di distribuzione

Le linee di distribuzione come detto, devono seguire la planimetria; una schematizzazione si può vedere in fig.

3.2.4 Collegamento tra le varie tratte

Vi sono due casi possibili in cui si rende necessario un collegamento tra i cavi di potenza interrati:

- derivazione dal cavo principale per alimentazione colonnina (principalmente $4 \times 25 \text{ mm}^2$) e linee di diramazione principali ($4 \times 50 \text{ mm}^2$) oppure ($4 \times 240 \text{ mm}^2$);
- giunti tra la fine e l'inizio di una nuova bobina ($4 \times 240 \text{ mm}^2$).

La linea principale di alimentazione che scorre sotto la pista non arriva direttamente nel pozzetto; l'attacco alle colonnine viene effettuato con degli spezzoni di cavo di sezione minore più comodi per il collegamento. Inoltre anche per le derivazioni principali (cavo 4×240) che vanno a servire più colonnine, sono necessari dei giunti di collegamento.

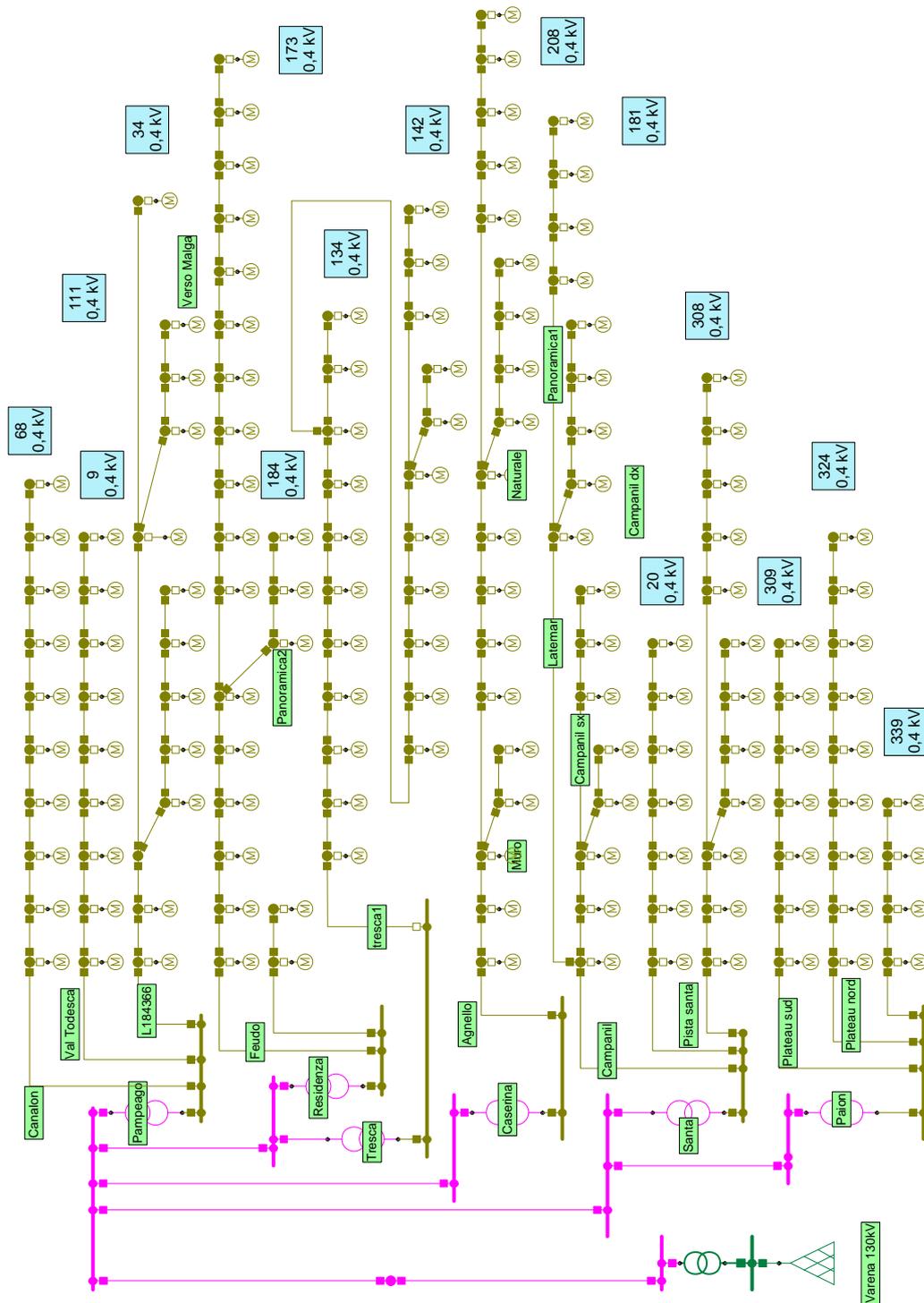


Figura 3.5: Schema in NEPLAN della rete BT



Figura 3.6: Giunti isolati per il collegamento interrato dei cavi

Questi tipi di collegamento devono essere effettuati nel terreno, con tutti gli accorgimenti del caso, come per esempio un grado di protezione IP adeguato. La norma è rispettata mediante l'adozione di giunti per il collegamento in resina (fig 3.6) che rispondono alle norme CEI 20-33, CEI 20-63, HD623, ANSI C119, CEI 64-8 (appartenenza alla classe 2). Il grado di protezione IP di tali giunti in resina è superiore a IP68, in accordo con la IEC 529.

3.2.5 Tipologia di cavo

Per quanto riguarda la scelta del tipo di cavo, secondo la guida CEI 64-50 viene indicato per una posa interrata un cavo del tipo N1VV-K, oppure un FG7(O)R-0,6/1 kV. In base alle tabelle con le sigle di designazione dei cavi (Appendice A) si determinano le caratteristiche che i cavi devono avere per soddisfare a tali disposizioni: isolamento primario dei conduttori in PVC (polivinilcloruro) ed una guaina di rivestimento esterna pure in PVC (N1VV-K) oppure cavo in corda flessibile, isolata in gomma etilenpropilenica ad alto modulo (temp. caratteristica 85°C) e con guaina in policloroprene qualità EM2, Kx e Kn (FG7(O)R).

Per quanto riguarda l'impianto preso in considerazione, è necessario fare una distinzione tra le varie parti dell'impianto. La parte un po' più datata infatti è costituita da cavi in rame e la parte più nuova principalmente con cavi in alluminio. Inoltre anche in base alle rimanenze di magazzino sono stati adoperati, in alcuni tratti di derivazione, alcuni cavi che non corrispondono alle sezioni adottate di solito. La tipologia dell'isolamento dei cavi rimane comunque conforme alla norma.

I cavi di nuova posa (alluminio con sezione 4×240) presenti nella quasi totalità del comprensorio sono cavi rispondenti alle norme tedesche VDE (in particolare

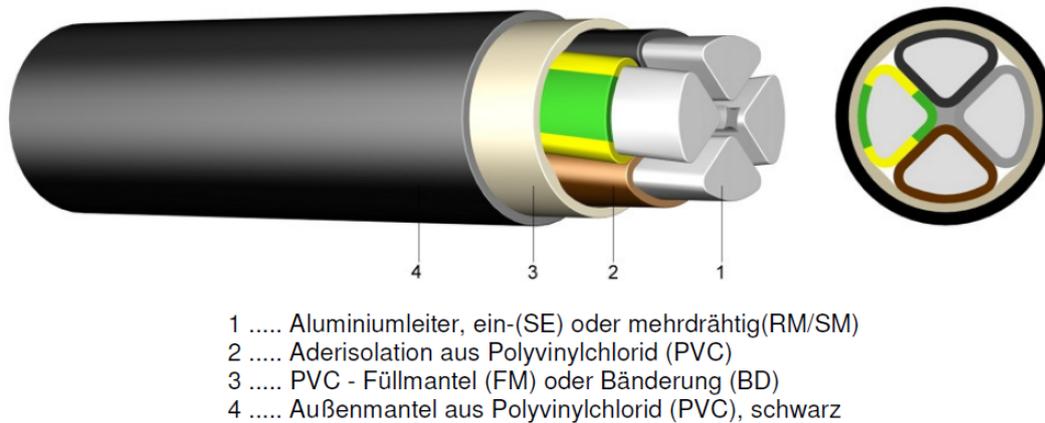


Figura 3.7: Cavo energia NAYY

con la VDE 0276), ma comunque in accordo con le norme IEC 60502. Essi sono contrassegnati con la sigla NAYY-0 $4 \times 240 \text{ mm}^2$ (In fig.3.7 è riportato un esempio di cavo NAYY-J con conduttore di terra anziché di neutro) e presentano le seguenti caratteristiche:

- conduttore in alluminio sezione settoriale;
- tensione nominale 0,6/1 kV;
- Tensione di prova 4kV;
- Isolamento conduttore in PVC colorato secondo norma (grigio, nero, marrone e azzurro);
- Isolamento esterno in PVC colore nero in accordo con DMV5, to HD 603.1 VDE 0293 HD 309;
- PVC autoestinguente e ritardante la fiamma in accordo con DIN EN 60332-1-2 / IEC 60332-1;
- Temperature limite per installazione fissa: -40°C to $+70^\circ\text{C}$;
- Sovratemperatura di corto circuito: 160°C (durata del corto 5 secondi);
- Resistenza chilometrica: $0,125 [\Omega/\text{km}]$;
- Reattanza chilometrica: $0,0752 [\Omega/\text{km}]$.

Per le altre tipologie di cavo non sono state reperibili ulteriori informazioni se non la sezione e il materiale conduttore. Si considera però il rispetto delle norme per quanto riguarda la tipologia e quindi gli isolanti; le massime temperature ammesse su tali tratte saranno le stesse dei cavi di recente posa.

3.2.6 Modalità di posa

Per la modalità di posa dei cavi, la norma di riferimento è la CEI 11-17.

Come detto in precedenza, i cavi sono posati direttamente nel terreno, nello scavo utilizzato anche per le tubazioni dell'acqua, per i cavi di comando e per il tondino di messa a terra. Lo scavo è profondo circa un metro, specificamente per il motivo che l'acqua ad una tale profondità non corre il rischio di passare allo stato solido, con conseguente rottura delle tubazioni. Ulteriore strato protettivo contro la temperatura viene dato dalla neve depositata sul terreno, che limita lo scambio termico aria-terreno.

Dal punto di vista elettrico-impiantistico la profondità di posa influisce sulla portata di corrente dei cavi. In accordo con le norme e facendo riferimento alla tabella CEI-UNEL 35026 si definiscono quattro fattori correttivi della portata:

- coefficiente k_1 : tiene conto della temperatura del terreno se diversa da 20°C ;
- coefficiente k_2 : più gruppi di cavi installati sullo stesso piano;
- coefficiente k_3 : profondità di interramento per valori diversi da $0,8\text{ m}$;
- coefficiente k_4 : correzione resistività termica del terreno diversa da $1,5\text{ K} \cdot \frac{\text{m}}{\text{W}}$.

Per calcolare la portata massima del cavo effettiva, si dovrà moltiplicare il valore della portata per tali fattori correttivi. Nel nostro caso $k_1 = 1,1$ - $k_2 = 1$ - $k_3 = 0,98$ - $k_4 = 1$. Moltiplicando assieme tali coefficienti si arriva ad un fattore correttivo totale $k_{tot} = 1,078$.

Dalle tabelle con le caratteristiche dei cavi NAYY-0 si trova che per una sezione 4×240 si ha una portata $I_z = 363\text{ A}$. Moltiplicando tale valore per il coefficiente correttivo totale si trova una portata effettiva $I_{z-eff} = 391\text{ A}$.

La scelta della sezione di tali cavi però, non si effettua solo in base alla massima portata, ma è vincolata soprattutto dalla caduta di tensione che si ha a fine linea.

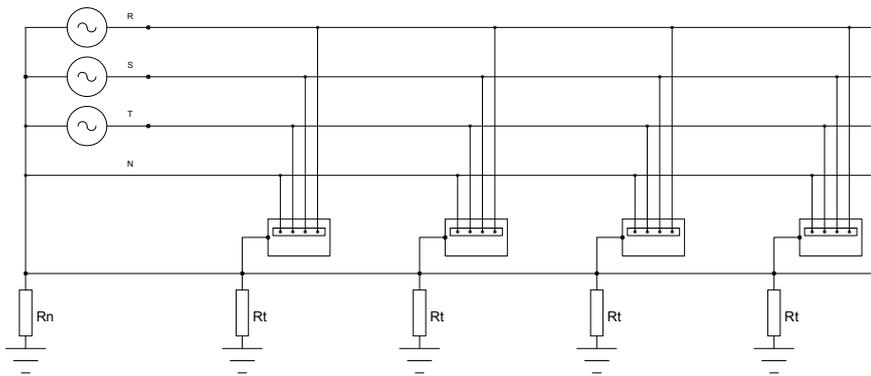


Figura 3.8: Schema impianto di terra (TN-S)

3.2.7 Impianto di terra[16]

L'impianto di terra dei carichi, afferenti alle colonnine a bordo pista, è costituito da un unico conduttore, posto parallelo alle linee di alimentazione; si viene a realizzare in questo modo un dispersore lineare con valori di resistenza molto bassi.

Nelle linee di recente costruzione lo standard adottato è un tondino di acciaio zincato da 10 mm (sezione utile 78 mm²). Vista la notevole estensione del dispersore e la profondità di posa (1 m) non sono presenti puntazze verticali.

Tale conduttore di terra, che scorre lungo le piste è collegato elettricamente anche alla terra delle cabine di alimentazione MT/BT; come consueto in cabina è presente un collettore di terra a cui afferiscono tutte le masse metalliche della cabina ed il neutro dei trasformatori (Dyn11) e come detto, anche la terra di tutti i carichi distribuiti. L'impianto di terra delle cabine è costituito da un dispersore ad anello interrato intorno alla cabina, connesso anche ai ferri di armatura delle fondazioni.

In condizioni normali quindi il sistema può essere considerato come un TN-S.

Funzionamento normale (Sistema TN-S)

L'impianto di terra quindi assume la configurazione in fig.3.8.

Anche se non interamente contenuti nel perimetro della cabina, i carichi sono comunque all'interno della zona coperta dal dispersore di terra. Il sistema di terra diventa quindi un TN-S. In questo caso, la protezione contro i contatti indiretti potrebbe anche essere fatta mediante interruttori di massima corrente, evitando

l'uso di un differenziale. Infatti in un sistema TN-S la relazione che deve essere soddisfatta è:

$$I_a \leq \frac{U_o}{Z_s}$$

Dove:

I_a = corrente che provoca l'apertura del dispositivo di protezione entro i termini previsti dalla norma, che per $U_o = 230 V$ corrisponde a $0,4 s$;

U_o = è la tensione nominale tra fase e terra;

Z_s = Impedenza dell'anello di guasto.

Se viene utilizzato un dispositivo di massima corrente, si deve considerare come corrente limite la soglia di intervento dello sganciatore magnetico; notare che la norma ammette che per correnti di regolazioni superiori a $32 A$, il tempo di intervento sia inferiore o uguale a $5 s$. Se viene utilizzato un differenziale, la corrente per la verifica deve essere quella della soglia di intervento nominale $I_{\Delta N}$.

Funzionamento particolare (sistema TT)

Questa possibilità di funzionamento si presenta perché, essendo il collegamento di terra effettuato tramite un tondino di acciaio zincato della lunghezza di parecchi chilometri, in seguito alla corrosione nel tempo oppure a dei lavori su pista esso potrebbe subire dei danneggiamenti; verrebbe a mancare in questo caso la continuità elettrica che lo collega alla cabina di trasformazione e quindi all'impianto di terra della cabina. In questo caso l'impianto di terra da un TN-S diventa un TT.

Le protezioni da adottare saranno allora diverse, e sarà necessario proteggere l'impianto con dei dispositivi differenziali. Schematicamente tale situazione di guasto porta ad avere una configurazione come in fig.3.9:

In caso di guasto monofase il potenziale rispetto a terra, che viene ad assumere la massa vale:

$$V_T \approx I_{guasto} \cdot R_T = \frac{E}{1 + \frac{R_N}{R_T}}$$

Con R_T ed R_N rispettivamente resistenza di terra della massa e del neutro in cabina, V_T tensione sulle masse ed E tensione di fase.

Considerando una resistenza di messa a terra del neutro $R_N = 1 \Omega$ (peraltro molto alta), per limitare la tensione pericolosa sulle masse ad un valore limite di

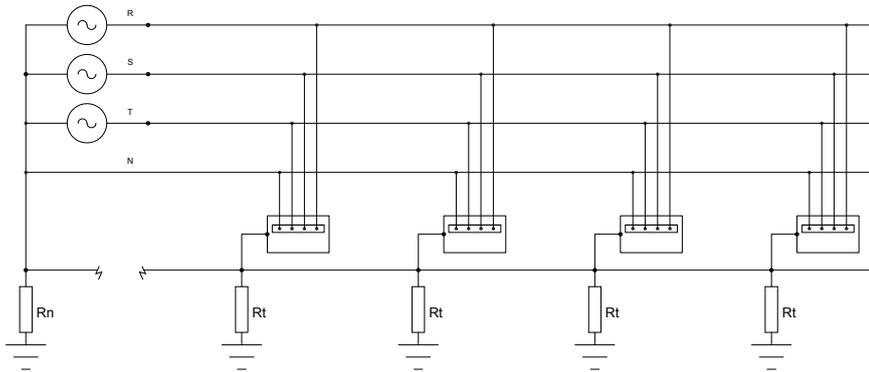


Figura 3.9: Interruzione conduttore di terra (TT)

50 V, una soluzione potrebbe essere avere una resistenza di terra R_T inferiore a $0,3 \Omega$. Tale valore della resistenza di terra sarebbe anche abbastanza plausibile, considerando l'elevata estensione del sistema di messa a terra.

Tale tensione, come si vede, è influenzata anche dalla qualità della messa a terra del neutro. Se la resistenza aumenta, non è più garantita la sicurezza. Per questo si deve intervenire sul tempo di intervento dell'interruttore, in modo da ridurre il tempo in cui permane una tensione pericolosa sulle masse, in modo da renderla sopportabile per il corpo umano.

La norma 64-8 prescrive come sistemi di protezione adatti fusibili, interruttori automatici o differenziali.

Resistenza di terra

Per un calcolo di massima di tale resistenza si può fare riferimento alla formula seguente, valida per conduttore orizzontale ad una profondità maggiore o uguale a 0,5 m:

$$R_T = 2 \frac{\rho}{L}$$

dove ρ è la resistività media del terreno [$\Omega \cdot m$] ed L la lunghezza del dispersore [m].

Nel nostro caso particolare, trascurando che la resistività del suolo sale bruscamente quando la temperatura si abbassa sotto lo zero, si considera una ρ del terreno pari a $100 \Omega \cdot m$ [14]. Ove possibile i picchetti dovrebbero essere infissi sotto la isoterma zero per non risentire di questa variazione. Se si prende in esempio una linea della lunghezza di 1 km si trova che la resistenza totale di terra assume un valore pari a $0,1 \Omega$.

3.3 Protezioni

Per evitare tensioni pericolose sulle masse, si sono adottate in ogni caso delle protezioni mediante interruttore differenziale, che riescono a garantire la sicurezza delle persone contro i contatti indiretti sia nel caso di funzionamento normale che nel caso particolare di impianto TT.

Come esempio prendiamo in considerazione la linea che alimenta la pista "variante muro" della Pala di Santa.

Essa presenta le seguenti caratteristiche: $S_F = 240 \text{ mm}$, $L = 750 \text{ m}$.

