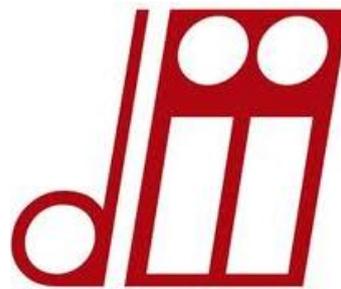
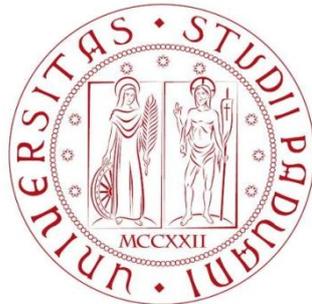


# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Elettrica



Tesi di laurea

## *Analisi elettrica e normativa riguardante la sottostazione elettrica della centrale di Naturno*

Relatore: Prof. Roberto Turri

Studente: Klaus Mutschlechner, Matricola 1012810

Anno Accademico 2012-2013

*Alla mia famiglia*

# INDICE

<b>1. Introduzione .....</b>	<b>5</b>
1.1. <i>Accenno storico</i> .....	6
1.2. <i>Le prime centrali dell'Azienda Energetica</i> .....	7
1.3. <i>Centrale idroelettrica di Naturno</i> .....	8
<b>2. Analisi della sottostazione elettrica .....</b>	<b>12</b>
2.1. <i>Caratteristiche strutturali della sottostazione</i> .....	15
2.1.1. <i>Struttura portante</i> .....	15
2.1.2. <i>Sistema di cablaggio in alta tensione</i> .....	18
2.1.3. <i>Posizionamento degli elementi elettrici della sottostazione</i> .....	20
2.1.4. <i>Componenti aggiuntivi della sottostazione</i> .....	22
2.2. <i>Elementi elettrici della sottostazione</i> .....	23
2.2.1. <i>Interruttori di potenza</i> .....	23
2.2.2. <i>Riduttori di misura</i> .....	26
2.2.3. <i>Sezionatori</i> .....	29
2.2.4. <i>Isolatori</i> .....	32
2.2.5. <i>Scaricatori</i> .....	33
2.2.6. <i>Impianto ad aria compressa</i> .....	33
<b>3. Norme elettriche .....</b>	<b>35</b>
3.1. <i>CEI 11-1</i> .....	36
3.2. <i>CEI 11-4</i> .....	37
3.3. <i>CEI 11-27</i> .....	38
3.4. <i>CEI 36-12</i> .....	41
3.5. <i>CEI 60099-5</i> .....	41
3.6. <i>CEI EN 60168</i> .....	42
3.7. <i>CEI EN 62271-100</i> .....	44
3.8. <i>CEI EN 50110-1</i> .....	45

<b>4. Adeguamento dei componenti elettrici.....</b>	<b>47</b>
4.1. Interruttori di potenza .....	47
4.1.1. Interruttori di potenza di tipo Live Tank .....	47
4.1.2. Interruttori di potenza di tipo Dead Tank .....	51
4.2. Sezionatori .....	53
4.2.1. Sezionatori a pantografo.....	53
4.2.2. Sezionatori a gomito verticale.....	55
4.2.3. Sezionatori ad apertura centrale.....	57
4.2.4. Sezionatore a gomito orizzontale .....	61
4.3. Trasformatori di misura.....	62
4.3.1. Trasformatore di misura voltmetrico .....	63
4.3.2. Trasformatore di misura amperometrico .....	65
4.3.3. Trasformatore combinato di tensione e corrente .....	67
<b>5. Controllo delle distanze .....</b>	<b>71</b>
<b>6. Conclusioni.....</b>	<b>74</b>