La protezione per tale derivazione è fatta con un COMPACT NS400N, $I_n = 400 \text{ A}$, 3D+N/2, con le seguenti tarature:

- $I_0 = 0,9 \cdot I_n$
- $I_r = 0,93 \cdot I_0$
- $I_{sd} = 6 \cdot I_r$

Differenziale VIGIREX RH99M:

- $I_{\Delta n} = 3 \text{ A}$
- $\Delta_t = 0,06 \text{ s}$

Considerando un sistema TN (funzionamento normale), la relazione che deve essere soddisfatta è:

$$I_{\Delta N} < \frac{V_T}{Z_s}$$

Con le tarature sopra adottate, si vede che entro un tempo di $0,06 \text{ s}$ la protezione apre, con una corrente di 3 A .

Con tali valori della corrente di intervento della protezione, si può facilmente trovare che l'anello di guasto può presentare una impedenza massima di circa 76Ω . Tale valore è sicuramente più elevato dell'impedenza che può presentare il circuito in cui scorre la corrente di guasto.

3.3.1 Lunghezza massima protetta delle linee

Per quanto riguarda le linee, un problema che si pone è se la linea è protetta per un guasto (o un corto) a fine linea oppure no; in questo caso la corrente di corto è limitata soprattutto dalla resistenza della linea, e quindi potrebbe non essere vista dalle protezioni di sovracorrente. Nella norma CEI 64-8 si fa riferimento ad

un valore di I_{ccMIN} tale che deve essere verificata: $I_{ccMIN} \geq I_m$ (con I_m =soglia di intervento della protezione magnetica).

Il calcolo della corrente minima si può calcolare con:

$$I_{ccMIN} = \frac{0,8 \cdot U \cdot S_F}{1,5 \cdot \rho \cdot 2 \cdot L} \cdot K_X \cdot K_{PAR} \quad \text{Nel caso di neutro non distribuito}$$

$$I_{ccMIN} = \frac{0,8 \cdot U_o \cdot S_F}{1,5 \cdot \rho \cdot (1+m) \cdot L} \cdot K_X \cdot K_{PAR} \quad \text{Nel caso di neutro distribuito}$$

Dove:

I_{ccMIN} = valore della corrente di corto presunta a fine linea;

U, U_o =tensione nominale del circuito concatenata e di fase;

0,8 =fattore di riduzione della tensione durante il corto circuito;

S_F =sezione del conduttore di fase;

1,5 =fattore di aumento della resistenza dovuta al riscaldamento durante il corto;

ρ =resistività del materiale conduttore a 20°C;

L =lunghezza della conduttura protetta;

m =rapporto tra la sezione del conduttore di fase e quello di neutro;

K_X =fattore riduttivo della corrente di c.c. dovuta alla componente induttiva;

K_{PAR} =fattore correttivo per più circuiti paralleli.

Si prende ora in considerazione la linea di alimentazione della pista "variante Muro" della Pala di Santa; le caratteristiche della linea sono: neutro distribuito, con $S_F = 240 \text{ mm}^2$, $U_0 = 230 \text{ V}$, $\rho_{all} = 0,030 \Omega/\text{mm}^2 \cdot m$, $K_X = 0,75$, $K_{PAR} = 1$, $m = 1$, $L = 750 \text{ m}$, si trova una $I_{ccMIN} = 490 \text{ A}$.

La protezione presenta una caratteristica del tipo in figura 3.10.

Le tarature sono quelle riportate al paragrafo recedente. Dalla curva in fig.3.10a si vede che per una sovracorrente di 1,46 volte la Isd (equivalente alla minima corrente di corto circuito a fine linea), si ha un tempo di permanenza del guasto per 400s. Questo porta alla distruzione dell'isolamento del cavo, essendo la portata pari a 391 A. La protezione magnetica non interviene per un guasto a fine linea e nemmeno la termica riesce a rilevarla prima che si vengano a creare danni.

3.4 Verifica del dimensionamento con NEPLAN

Lo scopo di questa parte è fare una veloce simulazione tramite l'ausilio dell'elaboratore, per verificare le cadute di tensione sulle linee di alimentazione delle

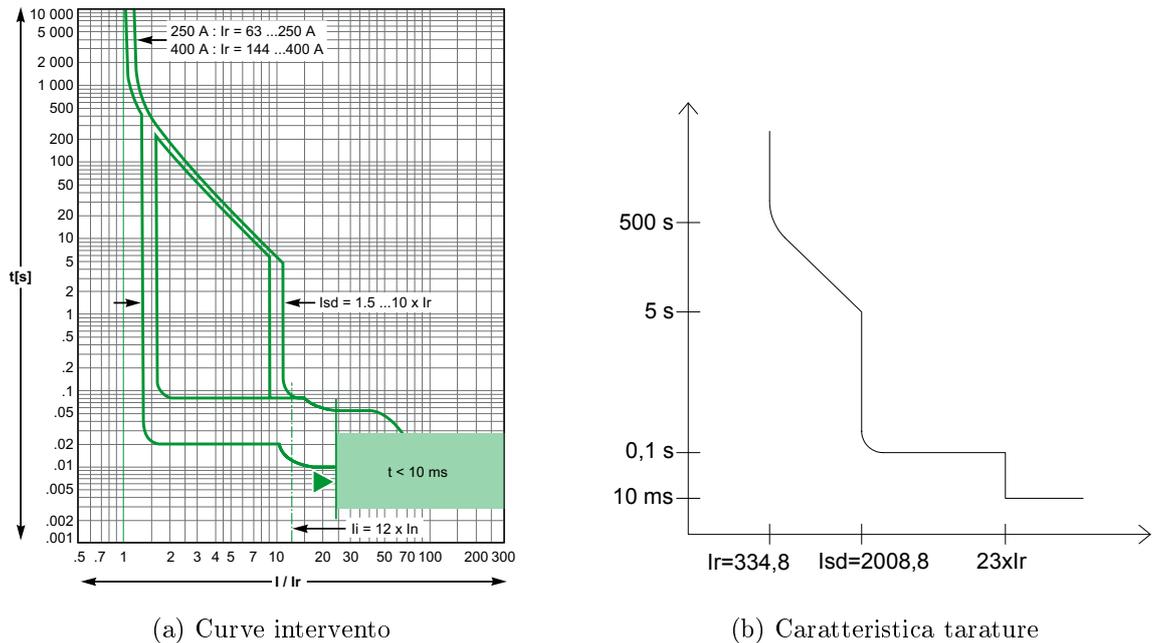


Figura 3.10: Curve intervento NS400N

colonnine poste a bordo pista. Questa idea è nata dal fatto che si possono presentare dei problemi quando la rete viene caricata con particolari configurazioni di carico.

I carichi della linea sono praticamente solo innevatori per lo più mobili, a parte in alcuni tratti di non agevole posizionamento (piste nere) dove sono presenti macchine fisse. L'unica differenza che intercorre tra questi due tipi, è che quelli fissi (su torrette o bracci sospesi) sono considerati carichi fissi ed hanno una potenza prestabilita. Per quelli mobili, attaccati alle colonnine a bordo pista, si deve considerare la massima potenza che può essere applicata in quel punto, anche se potrebbero essere utilizzati cannoni con potenza inferiore. Quindi per le colonnine si considera sempre una potenza unitaria di 23kW con un $\cos\varphi = 0,9$ in quanto sono sostanzialmente dei motori elettrici rifasati in loco con dei condensatori. Per le installazioni fisse invece si considerano le potenze effettive delle macchine (variabili tra 4 kW e 23 kW in base al tipo). I trasformatori in tutte le prove sono stati impostati a fornire al secondario a vuoto una tensione di 415 V.

3.4.1 Situazione 1

In tale configurazione della rete si ipotizza un primo innevamento delle piste principali che competono agli impianti Agnello e Latemar. In fig.3.11 si vede che la

configurazione non comporta delle situazioni con criticità; le tensioni si mantengono nei limiti e le correnti che scorrono nei rami non sono abbastanza elevate da portare all'intervento delle protezioni oppure a ben più grave danneggiamento dei cavi.

Si analizza ora, con la stessa configurazione dei carichi, come si comporta la rete durante l'avviamento del motore collegato al nodo 181, il più distante dalla cabina di trasformazione e quindi il più sfavorito.

In figura 3.12 si vede che durante l'avviamento del motore è presente un assorbimento di $507 A$. Anche se tale valore risulta maggiore rispetto alla corrente sopportabile dal cavo in condizioni di regime, non si presentano grossi problemi; tale valore elevato infatti permane per poco tempo, essendo i motori di piccole dimensioni ed avendo questi un tempo di avviamento è molto piccolo.

3.4.2 Situazione 2

Si considera ora che la rete venga caricata in modo da innervare le piste "Tresca" e la pista "prà erto". Si può vedere in fig 3.13, come nella linea chiamata tresca1, a regime si instauri una corrente di $458 A$. Tale valore troppo elevato porta sicuramente all'intervento delle protezioni; si dovrà procedere quindi a togliere qualche carico ed alleggerire la linea.

Per quanto riguarda l'avviamento del motore più sfavorito, si vede che addirittura la tensione a fondo linea assume un valore pari all'88% rispetto alla tensione nominale di $400 V$; tale valore è minore della cdt massima consentita che era stata definita del 10%.

Una soluzione, didatticamente valida, ma impraticabile praticamente potrebbe consistere nella creazione di una rete magliata anziché a sbalzo. In fig 3.15 si può vedere come si comporterebbe la rete nel caso di collegamento tra la linea e la cabina di trasformazione in località Caserina, con $300 m$ di cavo $4 \times 240 mm^2$ in alluminio. Si può vedere che a regime non si instaurano più le correnti che si avevano prima e la rete funzionerebbe in modo ottimale, anche dal punto di vista delle cdt a fine linea.

In tale ipotetica configurazione si vede che, anche durante l'avviamento del motore afferente al nodo 142, non vi sono problemi né di cdt, né di sovraccarichi delle linee (fig. 3.16).

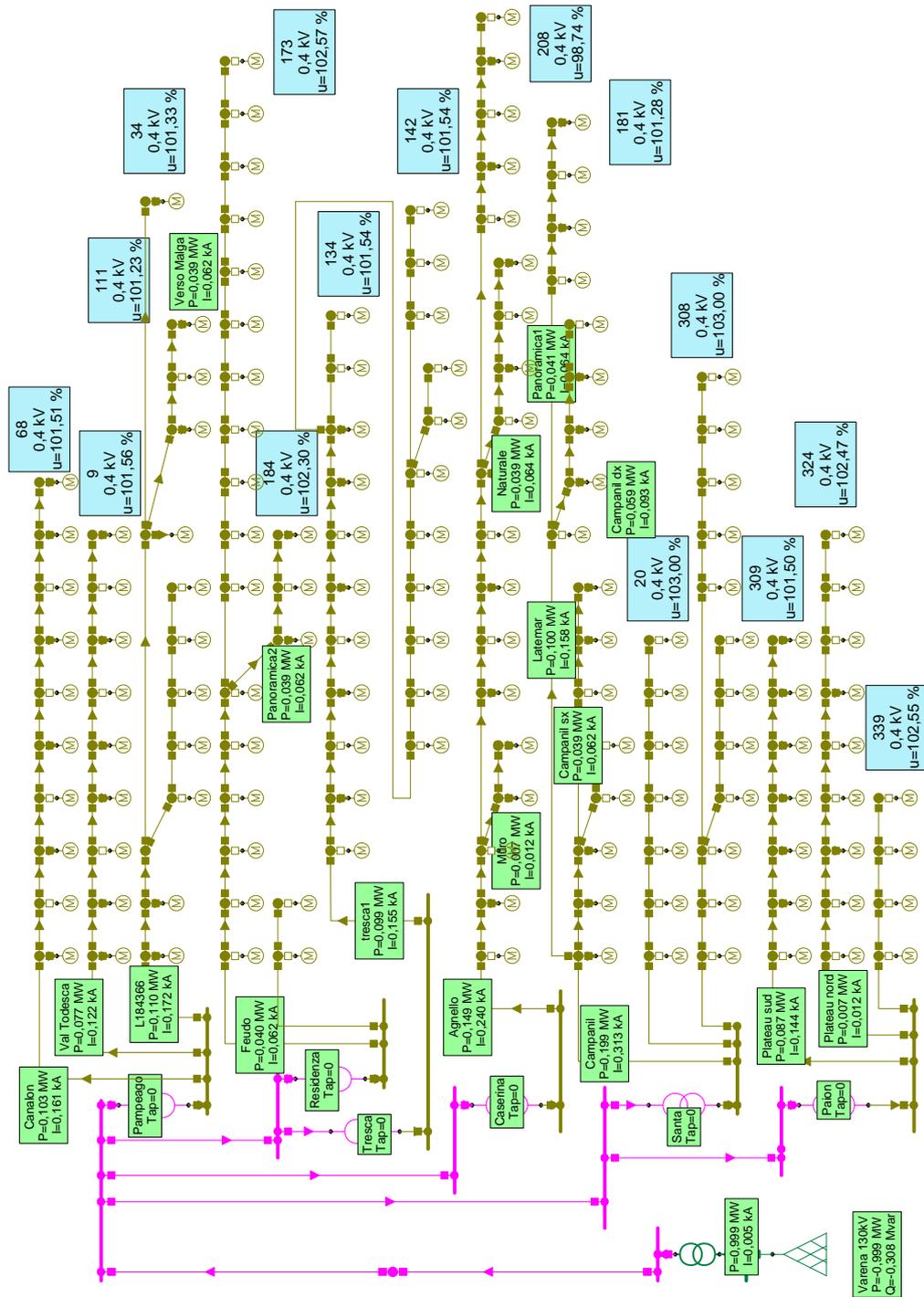


Figura 3.11: Funzionamento a regime primo innevamento

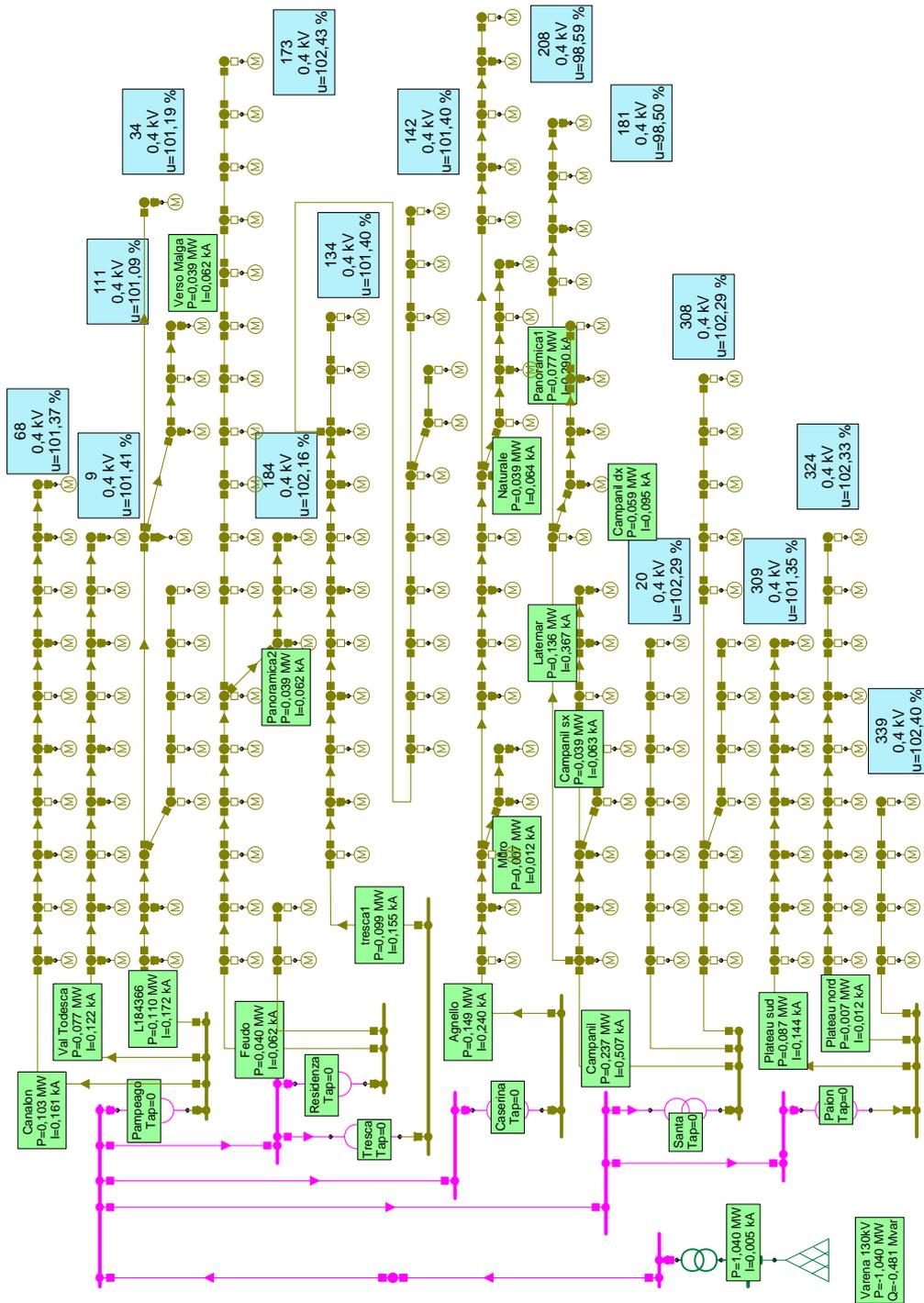


Figura 3.12: Prima situazione con avviamento motore nodo 181

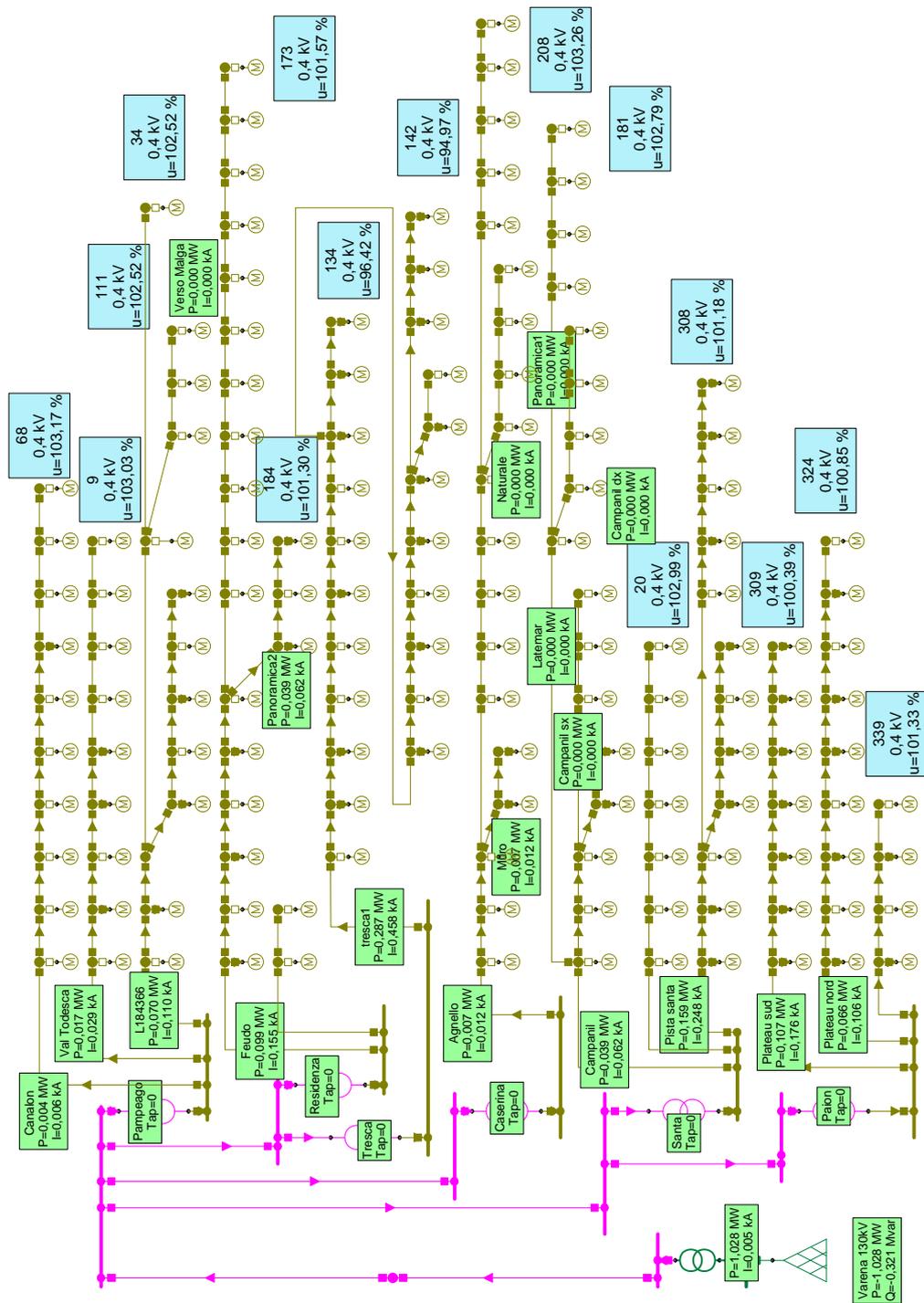


Figura 3.13: Regime seconda situazione

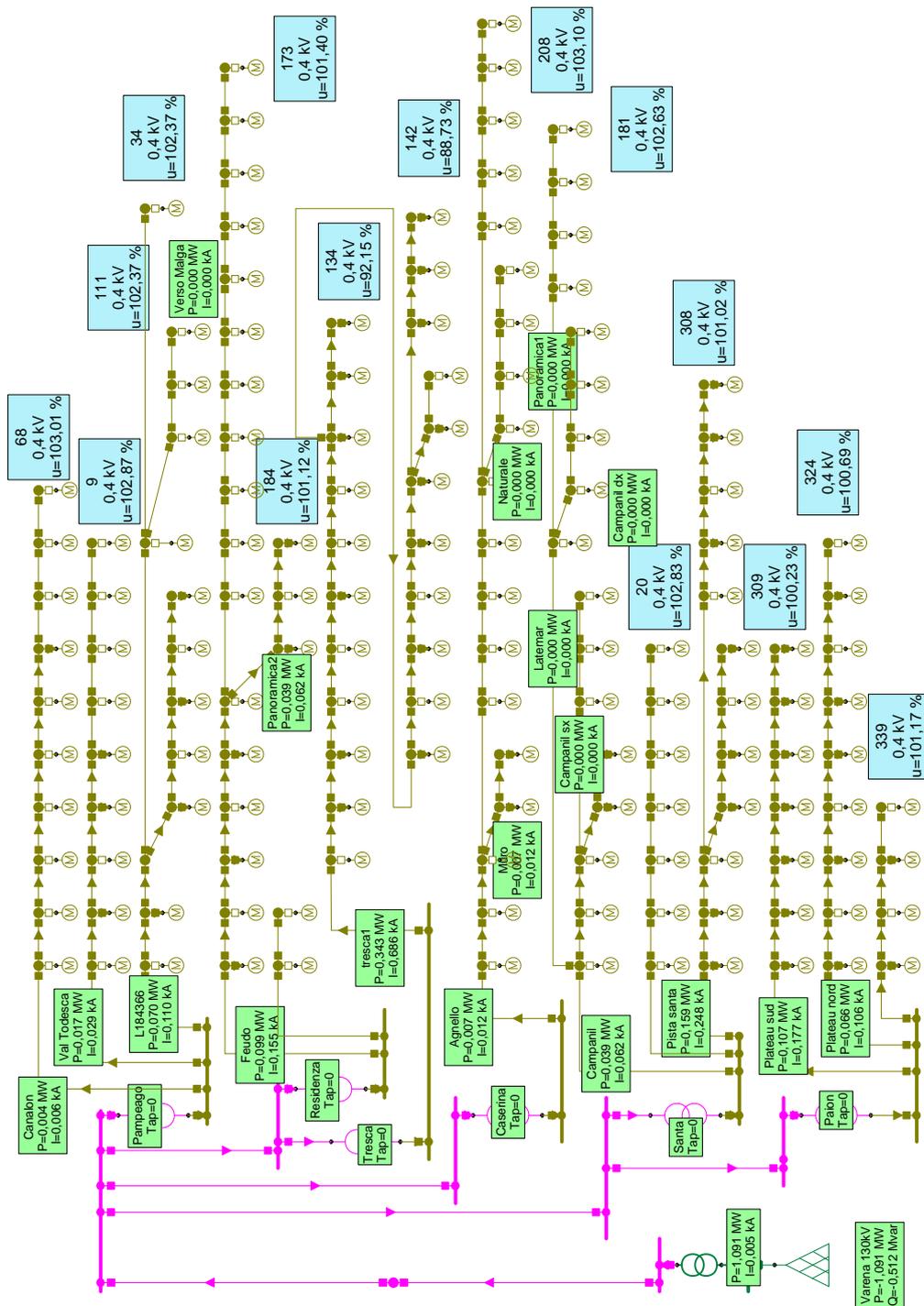


Figura 3.14: Seconda situazione con avviamento motore nodo 142

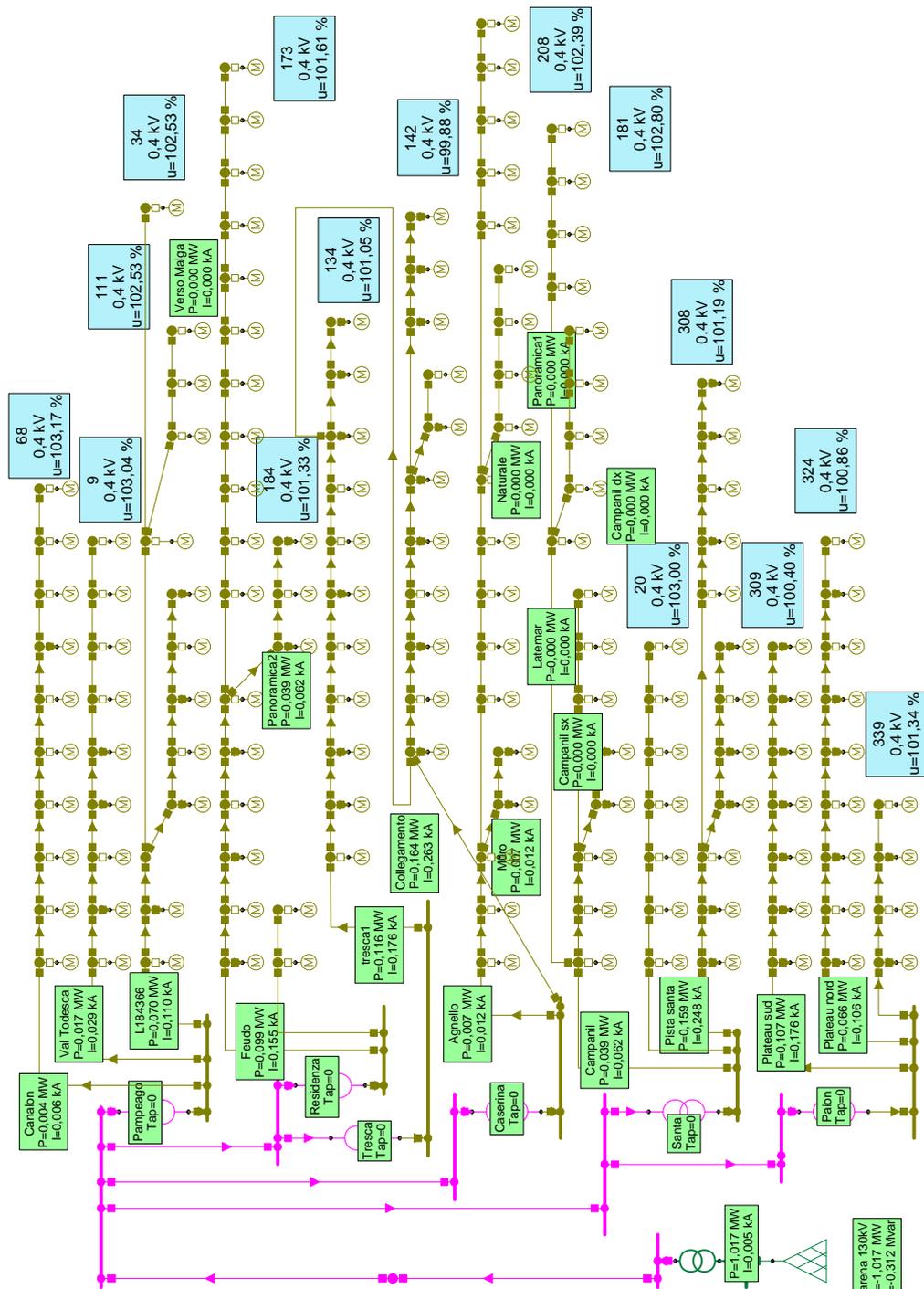


Figura 3.15: Seconda situazione magliata a regime

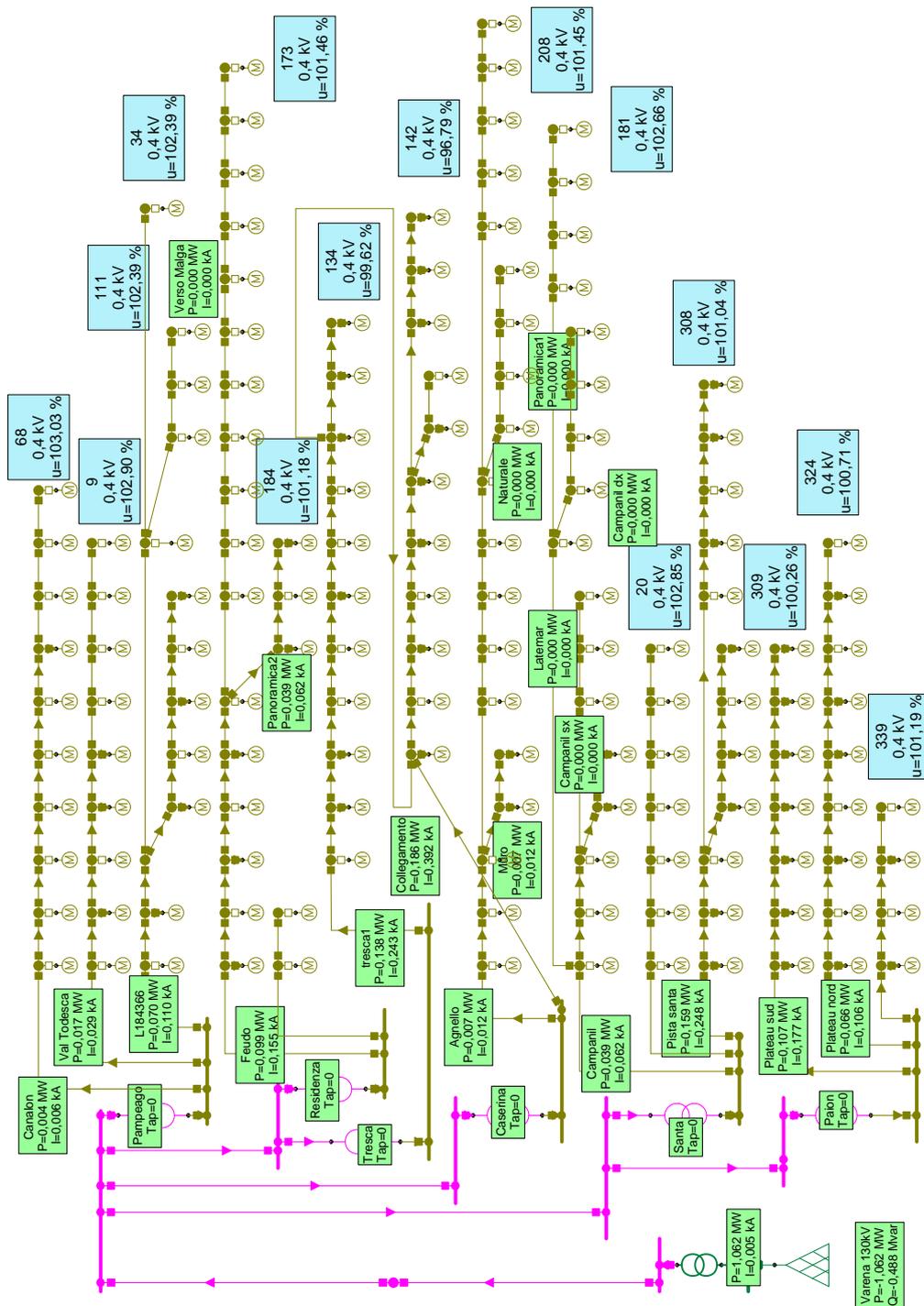


Figura 3.16: Seconda situazione magliata con avviamento 142

3.4.3 Situazione 3

In questa simulazione si è ipotizzata la produzione di neve sulla pista di collegamento con il comprensorio di Predazzo; in fig.3.17 si può vedere come la rete non presenti alcun problema. Le cdt a fine linea sono rispettate e non vi sono problemi nemmeno per il sovraccarico.

Nel caso di avviamento della macchina a fine linea, come si può vedere in fig.3.18, si ha il problema della tensione, che a fine linea viene ad assumere un valore pari all'89% rispetto ai 400 V nominali. Se il motore impiega troppo tempo ad avviarsi, potrebbe succedere che intervengano le protezioni della linea, mettendo fuori servizio l'intero impianto. In questo caso non è possibile collegare nemmeno teoricamente l'estremità della linea ad una altra cabina di trasformazione, in quanto non ve ne sono di vicine; non ha quindi nemmeno senso provare a simulare tale situazione, rendendo la rete magliata.

3.4.4 Considerazioni

Dalle simulazioni, si vede che in certe condizioni di carico della rete, vi è la possibilità che intervengano gli interruttori di protezione delle linee, compromettendo l'intero funzionamento dell'impianto.

Nella situazione 2, dove si avevano dei problemi di sovraccarico della linea si è fatta la scelta di provare a collegare un nodo a metà della linea alla sbarra di un secondo trasformatore, in modo da creare una rete magliata. Come detto sopra una configurazione di questo tipo non viene mai attuata in bassa tensione, per il fatto che non è molto conveniente gestire reti magliate in BT. Il motivo principale è il coordinamento delle protezioni, che deve essere molto sicuro ed affidabile; se succede un guasto ad una linea, si deve essere in grado aprire il circuito, disalimentando la linea da entrambe le estremità in tempi molto brevi. Per quanto riguarda le cadute di tensione con una configurazione di questo tipo si hanno certamente dei risultati migliori rispetto ad una linea a sbalzo, come si può vedere dai risultati della simulazione.

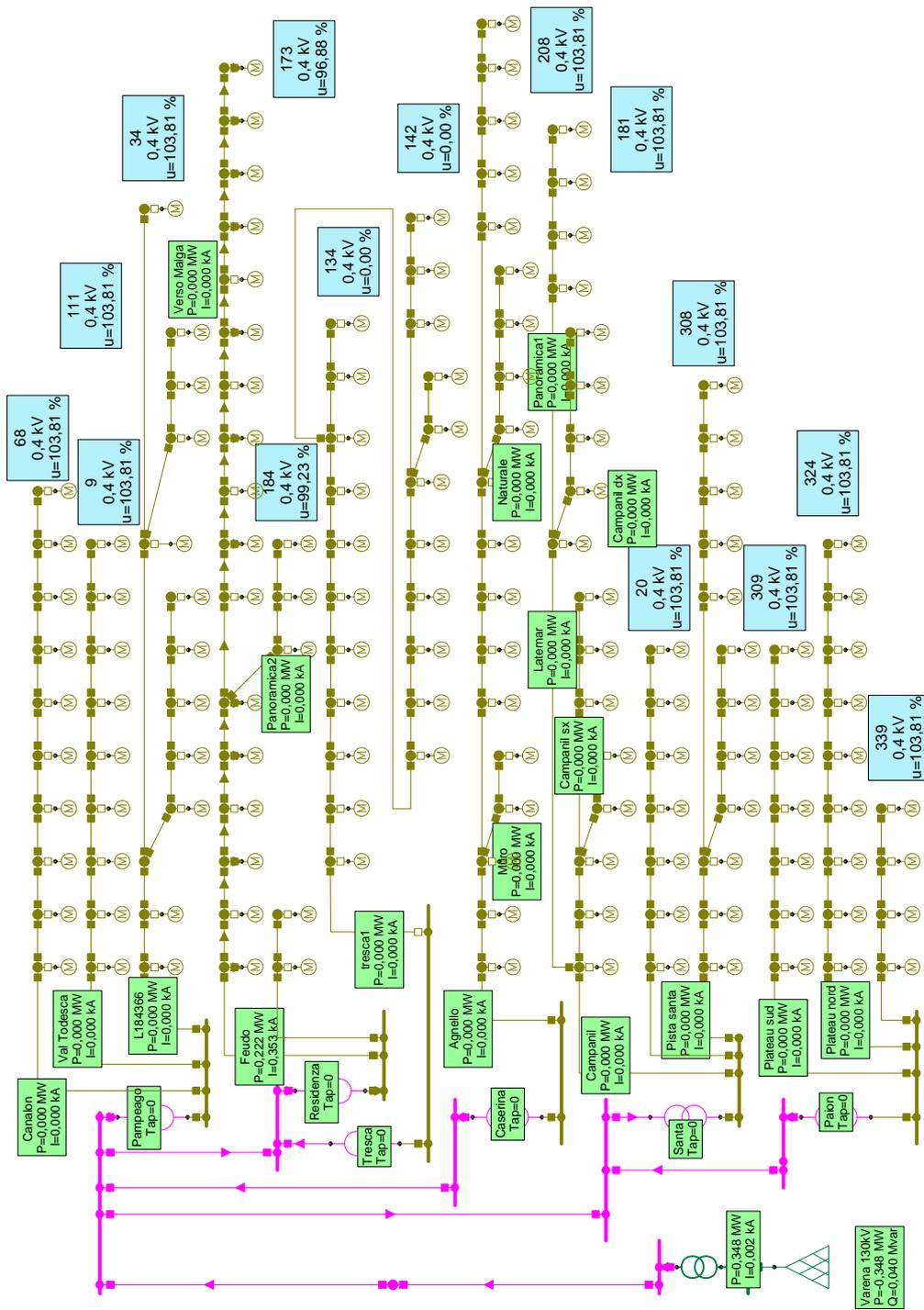


Figura 3.17: Terza situazione a regime

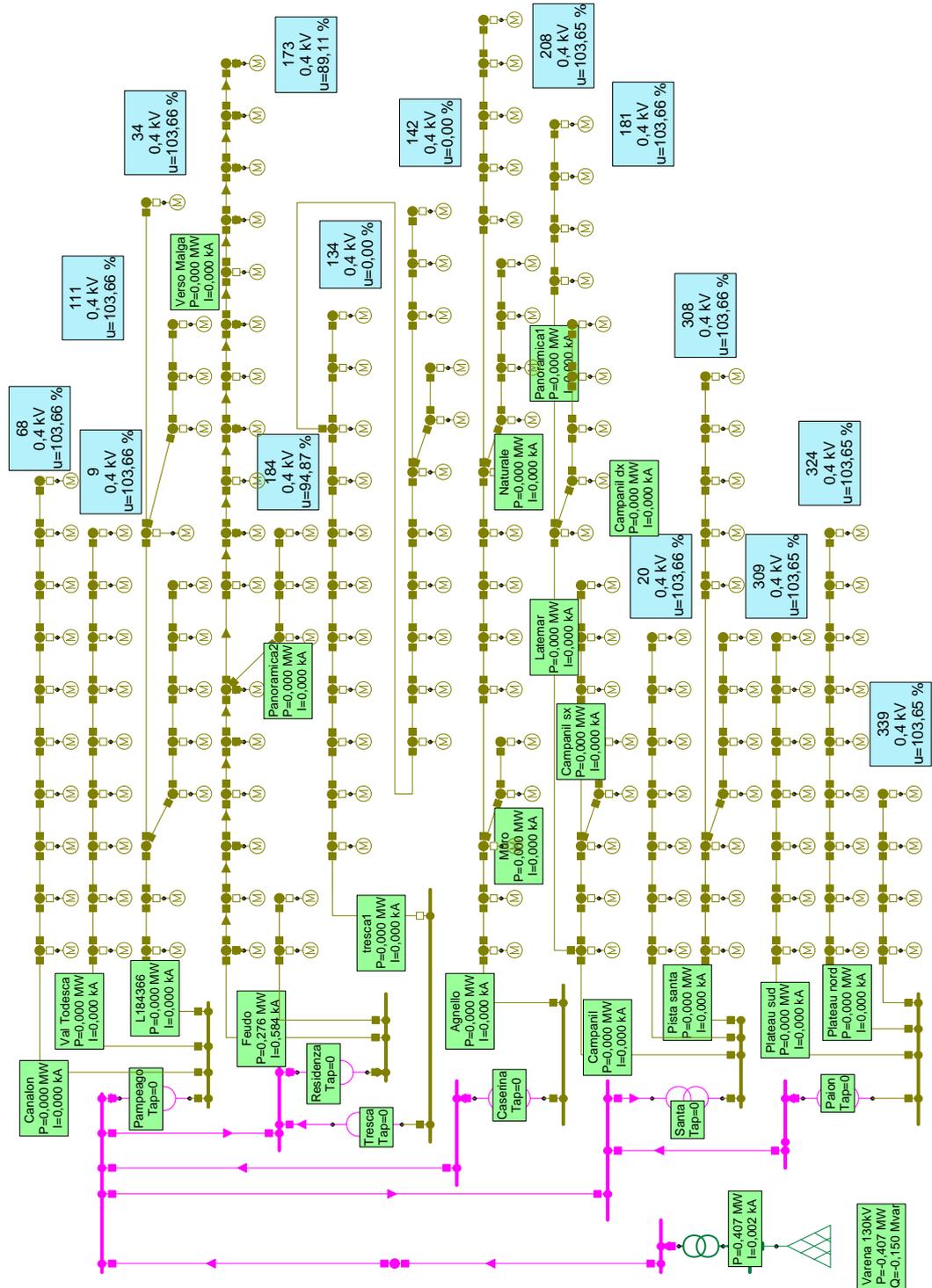


Figura 3.18: Terza situazione avviamento motore nodo 173

Capitolo 4

Stazioni di pompaggio

Si prendono ora in considerazione le nuove stazioni di pompaggio dell'acqua visto che, come è stato detto, ora sono una parte molto importate di tutto l'impianto.

Per quanto riguarda le due stazioni di pompaggio, visto che sono in gran parte uguali, si procede ad una descrizione solo della stazione posta in località Gardoné, in quanto è la più completa; essa infatti comprende anche l'impianto di depurazione dell'acqua mediante ozono, che verrà trattato nell'ultimo capitolo, l'impianto di filtrazione e l'impianto di raffreddamento. Nella sottostazione del Fol invece sono solo presenti quattro pompe centrifughe e gli automatismi di gestione e controllo della stazione stessa.

4.1 Sezione MT

4.1.1 Generalità

Le norme di riferimento per impianti MT e per gli allacciamenti alla rete sono la DK5600 (normativa enel) e la CEI 0-16.

Dalla guida per le connessioni alla rete elettrica di enel distribuzione, si ricavano delle indicazioni standard da seguire per la progettazione della cabina MT/BT, in modo da renderla conforme alle loro direttive.

Per la parte di impianto in MT bisogna tenere conto anche della quota di installazione. Esso infatti è posto ad una altezza di 1650 m e quindi, essendo superiore ai 1000 m la norma CEI 11-1 impone una maggiorazione delle distanze tra conduttori, rispetto a quelle dettate dalle tabelle 4-1 e 4-3; si deve prevedere una maggiorazione dell' 1,4% ogni 100 metri (se oltre i 1000). Nel caso in questione, si è sopra il limite di 7 volte e la distanza base, che era di 220 mm tra fase-fase



Figura 4.1: Unifilare Rete MT 20 kV

e fase-terra, diventa 242 mm. Altre prescrizioni per i componenti in cabina di trasformazione sono:

- tensione nominale del sistema: 20 kV;
- Tensione massima per il componente: 24 kV;
- Tensione nominale di tenuta a frequenza industriale di breve durata: 50 kV;
- tensione nominale di tenuta ad impulso atmosferico (1,2/50): 95kV.

4.1.2 Caratteristiche Alimentazione

La linea alimentante tale impianto è una linea in cavo, posata dal cliente ma ora di proprietà del distributore, a cui afferiscono solo le stazioni di pompaggio e nessun altro carico passivo o attivo; in questo caso non si vengono a creare disturbi in rete durante l'avviamento dei motori, in quanto non ci sono altri carichi sensibili; gli apparecchi elettronici della stazione, per evitare disturbi sono messi sotto UPS. Schematicamente la linea si presenta come in fig 4.1.

La linea in cavo è interrata, sulla quale tramite un entra-esci è derivata una cabina secondaria per l'alimentazione della stazione di pompaggio in località Fol; in fondo alla linea che riparte è presente la cabina di trasformazione della stazione di pompaggio in questione, in località Gardoné.

Il cavo è del tipo RG7H1R , cioè un cavo unipolare, a conduttore in rame rotondo, isolamento principale a base di gomma EPR ad alto modulo, schermi a nastri o piattine di rame, e guaina esterna in PVC. La sezione dei cavi è di 50 mm^2 , la modalità di posa è a trifoglio, la tensione isolamento è 15/20 kV e presentano le seguenti caratteristiche:

- reattanza di fase (a 50 Hz): $0,14 [\Omega/km] \rightarrow L = 0,45 [mH/km]$;
- capacità: $0,17 [\mu F/km]$;
- resistenza apparente conduttore (a 50Hz e 90°C): $0,499 [\Omega/km]$.

La rete di distribuzione MT è protetta contro il corto circuito, il sovraccarico ed i guasti a terra direttamente da parte del distributore (Primiero Energia). Le protezioni adottate dal distributore, non hanno lo scopo di proteggere gli impianti di utente, ma solo la rete e quindi la protezione è affidata alla porzione dell'impianto di proprietà dell'utente. Anche per la protezione contro i contatti diretti, non sono sufficienti i relè posti dal distributore sulla propria linea, ma il cliente deve dotarsi autonomamente di tali protezioni nella propria sezione della cabina.

4.1.3 Impianto di terra cabina

Per i sistemi di categoria II, la norma CEI 11-1 prescrive un impianto di terra unico che protegga l'operatore sia dal guasto a terra sul lato MT che da un guasto sull'impianto BT. Inoltre, essendo un impianto di utilizzazione alimentato da una cabina di trasformazione propria prescrive che il sistema di collegamento del neutro a terra sia in modo franco. Questo equivale a porre un vincolo tra il potenziale dei singoli conduttori ed il suolo. In questo caso il sistema di terra che viene a formarsi è un TN-S, con sezionamento delle tre fasi e del neutro.

La realizzazione del dispersore di terra è stata realizzata mediante un anello di acciaio zincato che corre lungo il perimetro della cabina, con alcuni punti collegati alla ferramenta delle fondamenta e in altri a delle puntazze verticali. All'interno della cabina tale tondino di acciaio confluisce in un collettore a cui sono collegati i neutri dei trasformatori, tutte le masse metalliche presenti in cabina e tutte le carcasse dei motori.

Le condizioni da adottare per la protezione sono le stesse indicate sopra; possono essere utilizzate le protezioni magnetotermiche oppure le differenziali.

In caso di guasto monofase, la corrente di guasto che viene a circolare è data dalla formula:

$$I_a = \frac{U_0}{Z_s}$$

Vista la bassa impedenza dell'anello di guasto (conduttori di fase e di protezione), si ha una elevata corrente di guasto; tale corrente deve essere sopportata dal conduttore di protezione senza venire danneggiato.

Per il dimensionamento del PE quindi, si deve verificare che la sezione del conduttore non sia inferiore al valore determinato con:

$$S = \frac{\sqrt{(I^2 \cdot t)}}{K}$$

Dove:

S = sezione del conduttore [mm^2]

I =valore efficace della corrente di guasto [A]

t =tempo di intervento del dispositivo di protezione [s]

K =fattore che per cavi in rame isolati in PVC vale 143

In caso di corto circuito si considera allora un riscaldamento del cavo in condizioni adiabatiche. Nel caso dei cavi di protezione dei motori, si ha una sezione del conduttore di protezione di $240 mm^2$ ed un tempo di intervento massimo della protezione di $300 ms$; si trova quindi una corrente massima di corto circuito che vale : $62,65 kA$. La corrente massima di corto che può verificarsi in questo caso è minore del valore sopportabile dal cavo.

4.1.4 Protezioni adottate

Tutte le apparecchiature sono prodotti della ditta Magrini (ora Schneider) e nel seguito si farà riferimenti a tali modelli.

La sezione di arrivo della cabina MT/BT, deve rispondere alla norma CEI 0-16, la quale definisce le caratteristiche dell'interfaccia con il distributore. Tale sezione consiste in:

- Interruttore di arrivo IM;
- Interruttore generale DM1-G SF1 con Sepam S20;
- Interruttore del trafo1 DM1-G Sfset con VIP37P;
- Interruttore del trafo2 DM1-G Sfset con VIP37P.

Ogni cella ha all'interno una resistenza anticondensa, della potenza di $50 W$ alimentata a $230 V$, regolata da un termostato e protetta da un interruttore; la sua funzione è di mantenere una umidità relativa all'interno della cella entro valori accettabili.

Lo schema elettrico della sezione di media della cabina di trasformazione si può vedere in figura [4.2](#):

- Potere di interruzione (PI) dell'interruttore alla tensione nominale 16 kA .

L'elevata corrente nominale è dovuta al fatto che, per avere un potere di interruzione così alto, i contatti devono essere molto robusti; di conseguenza essi consentono il passaggio di una elevata corrente nominale senza danneggiamenti. In questo caso la scelta dell'interruttore si è fatta in base al potere di interruzione, che ha la priorità rispetto alla corrente nominale; Infatti sarebbe bastato un interruttore con $I_n = 120\text{ A}$ (somma delle due correnti nominali dei trasformatori), ma per avere un PI adeguato (16 kA) la scelta è ricaduta su dispositivi con $I_n = 630\text{ A}$.

Per quanto riguarda la taratura delle protezioni 50/51 per i trasformatori, le soglie impostate sui VIP37P, sono:

ANSI	Protezione	Moltiplicatore I_S	Tempo ritardo
51	$I >$	$2,2 \cdot I_S$	$0,4\text{ s}$
50	$I \gg$	$6 \cdot I_S$	$0,03\text{ s}$

Il TA di protezione è un Csb 125A, con una $I_s = 63\text{ A}$. Quindi la soglia della 51 è posta a $136,8\text{ A}$ e la soglia della 50 è posta a 378 A .

Tarature Sepam S20

Il controllore che è stato utilizzato permette di impostare due curve caratteristiche di intervento, selezionabili in base a dei cambiamenti della rete; ad esempio quando sono alimentato dalla rete si adottano determinate soglie e quando, per esempio alimento tramite gruppo elettrogeno si adottano altre soglie.

Per quanto riguarda il caso specifico non sono necessarie due tarature ed il dispositivo è stato impostato con i seguenti valori:

Soglia 51 110 A ritardo 300 ms

Soglia 50 300 A ritardo 120 ms

Soglia 51n 1 A ritardo 0 ms

Soglia 50n 30 A ritardo 300 ms

Le misure per la 50/51 sono fatte mediante TA di fase e la misura della corrente omopolare viene fatta mediante un TA toroidale che abbraccia le tre fasi. Le soglie della 50/51 sono adeguate alla somma delle due correnti nominali dei trasformatori. La soglia della corrente omopolare è istantanea, in quanto il tempo di ritardo per l'intervento dopo una misura di 1 A , è stato posto a 0 ms .

Prescrizioni TA e TV dei relè di protezione

I TA ed i TV utilizzati devono essere conformi alle norme CEI EN 60044-1 e CEI EN 60044-2 ed a quanto allegato ai paragrafi 6.3.1, 6.3.2, 6.3.3 seguenti e negli allegati TA e TAT. Esempio di TA unificati Enel, e che quindi sono automaticamente adeguati alle norme :

Rapporto di trasformazione nominale	300/5 o 300/1 [A/A]
Corrente termica nominale permanente	1,2 I _p
Corrente termica nominale di c.c. per 1s	12,5 kA
Prestazione nominale	10 VA
Classe di precisione	5p
Fattore limite di precisione	30
Corrente dinamica nominale	31,5 kA (picco)

La prestazione nominale è la potenza apparente che il trasformatore è in grado di erogare agli utilizzatori al secondario.

La classe di precisione è il limite stabilito per l'errore percentuale di rapporto, riscontrabile allorché il trasformatore è alimentato alla sua corrente nominale ed eroga la sua prestazione nominale.

Il fattore limite di precisione indica il rapporto tra la corrente massima e la corrente nominale, per il quale sono soddisfatte le prescrizioni riguardo l'errore composto.

La corrente dinamica nominale è il più elevato valore di cresta della corrente primaria che il trasformatore può sopportare senza danneggiamenti.

Per quanto riguarda i TV, essi devono essere almeno di classe 6P, fattore di tensione 1,9 per 30s e rapporto di trasformazione tale da fornire, in caso di guasto monofase a terra franco, 100 V ai terminali dei secondari collegati a triangolo aperto. Devono, inoltre, avere prestazione nominale 50VA e tenere conto del fenomeno della ferrorisonanza (ad esempio adottando una resistenza di smorzamento di opportuno valore sul triangolo aperto).

4.2 Sezione di trasformazione

4.2.1 Generalità

Per quanto riguarda i trasformatori, la norma CEI 0-16 definisce un limite massimo per la potenza massima del singolo trasformatore afferente ad un singolo

sistema di sbarre BT. Questo per ridurre la massima potenza di corto in BT che, in caso di guasto, potrebbe fare scattare la protezione posta a monte di tutta la linea MT. In questo caso la limitazione, posta a 2000 kVA (Dk5600_V), è stata rispettata installando trasformatori da 2000 kVA , pure collegati su sbarre diverse senza la possibilità del parallelo.

Altra condizione, dettata sempre dalla stessa norma, riguarda l'energizzazione dei trasformatori. Infatti anche qui si fa riferimento ad un valore massimo ammissibile che equivale a tre volte il limite di cui sopra. Il limite massimo di potenza inseribile in rete è allora di 6 MVA .

Il problema della corrente di inserzione si pone essenzialmente in due casi:

- partenza dell'impianto;
- rimessa in tensione dell'impianto dopo una mancanza di tensione della rete a monte.

Alla messa in tensione alla partenza dell'impianto non vi è alcun problema, in quanto viene fatta da parte del tecnico incaricato; si inseriscono i due trasformatori inserendo un certo ritardo tra le energizzazioni evitando qualunque problema.

Discorso diverso quando, dopo la mancanza della tensione si deve rimettere in moto l'impianto. Nel progetto originale era previsto che alla mancanza della tensione venisse aperto l'interruttore del trafo2 e che al rientro della tensione venga riattivato mediante motorizzazione, con un ritardo di 5s dal rientro della tensione; in questo modo si dà il tempo al transitorio di inserzione del primo trasformatore di smorzarsi e si procede con l'inserzione dell'altro.

Il progetto in origine non prevedeva una bobina di minima tensione (protezione ANSI 27), il cui scopo è quello di aprire l'interruttore generale di cabina DG1. Nel 2010 è stato modificato il progetto originale, inserendo tale bobina di minima sul DG. In questo modo alla mancanza della tensione, si ha una apertura del DG, e una disalimentazione totale dell'impianto. Al rientro della tensione non è previsto un riarmo automatico dell'interruttore, ma è previsto l'intervento manuale del tecnico incaricato.

Per la rimessa in tensione, non è consentita direttamente la chiusura del DG, ma si deve procedere all'apertura degli interruttori dei trasformatori, alla chiusura del DG e solo dopo si possono chiudere gli interruttori dei trafi, rispettando un ritardo di cinque secondi tra l'inserzione di uno e dell'altro, in modo da contenere la corrente di energizzazione.

4.2.2 Inserzione a vuoto dei trasformatori sulla rete.

L'inserzione a vuoto del trasformatore, consiste nella messa in tensione dell'avvolgimento primario, con il secondario aperto. La tensione impressa istantaneamente provoca un assorbimento di corrente (limitato solo dall'impedenza degli avvolgimenti) che si evolve attraverso un transitorio, alla fine del quale si instaura la corrente di regime permanente a vuoto. Nel caso di un trasformatore monofase, ai capi dell'avvolgimento si avrebbe:

$$v_1 - N_1 \frac{d\varphi}{dt} = 0$$

dove:

- $v_1 = \sqrt{2}\sin(\omega t + \alpha)$ valore istantaneo della tensione impressa;
- N_1 = numero delle spire primarie;
- φ = valore istantaneo del flusso nel nucleo;
- α = fase di inserzione del trasformatore (non prevedibile).

Risolvendo l'equazione differenziale si ritrova che per valori di $\alpha = \frac{\pi}{2}$ non vi è alcuna corrente di transitorio e la corrente parte subito con il valore che avrebbe a regime. Invece quando $\alpha = 0$ il valore di φ assume un valore doppio rispetto al flusso a regime. In corrispondenza a questo valore del flusso si raggiunge sicuramente un elevato grado di saturazione del nucleo magnetico, e la corrente magnetizzante può assumere valori elevatissimi (per trasformatori di distribuzione in olio da 50 – 2500 kVA si può raggiungere fino a 15-8 volte la I_n [12]).

Nel caso in questione si considera una corrente di energizzazione pari a $10,5 I_n$ ¹. Avendo quindi sul lato MT una corrente nominale pari a 57,73 A, si trova che la massima corrente di inserzione può, nel caso più sfavorevole, assumere un valore di 606,17 A. Di questo si dovrà tenerne conto in fase di taratura delle protezioni lato media dei trasformatori, tenendo conto che per un trasformatore di questo tipo il transitorio ha una durata di $0,1 \div 0,7$ s.

Per non fare intervenire gli interruttori di protezione del trasformatore, si può impostare una soglia di intervento con un tempo un po' maggiore rispetto al tempo di in-rush.; ad esempio impostando un ritardo di $1,8 \times 0,7$ s non si dovrebbero avere problemi per scatti indesiderati delle protezioni.

Tale corrente di inserzione presenta un contenuto armonico con una componente di seconda armonica di valore significativo. Allo scopo di evitare interventi

¹Valore ricavato da catalogo SEA trasformatori per macchina di pari caratteristiche elettriche.

intempestivi delle protezioni di massima corrente di fase e di massima corrente residua a causa della corrente di inserzione, si può usare un dispositivo ove sia prevista la funzione di ritenuta di seconda armonica, abilitata sulle soglie di intervento delle protezioni 50/51 e 50N/51N; in questo modo non si fa intervenire la protezione. Il dispositivo Sepam S20, tramite la funzione di ritenuta H2 (Ansi 50/51), prevede questa possibilità, in modo da evitare seccature alle protezioni di massima corrente durante la magnetizzazione dovuta alle correnti di inserzione dei trasformatori di potenza.

4.2.3 Caratteristiche dei trasformatori

Visto il posizionamento del trasformatore in un locale interrato, la scelta è ricaduta su dei trasformatori a secco in resina. In questo modo si sono evitate tutte le problematiche legate all'utilizzo dei trasformatori in olio, come per esempio la costruzione della vasca di contenimento dell'olio. Dal calcolo dei carichi in BT, si ricava che la potenza richiesta si aggira intorno ad un valore di 2MVA. Si è scelto allora di installare 2 trasformatori della potenza unitaria di 2MVA, in modo da avere una sicurezza abbastanza elevata e in modo da ridurre al minimo il disservizio in caso di guasto ad una macchina.

I trasformatori installati, appartengono alla classe E2,C2,F1. Ma basterebbe che siano rispettate le seguenti classi:

- | | |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| E1 | Può manifestarsi condensa occasionale sui trasformatori, ad esempio quando non è alimentato; |
| C1 | Installazione all'interno, con temperature di funzionamento fino a -5°C, ma con temperature di stoccaggio e trasporto fino a -25°C; |
| F0 | Non è prevista alcuna misura per limitare l'infiammabilità, in quanto non è previsto nessun particolare rischio di incendio. |

Nonostante queste caratteristiche, per eliminare l'umidità residua all'interno degli avvolgimenti prima di una messa in tensione, una decina di giorni prima si procede con il riscaldamento del locale mediante fornelli elettrici, in quanto una volta finita la produzione di neve rimangono disalimentati per 10 mesi.

Dai risultati della prova di tipo, effettuata dalla ditta costruttrice, si trovano le seguenti caratteristiche:

- 2000 kVA Raffreddamento AN (circolazione naturale d'aria);

- Tipo TES-R 20 $\pm 2 \times 2,5\%$ - 0,4 kV;
- Livello di isolamento 24-50-125/1,1-3 kV;
- Correnti: MT = 57,73 A; BT = 2886,8 A;
- Gruppo di appartenenza : Dyn11;
- Prova in corto: $W_{cc}(75^\circ C) = 18708 W$ $V_{cc}(75^\circ C) = 6,3\%$ $\cos\varphi_{cc} = 0,148$;
- Prova a vuoto: $W_o(U_n) = 3516 W$ $I_0(U_n) = 1,0\%$;
- Potenza richiesta per il rifasamento a vuoto: 19,45 kVar;
- Corrente di corto circuito: $I_{cc} = (I_{n(BT)} \cdot 100/V_{cc\%}) = 45760 A$.

I trasformatori sono stati scelti in modo che se uno va fuori servizio a causa di un guasto, anche uno solo riesce a far funzionare tutto l'impianto senza essere sovraccaricato.

4.2.4 Rifasamento dei trasformatori

Per il rifasamento dei trasformatori MT/BT, si può adottare una soluzione con dei condensatori sempre inseriti, in quanto i trasformatori assorbono costantemente la corrente magnetizzante I_o , indipendentemente dal carico applicato. Dai dati di targa del trasformatore è possibile ricavare il valore di potenza reattiva necessaria al rifasamento, che viene fornita direttamente dalla casa costruttrice, e che vale 19,45 kVar.

In alternativa, se tale valore non viene fornito, si può utilizzare la formula approssimata:

$$Q = I_0\% \cdot P_n/100$$

Dove:

I_0 =corrente a vuoto

P_n =potenza nominale del trasformatore

In alternativa ancora si possono utilizzare delle tabelle già compilate, che in base alla potenza ed alla tipologia del trasformatore (resina od olio) danno il valore della potenza della batteria di condensatori da applicare. Si possono inserire indipendentemente sul lato bassa tensione o sul lato media tensione; essendo il

trasformatore una macchina perfettamente bidirezionale, che la potenza di compensazione dei condensatori provenga dal lato BT oppure MT, dal punto di vista elettrico non cambia nulla.

Nel nostro caso il banco di condensatori è posto a lato bassa tensione; esso è costituito da tre condensatori collegati a triangolo, della potenza unitaria di $7,5 \text{ kVAr}$, per una potenza complessiva di $22,5 \text{ kVAr}$. I tre condensatori sono muniti di resistenza di scarica, in modo che entro un minuto la tensione residua si riduca a valori inferiori a 50V . La norma di riferimento per i condensatori statici di rifasamento è la CEI 33-9 Parte1: generalità, prestazioni, prove e valori nominali.

4.3 Sezione BT

4.3.1 Generalità

Per tutti gli impianti di bassa tensione la norma di riferimento è la CEI 64-8. In essa si trovano tutte le indicazioni per eseguire la progettazione nel miglior modo possibile.

4.3.2 Apparecchi utilizzatori

I principali carichi nella sottostazione finale di pompaggio possono essere riassunti in:

- Nr° 4 Pompe centrifughe multistadio associate a motori elettrici ($P_n = 450 \text{ kW}$)
- Nr° 2 Pompe per circolazione in torri di raffreddamento ($P_n = 18,5 \text{ kW}$)
- Nr° 1 Pompa per la pulizia filtri ($P_n = 11 \text{ kW}$)
- Nr° 1 Pompa per il gruppo di miscelazione Acqua-Ozono ($P_n = 11 \text{ kW}$)
- Nr° 8 Motori Ventole torri di raffreddamento ($P_n = 15 \text{ kW}$)
- Generatore di Ozono (32 kVA e immaginando che sia rifasato: $P_n = 28,8 \text{ kW}$)
- Altri carichi (come illuminazione, controllo e riscaldamento) ($P_n = 15 \text{ kW}$)



Figura 4.3: Pompa multistadio

Pompe centrifughe multistadio²

Nella stazione di Gardoné sono presenti quattro pompe centrifughe marca Caprari (fig4.3), che presentano la seguente targa identificativa:

PMHT100/11Y (Q=37,5 l/s H=740m), Girante tipo A.

Dove:

- PMH: Pompa multistadio, serie ad alta pressione;
- T: Tenuta sull'albero di tipo meccanico;
- 100: Diametro nominale bocca premente;
- 11: numero degli stadi;
- Y: coefficiente di riduzione giranti.

Dal grafico dei campi di prestazione di questo tipo di pompa si vede che il motore adottato dovrà essere un asincrono a $2p=2$.

Si dovrà pertanto verificare che la potenza fornita dal motore sia compatibile con la potenza massima ammessa sulle giranti della pompa. La potenza massima ammissibile, funzione del regime di rotazione, e del numero di giranti, si ricava tramite la formula:

$$P_{max} = (N/n) \times \omega [kW]$$

Dove:

ω = numero di giri della pompa

N/n = Dato tecnico specifico del modello

Dal catalogo si ricava:

$N/n \text{ max} = 0,13$ per tipo PMH

²Dati tecnici e formule sono state prese dal catalogo ufficiale delle pompe caprari.

Da cui si trova una potenza idraulica massima ammissibile di: $P_{i\ max} = 0,13 \times 2987 = 388,31 [kW]$ ed una potenza meccanica massima ammissibile di $P_{max} = P_{i\ max}/\eta = 504,29 [kW]$ usando un rendimento della pompa pari a $\eta = 0,77$ (dai diagrammi collinari).

Tale potenza idraulica dovrà fare fronte, oltre al salto geodetico, anche alle perdite di carico distribuite lungo la condotta e localizzate, sui filtri, sulle valvole di ritegno (due valvole in serie).

Alle pompe in questione sono accoppiati dei motori asincroni trifase a gabbia di scoiattolo. Detti motori sono prodotti dalla ABB, Tipo:M2CA 400 MLB 2B3; product code: 3GCA401420-ADA. Essi presentano le seguenti caratteristiche:[11]

- Tensione nominale: $400 V \Delta$ (collegamento fasi a triangolo);
- Motore a 2poli \rightarrow 3000 rpm, effettivi 2987 rpm;
- frequenza nominale: $50 Hz$;
- Potenza nominale: $450 kW$;
- Efficienza (al 75% del carico): $96,7\%$, (al 90% del carico = $96,9\%$);
- $\cos\varphi = 0,9$;
- Corrente nominale: $744 A$;
- $\frac{I_a}{I_n} = 7,7$.

Vista l'elevata corrente di spunto di tali motori si sono adottati dei metodi di avviamento a tensione ridotta mediante softstarter. I dispositivi utilizzati sono degli ATS48 (Altistart 48, fig4.4) della Schneider Electric. Presentano un consumo interno di circa $2kW$, che può essere trascurato ai fini del dimensionamento, vista l'elevata potenza in gioco sui motori; di tale potenza termica però se ne deve tenere conto in fase di dimensionamento dell'impianto di raffreddamento dell'armadio in cui viene inserito l'avviatore. Tale apparecchio presenta delle protezioni di tipo: differenziale (con bobina toroidale sulle sbarre di alimentazione dei motori che abbraccia le tre fasi) e di tipo termico sia sul softstarter che sul motore.

Tale sistema di avviamento, regolando la tensione ai morsetti della macchina, permette di:

- evitare brusche accelerazioni durante l'avviamento;
- ridurre le correnti di avviamento;



Figura 4.4: Softstarter Altistart 48

- ottimizzare l'avviamento in modo da adattarlo alle specificità del caso.

Solitamente si crea un aumento a rampa della tensione, che parte da un valore iniziale (scelto in modo che il motore inizi immediatamente ad accelerare e la coppia motrice superi la coppia resistente) e arriva fino al 100% della tensione di linea.

Oltre ai vantaggi offerti per la limitazione della corrente di spunto, un apparecchio di questo tipo ha lo svantaggio che introduce in rete dei disturbi dovuti alla parzializzazione dell'onda di tensione. Nel nostro caso non interessa molto, in quanto gli apparecchi elettronici che necessitano di essere alimentati con tensione stabile, sono sotto gruppo di continuità, quindi rimangono esenti da tali disturbi.

L'alimentazione delle pompe avviene mediante una linea $3 \times (2 \times 240) \text{ mm}^2$ per i conduttori di fase e la messa a terra viene eseguita mediante linea $2 \times 120 \text{ mm}^2$ (oppure $1 \times 240 \text{ mm}^2$). Non è previsto il neutro in quanto macchine trifasi e quindi considerati carichi equilibrati.

La fase di avviamento delle pompe non avviene per tutte contemporaneamente, ma si fa partire una pompa alla volta. Prima parte la numero1, e quando viene raggiunto un assorbimento di corrente pari a 660A viene inserita la pompa numero2; si procede in questo modo fino a quando tutte le quattro pompe non sono in funzione ed il sistema ha raggiunto la portata nominale. Anche dopo l'avviamento la corrente rimane limitata al valore di 660 A. Facendo un rapido calcolo sulla potenza elettrica assorbita dal motore si ricava: $P_e = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\varphi = 411,53 \text{ kW}$, che corrisponde ad una potenza meccanica pari a: $P_m = P_e \cdot \eta_{mecc} = 397,96 \text{ kW}$. Si vede che tale valore è inferiore alla potenza massima ammissibile sulla pompa e quindi non si ha il pericolo di sovraccaricarla.

Pompe ausiliarie

L'acqua in arrivo dalla stazione di pompaggio a valle subisce un riscaldamento sia dovuto alle pompe che al moto in condotta. Un vincolo dovuto all'utilizzo finale dell'acqua, oltre alla elevata purezza, è che essa presenti una temperatura che sia la minore possibile. Per questo, nella vasca presente a Gardoné vi sono quattro torri di raffreddamento, che mediante dei grossi ventilatori e delle piastre radianti, sottraggono calore ed abbassano la temperatura del fluido. Per questa operazione si usano due pompe della potenza di $18,5 \text{ kW}$. Coefficiente di utilizzazione e di contemporaneità 1.

Per la pulizia dei filtri, è prevista una pompa della potenza di 11 kW , che in seguito all'azione di alcune valvole pneumatiche comandate da un PLC, fa circolare dell'acqua in controflusso. Il suo funzionamento può essere considerato intermittente e non costante, in quanto l'inserimento è automatico quando uno dei filtri è sporco. Coefficiente di utilizzazione pari a 1 e coefficiente di contemporaneità pari a 0,2.

È presente una pompa per il gruppo di miscelazione acqua-ozono della potenza di 11 kW che è sempre inserita quando l'impianto è in funzione. Si considera un coefficiente di utilizzazione e di contemporaneità pari a 1.

Generatore di ozono

Il generatore di ozono presenta un consumo di circa 32 kVA con un $\cos\varphi = 0,9$ (rifasato di suo). I coeff di utilizzazione e di contemporaneità è pari ad 1 in quanto sempre in funzione quando l'impianto di pompaggio è in servizio.

Servizi ausiliari

Per servizi ausiliari si considerano gli impianti di illuminazione, di controllo, di riscaldamento del locale quadri, le prese di forza motrice e l'alimentazione degli UPS, sotto cui sono collegate tutte le apparecchiature elettroniche. Si considera una potenza di 10 kW di ausiliari con 0,5 e coefficiente di contemporaneità di 0,8.

Potenza totale

Per il calcolo della potenza totale impegnata nella sottostazione si può fare riferimento alla tabella (tab.4.1), che indica i carichi ed i relativi coefficienti:

I motori presenti nell'impianto sono tutti motori asincroni trifasi, con $\cos\varphi = 0,9$; anche per gli ausiliari e per il generatore ad effetto corona si può considerare

Nr° unità	Carico	P [kW]	$K_{util.}$	$K_{cont.}$	P tot. [kW]
4	Pompe centrifughe	400	1	1	1600
2	Pompa raffredd.	18,5	1	1	37
4	Ventole raffredd.	11	1	1	44
1	Pompa miscelazione	11	1	1	11
1	Pulizia Filtri	11	1	0,2	2,2
1	Ozono	28,8	1	1	28,8
1	Luce+ausiliari staz.	10	0,5	0,8	4
				TOTALE	1727

Tabella 4.1: Calcolo della potenza totale impegnata in BT

di avere un $\cos\varphi = 0,9$. In questo modo, dalla potenza attiva ricavata sopra si può ricavare la potenza apparente di dimensionamento con la formula:

$$P = S \cdot \cos\varphi \text{ da cui si ricava } S = P/\cos\varphi.$$

Risulta una potenza di dimensionamento pari a $S = 1920 \text{ kVA}$. Essa sarà la potenza di cui si dovrà tenere conto per il dimensionamento dell'intero impianto e dei trasformatori.

4.3.3 Schema unifilare dell'impianto

Per la progettazione della parte di bassa tensione, si è scelto di adottare una soluzione che permetta di alimentare tutti i carichi sia dal trafo1 che dal trafo2, senza mettere in parallelo le sbarre di bassa tensione. Questa scelta permette di avere delle correnti di cortocircuito minori e, in caso di guasto (in BT) sui carichi collegati ad un trasformatore, di mantenere il servizio sui carichi applicati all'altro.

Per fare ciò si sono adottati degli interruttori estraibili, e in base alla posizione in cui sono inseriti, si alimenta il carico dal trafo1 o dal trafo2. Lo schema di principio del sistema di alimentazione dalle due sbarre separatamente si può vedere in figura 4.5. Sono indicati gli interruttori non inseriti con il quadrato vuoto e con il quadrato barrato si indicano gli interruttori inseriti ed alimentanti il carico.

Lo schema unifilare del Power Center si può vedere in fig. 4.6, fig. 4.7, fig. 4.8; in esso si vede la configurazione dei carichi, che per semplicità si sono disegnati alimentati da un solo trasformatore. Per le tarature degli interruttori di protezione, il cartiglio dello schema riporta i valori attualmente impostati.

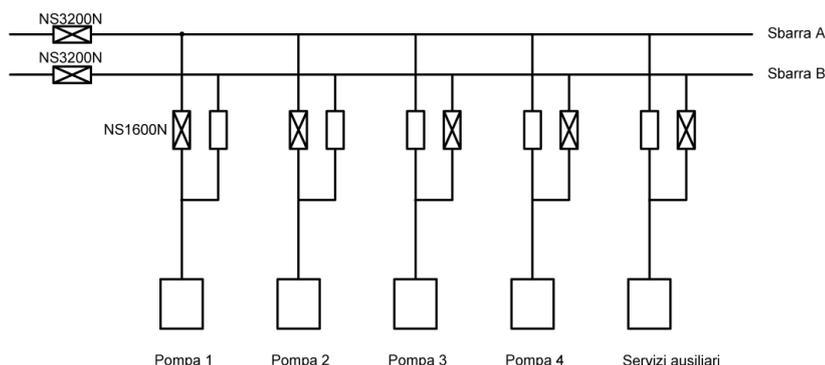


Figura 4.5: Alimentazione da doppia sbarra

Per i servizi ausiliari si è adottato un sistema con un interruttore interbloccato, che ne permetta l'alimentazione da entrambe le sbarre, senza però permettere il parallelo. In questo modo si riesce a garantire il funzionamento anche con uno qualsiasi dei trafi fuori servizio.

4.3.4 Protezione dei motori

Per i motori si presenta una situazione del tipo in figura 4.9:

Il collegamento tra il Power Center ed il Softstarter viene effettuato tramite dei cavi unipolari FG7R, posati in cunicoli sotto il pavimento, della sezione di $3 \times (4 \times 185) + 2 \times 185 + 2 \times 185$ e della lunghezza di circa 15 mt. Tali cavi sono protetti mediante interruttori estraibili magnetotermici NS1600N, con sganciatore MicroL2.0, con regolazione termica a 800 A e regolazione magnetica a 6800 A.

La protezione del motore contro il sovraccarico non si effettua tramite tali dispositivi, ma si demanda la protezione all'avviatore, che controlla sia la sovratemperatura interna propria che la sovratemperatura sul motore tramite delle sonde. In caso di corto circuito, si ha l'intervento della protezione magnetica posta nel quadro generale (Power Center).

4.4 Impianti di trattamento dell'acqua

4.4.1 Generalità

Per quanto riguarda la qualità dell'acqua, che deve essere pompata per la produzione di neve, è stato imposto dalla regola feudale di Predazzo (proprietaria dei terreni su cui passano le condotte) che sia perfettamente potabile. Questo in

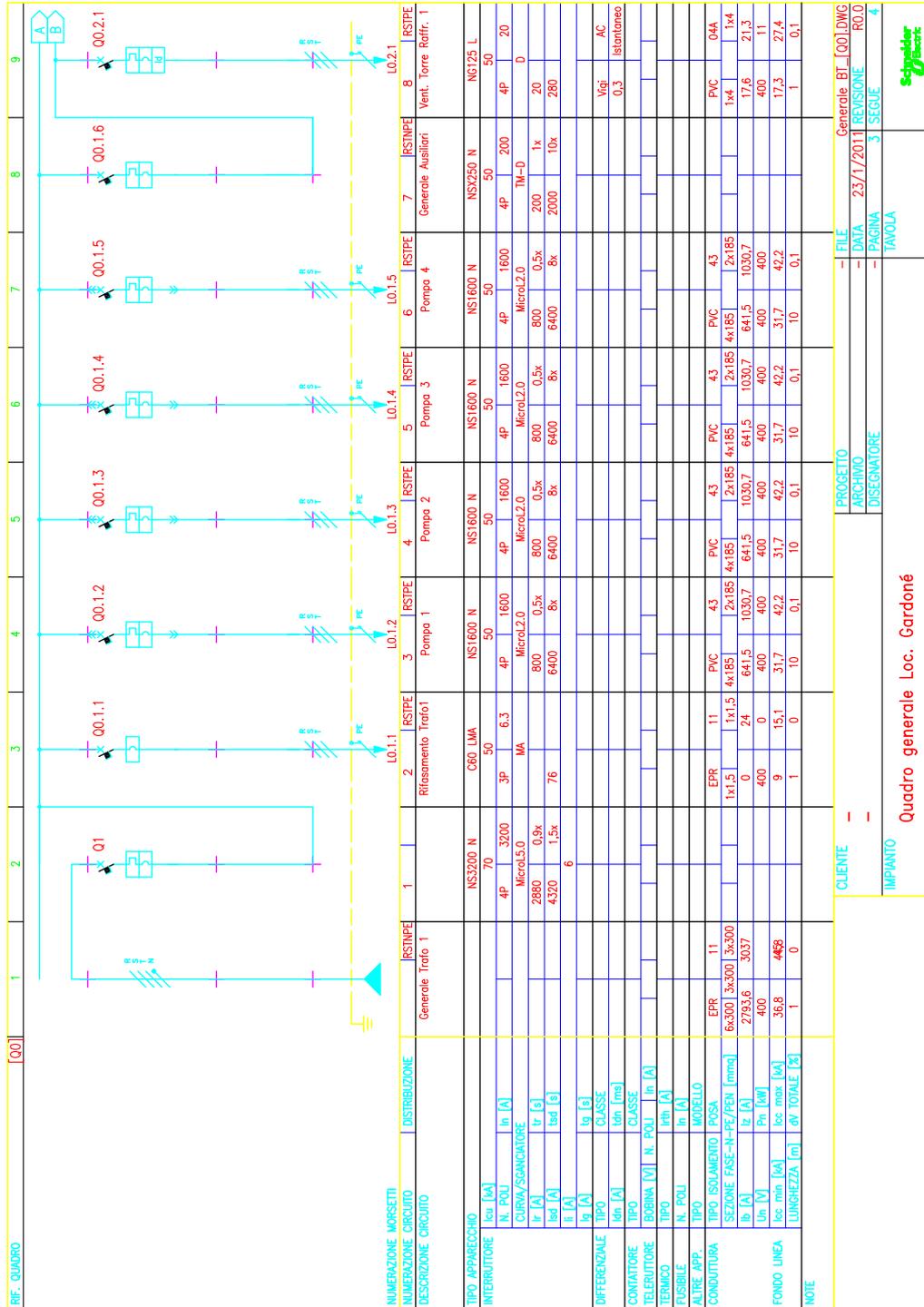


Figura 4.6: Unifilare BT Power Center pt1

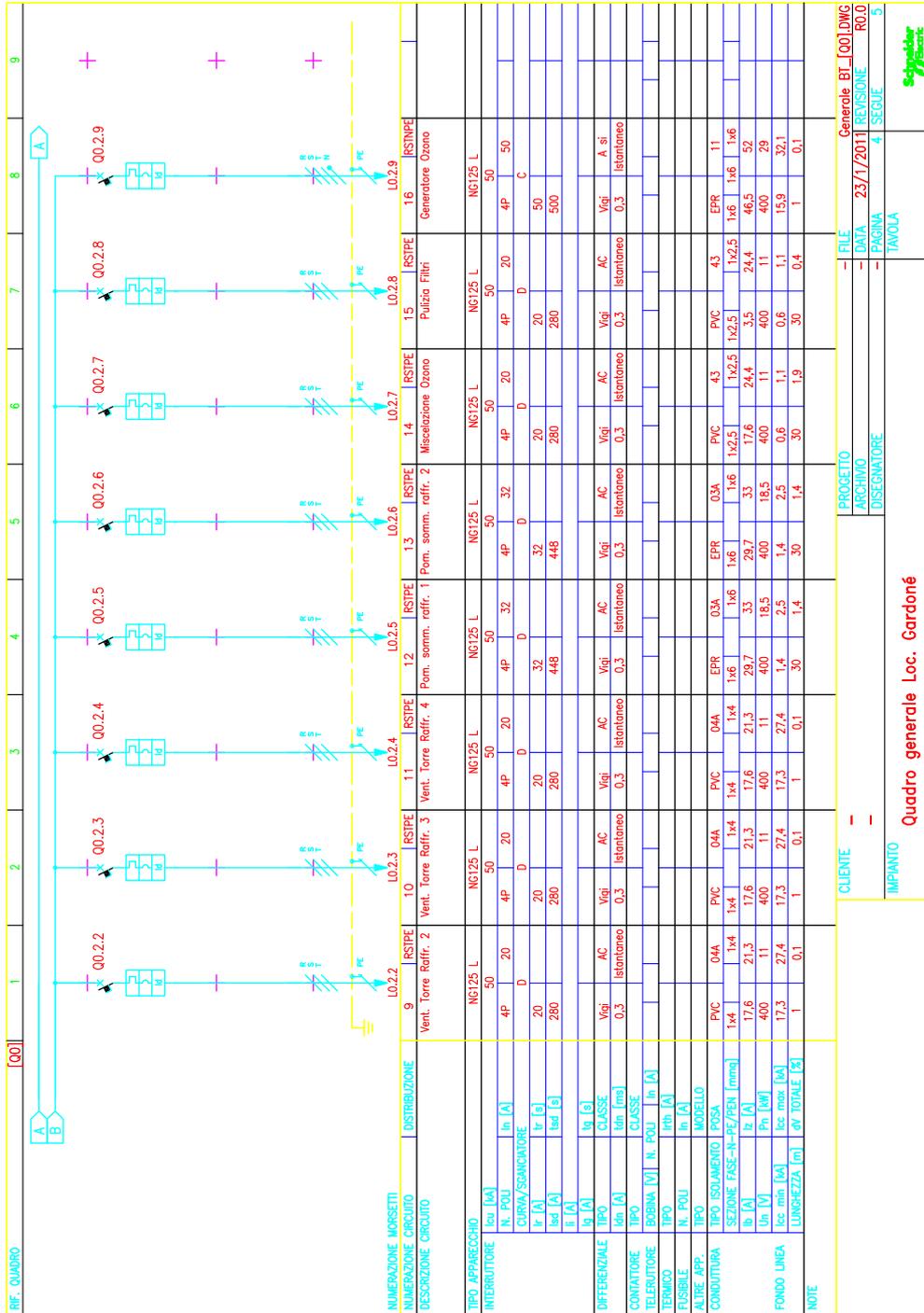


Figura 4.7: Unifilare BT Power Center pt2

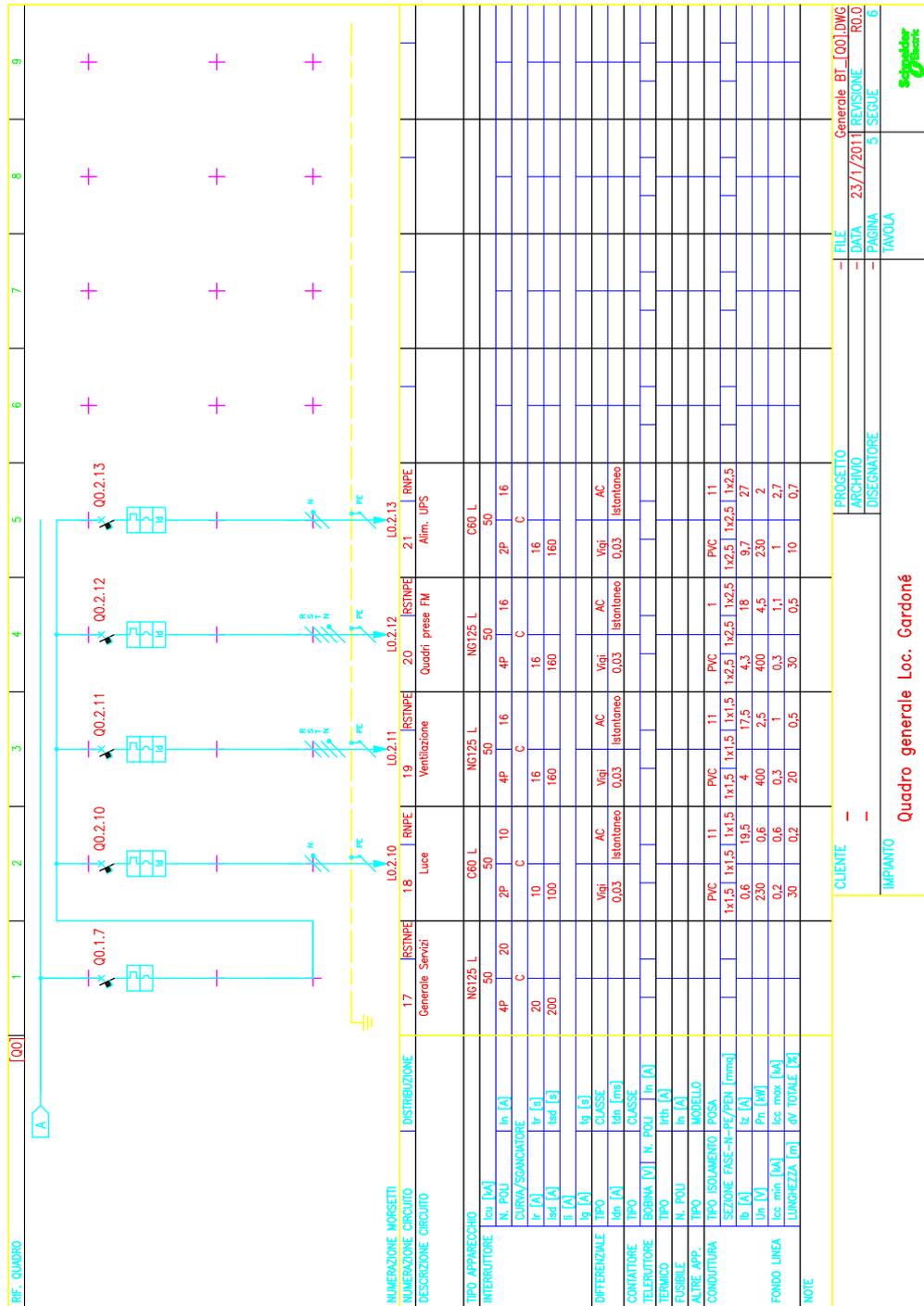


Figura 4.8: Unifilare BT Power Center pt3



Figura 4.9: Linea Motori

quanto, in conseguenza di una rottura delle tubazioni con conseguente fuoriuscita di acqua, non si vadano ad inquinare le falde acquifere. Per il particolato sospeso si utilizzano dei filtri appositi in modo da togliere tutte le impurità. Per l'eliminazione di elementi batterici si può usare il cloro, come viene fatto sovente nelle piscine, oppure si può procedere a trattare l'acqua con l'ozono ed eliminare tutti i batteri presenti. L'impianto, vista la purezza dell'acqua, è stato predisposto per fare anche da circuito di sicurezza come reintegro di acqua per l'acquedotto degli alberghi e delle abitazioni della località di Pampeago.

4.4.2 Percorso acqua

L'acqua, una volta prelevata dalla condotta di derivazione e pompata dalla stazione sita in località Fol, giunge alla stazione di pompaggio in località Gardoné. Prima di entrare nella vasca di carico, l'acqua subisce una miscelazione con l'ozono e successivamente un passaggio attraverso dei filtri per eliminare le impurità; a questo punto può giungere alla vasca di carico, pronta per il secondo stadio di pompaggio che la porterà a quota 2200. Per la miscelazione con l'ozono sono previste due torri di contatto e reazione da $270\text{ m}^3/\text{h}$ (capacità circa $9,5\text{ m}^3$), in cui l'acqua si rimescola. Si ha poi il passaggio attraverso 6 filtri chiarificatori, posti in parallelo, per potere trattare la grande quantità di acqua. A questo punto l'acqua, resa potabile, viene mandata nella parte iniziale della vasca di carico. Bisogna però tenere conto che tutte le operazioni come pompaggio e filtrazione, fanno subire all'acqua un aumento di temperatura. Per questo, prima di arrivare nell'ultima sezione della vasca di carico, l'acqua passa nelle torri di raffreddamento (fig 4.10) per diminuire la temperatura il più possibile. A questo giunge nell'ultima vasca di carico, la cui unica funzione è fornire alle pompe l' $NPSH_r$ ³ richiesto alla bocca di aspirazione.

³"Net Positive Suction Head". Rappresenta l'energia totale o carico assoluto totale per unità di peso del fluido in condizioni di incipiente cavitazione, al netto della tensione di vapore che il fluido possiede all'ingresso della pompa.



Figura 4.10: Torri di raffreddamento

4.4.3 Torri di raffreddamento

La loro funzione nell'impianto è quella di abbassare la temperatura dell'acqua, prima di essere pompata e giungere agli innevatori. Nella stazione di Gardoné sono presenti quattro torri di raffreddamento Cooltech 3600, che presentano una potenza termica unitaria di 1000 kW per una portata di 30 l/s (108 m³/h). Da una temperatura dell'acqua in ingresso di 11°C la si riesce ad abbassare fino a 2°C .

4.4.4 Filtri

Lo stadio di filtraggio per l'acqua pompata dalla galleria di derivazione viene effettuato con dei filtri chiarificatori automatici CILLIT SF 100 A della Cillichemie Italiana (fig4.11); presentano una portata nominale di 100 m³/h.

Sono dei filtri multistadio ultrarapidi ad effetto catalitico, che consentono di trattenere sostanze come argille, limo, altre impurezze solide come ferro e/o manganese; inoltre consentono di eliminare le sostanze colloidali⁴, anche quando

⁴Un colloide è una sostanza che si trova in uno stato finemente disperso, intermedio tra la soluzione omogenea e la dispersione eterogenea. Questo stato "micro-eterogeneo" consiste quindi di due fasi: una sostanza di dimensioni microscopiche (diametro da 10⁻⁹ m a 1 μm) dispersa in una fase continua.

La differenza con le soluzioni consiste nel fatto che queste ultime sono sistemi omogenei



Figura 4.11: Filtro Cillit SF

siano presenti in quantità rilevanti.

Le masse filtranti sono costituite da vari strati di silice bianca ad elevata purezza attivata tramite un trattamento termico, che fanno da supporto e rifinitura al letto catalitico-filtrante di DREN HY-2000. Partendo dal basso si hanno questi diversi strati:

- Dren 6-8mm; [400 kg]
- Dren 3-5mm; [400 kg]
- Dren 1-2mm; [400 kg]
- Dren 0,4-0,7mm; [1650 kg]
- Dren HY 2000. [800 kg]

Il DREN HY 2000 presenta una spiccata attività catalitica in grado di accelerare la formazione e portare a completamento la formazione del fiocco coagulato di colloidali e sostanze organiche. Inoltre l'affinità di questo strato per i flocculi consente di effettuare una filtrazione mista fisico-adsorbente dei fiocchi formati, trattenendo le impurezze più piccole contenute nell'acqua fino a livello batterico. Questi filtri, con l'impiego della flocculazione a monte, permettono di raggiungere una finezza di filtrazione dell'ordine di $0,1 \mu m$ con una velocità di filtrazione

contenenti ioni o molecole di soluto disperse in un solvente libere di muoversi le une rispetto alle altre; esse risultano inoltre limpide, sottostanno alle leggi dell'ebullioscopia e crioscopia, ed hanno tensione di vapore e pressione osmotica regolari. I sistemi colloidali, invece, sono sistemi eterogenei, che si presentano torbidi, non seguono le precedenti leggi e presentano tensioni di vapore e pressione osmotica non regolari.

Molte sostanze a noi familiari sono colloidali, come per esempio il burro, la maionese, l'asfalto, la colla, la nebbia ed il fumo

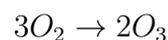
relativamente elevata (30 m/s). Inoltre le caratteristiche del letto filtrante consentono il lavaggio in controcorrente con cola acqua, senza il bisogno di soffianti d'aria o pompe supplementari. Il grado di pulizia del filtro è monitorato tramite dei sensori che rilevano la pressione sulla bocca di ingresso e sulla bocca di uscita. La durata del lavaggio in controcorrente è di 15 minuti, e l'acqua del lavaggio viene scaricata direttamente in fognatura tramite appositi canali di scarico.

4.4.5 Trattamento ad ozono

Ozono

Quando si parla di ozono, si pensa sempre al "buco dell'ozono" e che esso sia presente quasi esclusivamente in atmosfera. In effetti la sua principale funzione è quella di schermare la terra dalle radiazioni ultraviolette UV-B provenienti dal sole in quanto riesce ad assorbirle. Ma l'ozono si trova anche nell'aria che respiriamo, seppur in quantità molto ridotte, e viene prodotto quando le sostanze inquinanti, derivate dalle combustione nei motori a scoppio, reagiscono favorite dalla radiazione solare.

L'ozono (O_3) è una forma particolare della molecola di ossigeno. si presenta in stato gassoso di colore blu-violetto ed ha un odore caratteristico pungente, fortemente irritante per le mucose. Si forma da molecole di ossigeno (O_2) in prossimità di scariche elettriche, scintille o fulmini, secondo la reazione



Esistono anche interessanti utilizzi pratici di tale molecola; noi prenderemo in considerazione la sua funzione come disinfettante ed antibatterico.

L'ozono è un gas fortemente instabile; per tale motivo non può essere stoccato o trasportato, ma deve essere prodotto ed immediatamente utilizzato.

Potabilizzazione delle acque mediante ozonizzatori

L'ozono ossida e decompone contaminanti organici ed inorganici con una rapidità superiore ad altri ossidanti; è anche abbastanza efficace contro i virus. Esso svolge la sua funzione con una rapidità superiore di uno o due ordini a quella tipica del cloro ed in modo più completo e sicuro; solo il fluoro reagisce in modo più rapido. La Sterilizzazione non è condizionata né dai nitrati, né dal PH. Per avere la certezza dell'eliminazione di tutti i batteri e virus, basta avere un minimo di residuo di ozono nell'acqua. Inoltre con l'ossidazione si decompongono

anche elementi organici ed inorganici che possono così essere raccolti mediante filtrazione, etc. L'ozono reagisce anche con quei componenti che sono insensibili al cloro quali, coloranti, ferro e manganese, fenoli⁵, mercurio, cianuro, etc.[9]

Uno degli aspetti più interessanti di questa tecnologia è che la molecola di ozono, dopo aver espletato le sue azioni benefiche in breve tempo decade naturalmente ritrasformandosi in ossigeno e non dando pertanto origine ad alcun prodotto residuo. Tale metodo di potabilizzazione viene usato in numerosi campi come:

- trattamento acqua minerale per industrie di imbottigliamento;
- trattamento acqua per piscine pubbliche e private;
- trattamento acqua di scarico;
- trattamento acqua di raffreddamento;
- trattamento acqua per l'acquedottistica;
- nella disinfezione delle superfici in genere;
- nella disinfezione conservativa di derrate alimentari;
- nella sanificazione e deodorazione ambientale;
- medicale con l'ozonoterapia.

Vantaggi dell'ozono rispetto ad altri metodi

Il vantaggio dell'ozono sul cloro, utilizzato spesso per la potabilizzazione dell'acqua, è che il primo sterilizza nettamente meglio sia nei confronti dei batteri che dei virus; inoltre l'ozono non altera le caratteristiche dell'acqua, in particolare il sapore. Attualmente grandi città come Amsterdam, Mosca, Parigi, Torino, Firenze, Bologna e Ferrara possiedono impianti che forniscono acqua potabile prelevata da fiumi e trattata con ozono.

L'ozono si distingue per alcune importanti vantaggi quali:

- degrada composti organici complessi non biodegradabili;

⁵I fenoli sono sostanze derivate dagli idrocarburi aromatici per la sostituzione di uno o più atomi di idrogeno con gruppi ossidrilici $-OH$. Capostipite di questa classe, da cui prende anche il nome, è il fenolo, di formula C_6H_5OH , in cui un atomo di idrogeno del benzene è sostituito da un gruppo $-OH$. Come gli alcoli sono ossidabili; in particolare si comportano come alcoli alifatici terziari, in quanto per ossidazione la molecola viene spesso completamente degradata.

- ha un elevato potere ossidante;
- svolge un'energica azione disinfettante;
- non aggiunge odore e sapore all'acqua;
- non forma alogeno derivati;
- l'ossigeno, suo prodotto ridotto, non è tossico e non richiede alcun trattamento di eliminazione.

Anche per la produzione di neve artificiale, come detto, si rende necessaria la potabilizzazione e l'eliminazione dei batteri, in quanto in primavera la neve si scioglie e l'acqua va a penetrare nelle falde acquifere; per questo motivo l'acqua destinata alla produzione di neve deve essere potabile. Un metodo alternativo sarebbe l'utilizzo di cloro, ma nell'impianto in questione viene utilizzato solamente nei casi in cui vi siano dei malfunzionamenti al generatore di ozono.

Precauzioni adottate

Come è nocivo per i batteri presenti in acqua, l'ozono è anche nocivo per l'uomo. Sulla salute, essendo un potente ossidante, attacca i tessuti delle vie aeree, provoca disturbi alla respirazione ed aggrava gli episodi di asma. Per questo, riguardo all'aria esterna, il D.Lgs. n°183 del 21/5/2004 fissa come valore bersaglio per la protezione della salute umana la media giornaliera su 8 ore pari a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, da non superare per più di 25 giorni all'anno come media su tre anni. Per gli ambienti interni l'ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.) ha definito i seguenti valori guida: $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media annuale e $235 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come media oraria.

Per potere rispettare tali direttive, nell'impianto in questione è stata prevista una centralina per il monitoraggio del gas GWG-2000, . Al superamento della soglia di allarme, per evitare problemi agli eventuali operatori presenti in sala, viene attivata una grossa ventola per la circolazione forzata dell'aria, in modo da ridurre la concentrazione del gas mediante l'apporto di aria pulita e l'eliminazione di quella contaminata.

Principio di funzionamento ozonizzatori[15]

La maggior produzione di ozono si ottiene mediante generatori ad effetto corona, i quali sono estremamente efficienti. Oltre a quelli che sfruttano il corona, nel

corso del tempo si sono sviluppate alcune varianti, tra cui quelle che sfruttano l'elettrolisi o le lampade ad ultravioletti, ma che presentano un rendimento minore e quindi scarsamente impiegati.

Tra tutti i macchinari, come detto, il tipo più diffuso è quello ad effetto corona sviluppato sul modello Siemens ad elettrodi concentrici. Tra i loro vantaggi si nominano la possibilità di costruire generatori di dimensioni abbastanza contenute, quella di poter produrre ozono riducendo al minimo la produzione di altri gas irritanti, avere una longevità delle celle ad effetto corona (anche maggiore di 10 anni) e l'elevata produttività.

Le caratteristiche costruttive delle celle ozonogene

Le celle ozonogene ad effetto corona di tipo più classico sono costituite da un elettrodo centrale collegato ad un generatore di media tensione (7.000 , 30.000 V); attorno ad esso c'è una intercapedine di 0,8 , 1,5 mm in cui scorre l'aria o l'ossigeno. Attorno vi è un tubo di materiale dielettrico, ordinariamente vetro borosilicato oppure ceramica (questa introdotta tra il 1984 ed il 1985), rivestito all'esterno di un film conduttivo metallico, collegato a terra (in certi casi tali collegamenti possono essere invertiti).

Oltre questo tipo di cella, negli ultimi vent'anni sono state provate una serie di celle, sempre basate sull'effetto corona, a geometria innovativa: ad intercapedine ampia, a scarica fredda, tipo Siemens a piccolissima intercapedine, a elettrodo in rete metallica, ad elettrodo in filo metallico fine, oltre ad innumerevoli altri esperimenti basati su tecnologie o materiali speciali.

La frequenza operativa di una cella ozonogena può variare tra i 50 ad oltre 1000 *Hz*. La pressione di esercizio può variare tra quella atmosferica a 3 bar. Si tenga presente che la formazione di ozono dall'ossigeno avviene con diminuzione del numero di moli, e dunque è favorita dalla pressione. Giacché una quota variabile tra l'85% ed il 95% dell'energia che alimenta le celle viene trasformato in calore, esso deve essere rimosso tramite un opportuno sistema di raffreddamento, ad aria od a acqua.

Aria od ossigeno in ingresso

Le celle ozonogene possono essere alimentate da aria oppure da ossigeno.

Nelle due condizioni si hanno diversi meccanismi di reazione, in quanto diluendo l'ossigeno con un gas inerte si ha un effetto catalitico sulla produzione di ozono; nel caso dell'azoto presente nel 78% nell'aria, a quest'effetto catalitico si

accompagna la tendenza a formare una miscela di ossidi di azoto. Operando con aria si ha una maggiore complessità degli apparati a monte delle celle ozonogene, in quanto l'aria deve essere disidratata e purificata a fondo da tracce di olio, che danno luogo a depositi all'interno delle celle stesse, favorendo il generarsi di archi che danneggiano la cella.

Utilizzando aria si arriva a concentrazioni di ozono del 6% (p/p), $76,8 \text{ g/Nm}^3$ (la maggior parte dei generatori industriali dà una concentrazione di ozono di 25 g/Nm^3), con rese di $0,028 \text{ g/kJ}$. Si ha una minore produzione di calore, con meno necessità di raffreddamento forzato della cella ed un certo risparmio sui costi di esercizio, dato che si lavora con aria atmosferica.

Operando con ossigeno, esso può essere inviato direttamente alle celle ozonogene, in quanto è fornito già secco e molto puro. Le concentrazioni di ozono raggiungibili in questo caso possono superare il 20% (p/p), 286 g/Nm^3 , con rese di $0,069 \text{ g/kJ}$. La produzione di calore in questo caso, essendo collegata alla quantità di ozono formata, è più intensa.

Microscariche e punto di rugiada

Nelle condizioni che sussistono in una cella ozonogena, ovvero si trovano due elettrodi affacciati, sottoposti ad un'alta differenza di potenziale e una barriera costituita da un dielettrico, a pressione prossima a quella atmosferica, si ha la formazione di un gran numero di microscariche omogeneamente distribuite.

L'ozono si forma appunto in queste microscariche e non nello spazio circostante. Il raggio del canale attraverso cui si propaga la microscarica è di circa 100 mm e si disperde su un'ampia superficie di scarica sul dielettrico. La sua durata è dell'ordine dei nanosecondi. La densità di corrente è di $100 \div 1000 \text{ A/cm}^2$, e la carica trasportata dell'ordine di $10^{10} \div 10^9 \text{ C}$.

L'effetto del punto di rugiada

Un parametro critico per la resa di una cella ozonogena alimentata ad aria (generalmente se si utilizza l'ossigeno esso è già fornito secco) è la sua umidità. Il punto di rugiada⁶ minimo per garantire un buon funzionamento e resa della cella è di -60°C . Oltre ad un rapido decremento della resa relativa in ozono, si ha nella cella la produzione di acido nitrico, che attacca profondamente sia talune parti

⁶Il punto di rugiada è quella temperatura a cui una massa d'aria deve essere raffreddata, a pressione costante, affinché diventi satura di vapore acqueo e quindi possa cominciare a condensare.

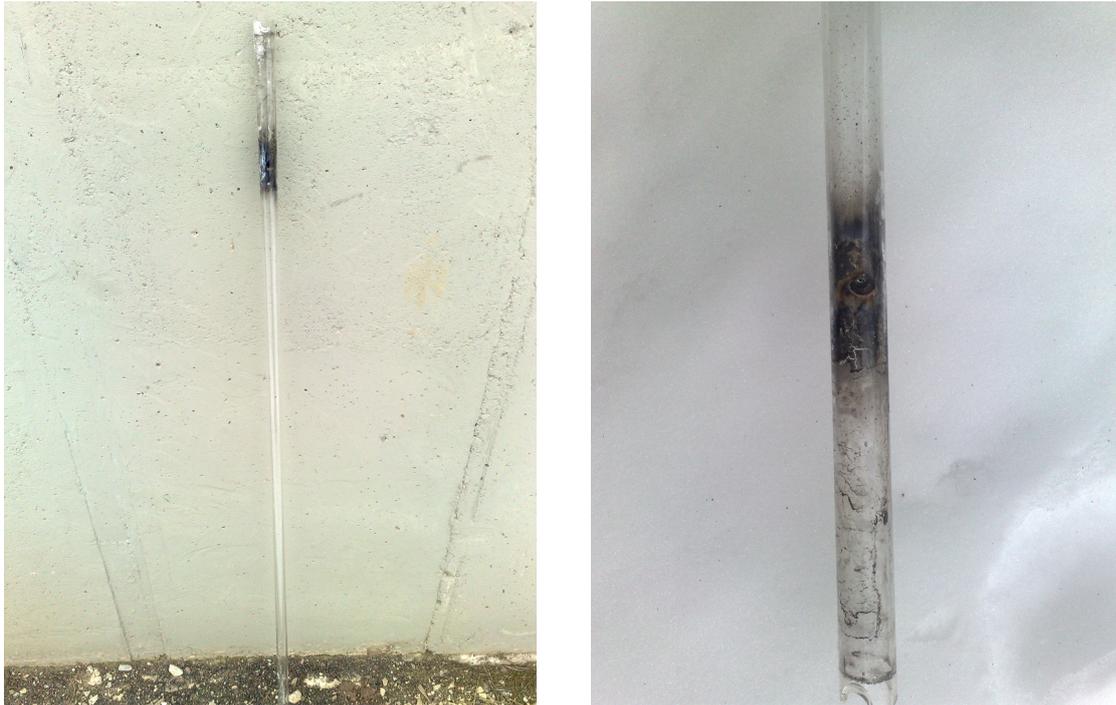


Figura 4.12: Tubo di vetro danneggiato da una scarica

della cella sia gli organi a valle di essa. Aumenta inoltre, la possibilità dell'innesco di archi elettrici all'interno della cella stessa con gli effetti distruttivi che si possono vedere in fig 4.12.

L'effetto della frequenza

La frequenza di lavoro di una cella ozonogena si definisce bassa, media od alta a seconda che rientri nelle seguenti fasce:

- bassa frequenza $-50 \div 100 \text{ Hz}$
- media frequenza $- 100 \div 1000 \text{ Hz}$
- alta frequenza $- \text{oltre i } 1000 \text{ Hz}$

Se si considera la superficie (generalmente cilindrica per una cella classica) e la potenza assorbita dalla cella stessa, si può definire una densità di potenza esprimibile in kW/m^2 . Con l'aumentare della frequenza di alimentazione, aumenta pure la densità di potenza della cella.

Una cella ozonogena a bassa frequenza (50 Hz) lavora con una densità di potenza di $0,2 \div 0,5 kW/m^2$, mentre con le attuali celle a media frequenza si raggiungono i $2,5 kW/m^2$.

Con l'aumento della potenza assorbita aumenta pure la quantità di ozono prodotta e di conseguenza maggiore è la frequenza, minore è l'ingombro del generatore.

Con l'aumento della frequenza, si può abbassare pure la tensione di esercizio aumentando la durata dei tubi di dielettrico, e, in generale, di tutto l'apparato.

Una relazione che lega la potenza assorbibile dalla cella alla frequenza, è la formula di Manley:

$$P = 4 \cdot f \cdot C_v \cdot U_d \cdot \left\{ U_m - U_d \cdot \left(1 + \frac{C_a}{C_v} \right) \right\}$$

Dove:

P = potenza;

f = frequenza;

C_v = capacità del dielettrico;

C_a = capacità dell'intercapedine;

U_d = tensione di scarica;

U_m = tensione di picco.

La produzione di calore

La produzione di calore è proporzionale alla quantità di ozono generata, ma con il crescere della temperatura l'ozono formato tende a decomporsi.

Questo si può notare anche in condizioni statiche, dove la velocità di decomposizione dell'ozono aumenta con la temperatura, tanto allo stato gassoso che in soluzione.

È pertanto necessario raffreddare le celle e dissipare il calore in eccesso. Per piccole potenze si può ancora sfruttare il raffreddamento naturale ma, man mano che la potenza aumenta, è necessario ricorrere al raffreddamento forzato ad aria e quindi ad acqua. Talvolta si refrigera l'aria prima di avviarla alle celle.

La quantità di calore generata è di circa 18,63 kcal/g (di ozono prodotto).

La quantità di acqua impiegata per il raffreddamento delle celle è mediamente 2,05 l/g (ozono prodotto), con scostamenti da questo valore sino a +50% in apparecchi con potenzialità minori di 150 g/h di ozono.

Lo spessore dell'intercapedine

Un fattore particolarmente critico, è lo spazio tra l'elettrodo centrale ed il tubo di materiale dielettrico – generalmente vetro borosilicato⁷.

⁷nome commerciale Pyrex

Con l'aumentare di questo spazio, diminuisce sensibilmente la produzione di ozono, anche in relazione ad un maggior sviluppo di calore che tende a distruggere l'ozono formato. L'aumento del calore prodotto appare crescere in misura esponenziale con l'ampiezza di questo spazio.

Correlatamente, diventa critica la precisione di lavorazione dell'elettrodo centrale, del tubo dielettrico e del rispettivo centraggio.

Se non è difficile ottenere elettrodi, solitamente in acciaio inox, con un'ottima precisione di lavorazione, se il problema del centraggio può essere risolto con opportuni accorgimenti costruttivi, assai più critica è la situazione per il tubo dielettrico in vetro borosilicato, difficilmente disponibile di precisione, e soggetto a tolleranze piuttosto ampie su spessore, linearità ed eccentricità.

La dimensione dello spazio elettrodo-tubo dielettrico e la precisione meccanica della cella manifestano maggiormente il loro peso quando ci si spinge verso alte concentrazioni d'ozono.

La tensione di lavoro delle celle

Come già detto, la maggior parte delle celle ozonogene lavora con tensioni comprese tra i 7.000 e 30.000 V.

Una relazione tra la tensione di esercizio, la potenza assorbita, la frequenza e la costante dielettrica, è la seguente:

$$U = \frac{P}{f \cdot C_v \cdot U_d} + U_d$$

Dove:

P = potenza

f = frequenza

C_v = capacità del dielettrico

U_d = tensione di scarica

U = tensione di alimentazione

Il massimo della potenza trasmessa attraverso la scarica nel gas si ha nel caso che: $U_d = \frac{1}{2} \cdot U$

Potenza assorbita e produzione di ozono

Teoricamente, per generare 1 g/h di ozono, si necessiterebbe di 0,83 W/(g/h), mentre, mediamente, in una cella ozonogena industriale osserviamo un assorbimento di 21,67 W/(g/h), cioè un rendimento del 3,85.

Un buon accordo tra la produzione di ozono e la potenza assorbita viene data dalla seguente formula empirica:

$$\frac{VA}{g/h} = 20 + \left(4 - \frac{\sqrt{O_3(g/h)}}{10}\right)^2$$

La capacità elettrica delle celle

Da quanto precedentemente detto, si comprende facilmente che una cella ozonogena ad effetto corona, dal punto di vista elettrico, si comporta come un elemento capacitivo, e che le caratteristiche che concorrono a determinarne la capacità coincidono, in buona misura, con quelle che ne determinano l'efficienza nella produzione di ozono: essa aumenta con l'aumentare della superficie del tubo dielettrico, con la sua costante dielettrica, mentre diminuisce con l'aumentare dell'intercapedine dielettrico/elettrico.

Con l'aumentare della lunghezza della cella aumenta la produzione di ozono, almeno sinché si raggiunge la saturazione: per i grandi generatori industriali si può arrivare a lunghezze di 4, 6 m. Chiaramente insorge il problema della centratura degli elementi concentrici della cella, per l'inflessione dei tubi.

Si nota come scostamenti sullo spessore, linearità ed eccentricità del tubo dielettrico (nonché dell'elettrodo centrale) influenzano negativamente la capacità elettrica della cella. Possiamo calcolare facilmente la capacità elettrica teorica della cella ozonogena:

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot l}{\sum \frac{\ln(a_i+1/a_i)}{k_i}}$$

Dove:

C = capacità

ε_0 = costante dielettrica del vuoto

l = lunghezza utile della cella

a_i = spessore dello strato dielettrico

k_i = fattore dielettrico del materiale

Confrontando la capacità calcolata con quella misurata sulla cella reale, possiamo avere una misura complessiva dell'efficienza della cella su quella calcolata.

Si può anche facilmente confrontare l'efficienza relativa tra celle diversamente dimensionate. Possiamo anche leggere, anche sulla base delle formule precedenti, una correlazione tra capacità elettrica, e dunque la carica immagazzinabile, e la capacità di generare ozono.

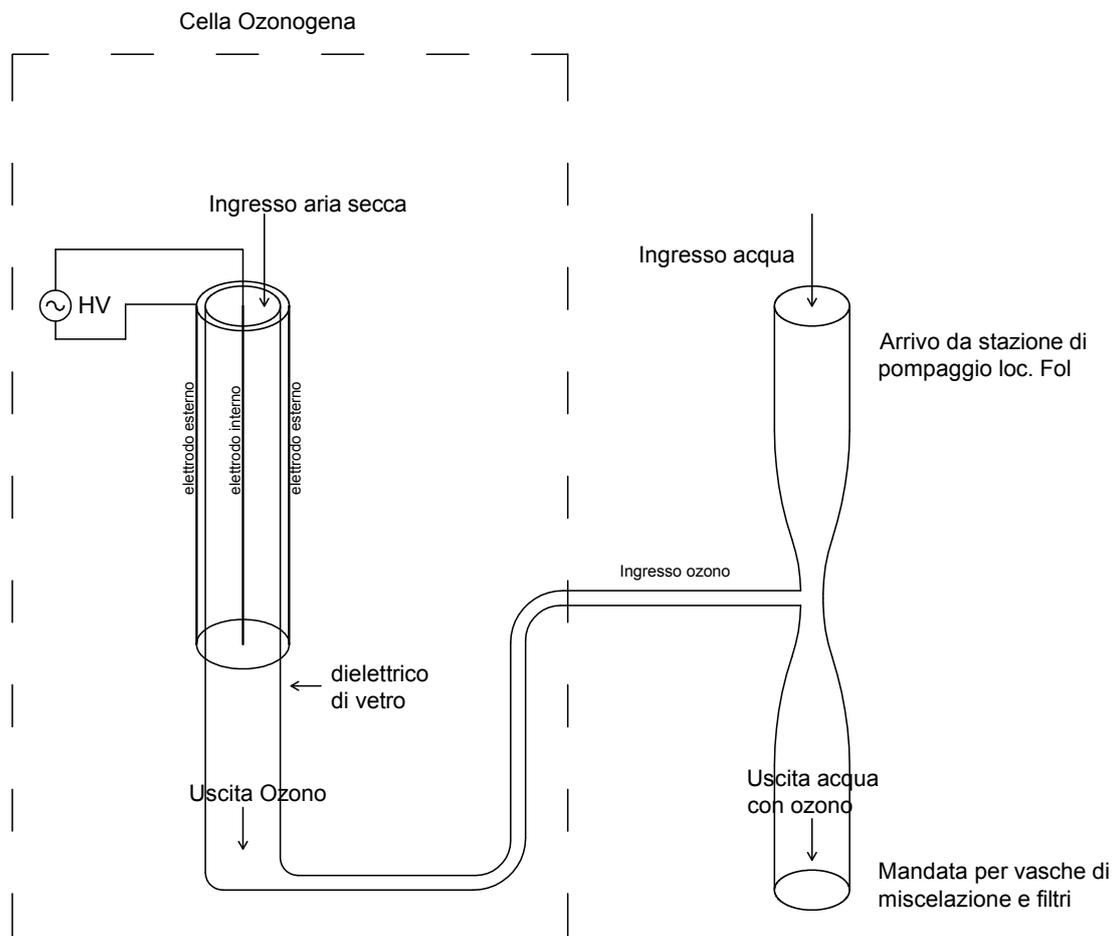


Figura 4.13: Schema di principio

Si è proceduto ad un confronto tra la capacità elettrica calcolata di una cella ed un campione di celle provenienti dalla produzione, che ha mostrato un buon accordo con quanto esposto.

4.4.6 Ozonizzatore Bewazon[10]

Uno schema di principio dell'impianto si può vedere in fig.4.13.

Il modello è un Bewazon-700 che presenta i dati caratteristici presenti in tabella 4.2.

La potenza massima assorbita da tale apparecchiatura è di 32 kVA.

Dati	Valore
Produzione ozono secondo DIN 19627	700 <i>g/h</i>
Concentrazione ozono secondo DIN 19627	20 <i>g/m³</i>
Gas in ingresso	aria
Pressione ambiente (relativa alla atmosferica)	-0,1/-0,0
Grado di protezione	IP53
Temperatura di funzionamento	5÷30 °C
Umidità relativa massima	60%
Tensione di esercizio 3/N/PE	400 V 50 Hz
Massima corrente per fase	45 A
Portata acqua di raffreddamento a 4-17°C	1000 <i>l/h</i>
Attacco acqua di raffreddamento	DN 25
Flusso d'aria	35 <i>Nm³/h</i>
Attacco ozono	DN 32
Larghezza armadio essiccatore	800 <i>mm</i>
Larghezza armadio controllo	1200 <i>mm</i>
Larghezza armadio generatore di ozono	1200 <i>mm</i>
Larghezza (totale compresi 400 mm di aria)	3200 <i>mm</i>
Profondità armadio	600 <i>mm</i>
Altezza (più 200 mm per i collegamenti)	2100 <i>mm</i>
Peso	1800 <i>kg</i>

Tabella 4.2: Caratteristiche tecniche BW-700

In figura 4.15 si possono vedere le tre parti principali che compongono la macchina. Sulla sinistra si vedono i due cilindri per l'essiccazione dell'aria, che prima di essere immessa in camera di scarica deve avere una umidità relativa molto bassa; questa operazione di essiccamento e rimozione dell'umidità viene effettuata tramite il passaggio dell'aria in una sabbia priva di umidità. Sono presenti due cilindri per l'essiccazione in modo da riuscire a garantire la continuità dell'aria in ingresso. Il ciclo di essiccazione si compone di tre fasi:

1. Riscaldamento della sabbia tramite resistenze elettriche, fino a 150 °C, per eliminare l'umidità contenuta;
2. Passaggio di aria fredda in modo da abbassare la temperatura;
3. Finito il ciclo di raffreddamento si fa passare l'aria destinata alla produzione di ozono, la quale risulta praticamente priva di umidità;

Sono necessarie due colonne di essiccazione, in modo che quando una sta eseguendo il ciclo di rigenerazione della sabbia, l'altra può fornire l'aria alle celle ozonogene.

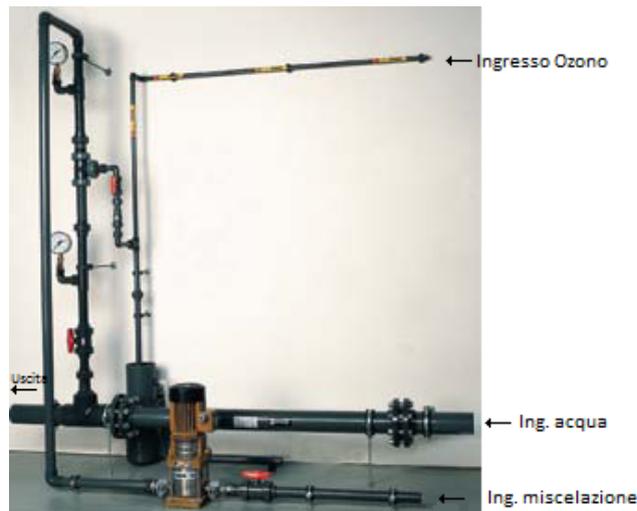


Figura 4.14: Circuito miscelazione ozono

L'armadio centrale invece contiene tutte le apparecchiature di comando e controllo per il processo, inclusi i trasformatori ad alta tensione che servono a mantenere la scarica.

Nella parte di destra si vedono invece i 10 tubi di acciaio in cui avviene la produzione dell'ozono, e che presentano un ingresso ed una uscita per l'acqua di raffreddamento, un ingresso aria secca e un uscita aria ricca di ozono.

Una volta prodotto, l'ozono viene immesso in circolo tramite delle tubazioni convergenti-divergenti, che sfruttando l'effetto venturi creano una depressione nel flusso d'acqua che aspira il gas. Tale sezione si può vedere in [figura 4.14](#)

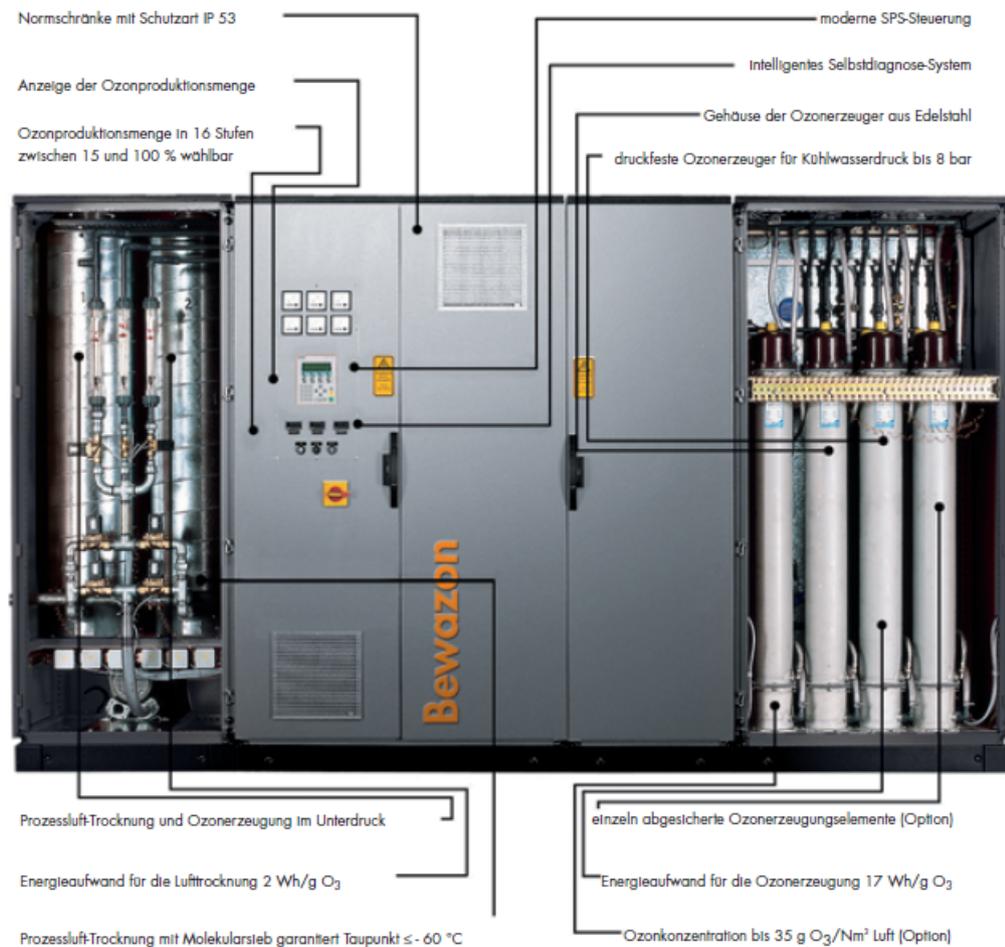


Figura 4.15: Componenti interni BW-700

Capitolo 5

Conclusioni

Dal punto di vista energetico gli impianti di innevamento artificiale richiedono veramente molta energia elettrica e risorse idriche, risultando molto spesso un "lusso". Mettendo infatti in relazione i kW impegnati ed i km di piste da innevare e definendo S come potenza unitaria in [kW/km] si trova che: $S = P/L = (6000 + 4000)/22,5 = 444 [kW/km]$, avendo preso 6000 kW di potenza impegnata per l'innervamento e 4000 kW come potenza per il pompaggio. In alternativa, se si prende come potenza massima il valore: $51 \text{ cannoni} \times 20 \text{ kW} = 1020 \text{ kW}$ si trova un rapporto $S = 45,33 [kW/km]$. Si vede che risulta molto alto l'impegno di potenza per km di pista; di fronte a questo dato ci si può porre la domanda se vale proprio la pena di utilizzare l'energia in questo modo, o se esistono delle alternative. Bisogna infine ricordare che tale potenza viene utilizzata prevalentemente la notte, quindi non risulta un carico di punta della rete.

Durante la simulazione della rete in BT si sono riscontrate alcune problematiche in determinate situazioni di carico; per la risoluzione l'unica strada percorribile sarebbe effettuare un nuovo scavo e fare una nuova posa di cavi con sezione maggiore. Essendo però tale intervento piuttosto costoso, ancora per adesso, conviene caricare meno la rete e mantenere le linee attuali, in quanto non vi sarebbero grossi vantaggi rispetto alle spese sostenute.

Gli impianti di innevamento artificiale se osservati da un punto di vista ingegneristico, oltre che da un punto di vista prettamente energetico, risultano molto più complessi di quanto ci si possa aspettare. Nella progettazione infatti si devono tenere conto di molteplici aspetti afferenti alle varie discipline, come:

- l'ingegneria elettrica (per l'alimentazione);
- chimica e fisica e termodinamica (per quanto riguarda la formazione della neve e per la generazione dell'ozono);

- l'ingegneria idraulica (per il dimensionamento idraulico delle condutture e delle pompe);
- l'ingegneria elettronica ed automazione (per l'automatizzazione dei sistemi di controllo e telegestione).

Si vede quindi come anche solo il lavoro di progettazione, per non parlare della messa in opera, richiede non pochi sforzi progettuali e grande conoscenza di moltissime discipline tecniche.

Bibliografia

- [1] <http://it.wikipedia.org/wiki/Sopraffusione>
- [2] <http://www.neveitalia.it/PrevisioniMeteo/news/cannoni-da-neve-e-tecniche-di-innevamento-artificiale>
- [3] <http://www.technoalpin.com/it/informazioni/glossario/20.html>
- [4] http://www.snowathome.com/snowmaking_weather_tools.php
- [5] Catalogo Technoalpin
- [6] <http://www.snowstar.it/snowmaker.php/section/products/area/taurus>
- [7] <http://www.technoalpin.com/it/produkte/lance-v3/>
- [8] http://www.pnr.it/pdfpnr/manuali/ctg_sh06_it_2.pdf
- [9] <http://www.studioarnaboldi.it/it/Ozono.html>
- [10] http://www.bwt.at/NR/rdonlyres/EB652570-4FAC-42E7-83EA-FB2BEC462F83/0/bewazonvulw25700_200701.pdf
- [11] catalogo ABB motori
- [12] Vincenzo Cataliotti - Impianti Elettrici, Generalità componenti (ed. 2005)
- [13] Riccardo Bellocchio - Manuale degli impianti elettrici volume 1 (ed. 2001)
- [14] Vincenzo Cataliotti - Impianti elettrici volume 2 pg.513 tabella 22.2
- [15] http://www.valericonsulenza.eu/Italiano/Parametri_celle_ozonogene.pdf
- [16] Lorenzo Fellin - Complementi di impianti elettrici

Appendice A

Identificazione Cavi

Tabelle di designazione dei cavi

SISTEMA EUROPEO CENELEC HD361 (CEI 20-27)	SISTEMA ITALIANO CEI UNEL 35011 seconda edizione	SISTEMA TEDESCO (VDE)
Riferimento alle norme	Grado di flessibilità del conduttore	Grado di flessibilità del conduttore
H Cavo conforme a norme armonizzate A Cavo conforme a norme nazionali riconosciute N Cavo di tipo nazionale non conforme a norme IEC S Cavo non conforme ad una norma speciale J Cavo conforme a norme IEC	F Corda flessibile rotonda FF Corda extraflessibile rotonda R Corda rigida rotonda U Filo unico rotondo	Li Conduttore flessibile f Conduttore extraflessibile re Conduttore semirigido e Conduttore rigido in rame a filo unico
Tensione Nominale U₀/U	Materiali per isolante	Materiali per isolamento e guaina
00 < 100/100 V 01 >= 100/100 V e < 300/300 V 03 300/300 V 05 300/500 V 07 450/750 V 1 0,6/1 kV	E Polietilene E4 Polietilene reticolato G1 Gomma naturale e/o sintetica (temperatura caratteristica 85°C) G4 Gomma siliconica (temperatura caratteristica 180°C) G5 Gomma etilenepropilena (temperatura caratteristica 90°C) G7 Gomma etilenepropilena ad alto modulo (temp. Caratteristica 85°C) G10 Elastomero reticolato a basso sviluppo di fumi e di gas tossici corrosivi (temp. Caratteristica 90°C) R Polivinilcloruro qualità T11 e T12 (temp. Caratt. 70°C) R2 Polivinilcloruro qualità R2 (temp. Caratt. 80°C) R3 Polivinilcloruro qualità PVC/E (temp. Caratt. 105°C) Schermi e conduttori concentrici C Conduttore concentrico di rame H Schermo di carta metallizzata o in alluminio H1 Schermo a nastri o piattine o fili di rame H2 Schermo a treccia o calza di rame H3 Schermo a doppia treccia di rame	G gomma 2G gomma siliconica 3G gomma etilenepropilena 4G gomma etilenevinilacetato 5G gomma policloroprene 6G gomma clorosulfonato H zero alogeni X polivinilcloruro reticolato 2X polietilene reticolato Y polivinilcloruro di qualità comune Yu polivinilcloruro ritardante la fiamma Yw polivinilcloruro per t = 105 °C 2Y polietilene O2Y polietilene espanso 4Y poliammide 5Y politetrafluoroetilene 9Y polipropilene 11Y poliuretano 12Y elastomero poliesteri
Materiale per l'isolamento e guaina	Armature (Rivestimenti metallici)	Schermi
B Gomma etilenepropilena E Polietilene E2 Polietilene ad alta densità E4 Politetrafluoroetilene G Etilvinilacetato N Policloroprene N2 Policloroprene speciale N4 Polietilene clorosolfonato N5 Gomma nitrilica Q Poliuretano Q2 Polietilene tereftalato Q4 Poliammide R Gomma naturale S Gomma siliconica T Treccia tessile sull'insieme delle anime V Polivinilcloruro di qualità comune V2 Polivinilcloruro per temperature di 90°C V3 Polivinilcloruro per temperature superiori a 70°C V4 Polivinilcloruro reticolato X Polietilene reticolato	A Armatura a treccia (calza) metallica F Armatura a fili cilindrici d'acciaio N Armatura a nastri d'acciaio Z Armatura a piattina d'acciaio	C a treccia di rame (St) a nastro di alluminio CE a treccia di rame su ogni singola anima PIMF a nastro di alluminio su ogni singola coppia D a spirale fili di rame
Rivestimento metallico	Guaine (Rivestimenti non metallici)	Armature e tipo d'installazione
A Conduttore concentrico di alluminio C Conduttore concentrico di rame A7 Schermo di alluminio C4 Schermo a treccia di rame sulle anime cordate C5 Schermo a treccia di rame sulle singole anime C7 Schermo a nastri, piattine o fili di rame	E Guaina di polietilene qualità Ex e ed Ey E4 Guaina di polietilene reticolato, qualità E4 G Guaina di gomma naturale e/o sintetica qualità EM1 e Gy K Guaina di policloroprene qualità EM2, Kx e Kn M1 Guaina termoplastica a basso sviluppo di gas tossici e corrosivi M2 Guaina elastomerica reticolata a basso sviluppo di gas tossici e corrosivi R Guaina di polivinilcloruro qualità TM1, TM2 e Rz T Treccia tessile	Q a treccia di acciaio swa a fili di acciaio zincato (Z) armatura autoprotante A per uso esterno AB uso esterno per protezione dai fulmini J cavo per posa fissa JE cavo per posa fissa per industria elettronica L installazione in condotta S quadro di controllo/cavo segnale -J cavo con conduttore di terra (G/V) -JZ conduttori numerati con (G/V) -O cavo senza conduttore di terra -OZ conduttori numerati senza (G/V)
Armature	Forma dei cavi	
Z2 Armatura a fili d'acciaio Z3 Armatura a piattine d'acciaio Z4 Armatura a nastri d'acciaio Z5 Treccia a fili d'acciaio	O Cavo a forma rotonda D Cavo a forma appiattita X Due o più cavi unipolari riuniti ad elica visibile W Anime unite parallele con listello isolante intermedio.	
Forme e costruzioni speciali		
H Costruzione piatta di cavi divisibili H2 Costruzione piatta di cavi non divisibili H3 Cavo piatto con listello H5 Due o più cavi unipolari riuniti a spirale visibile		
Grado di flessibilità del conduttore		
F Flessibile per cavi per installazioni mobili (classe 5 IEC 228) H Extraflessibile per cavi per installazioni mobili (classe 6 IEC 228) K Flessibile per cavi per installazioni fisse (classe 5 IEC 228) R Rigido a corda rotonda U Rigido rotondo a filo unico Z Conduttore di forma e/o materiale speciale		

Figura A.1: Tabella designazione cavi

Appendice B

Codici ANSI

ANSI DEVICE NUMBERS

No.	DESCRIPTION
2	Time-delay
21	Distance
25	Synchronism-check
27	Undervoltage
30	Annunciator
32	Directional power
37	Undercurrent or underpower
38	Bearing
40	Field
46	Reverse-phase
47	Phase-sequence voltage
49	Thermal
50	Instantaneous overcurrent
51	AC time overcurrent
59	Overvoltage
60	Voltage balance
63	Pressure
64	Apparatus ground
67	AC directional overcurrent
68	Blocking
69	Permissive
74	Alarm
76	DC overcurrent
78	Out-of-step
79	AC reclosing
81	Frequency
85	Carrier or pilot-wire
86	Lock out
87	Differential
94	Tripping

Figura B.1: Tabella dei principali codici ANSI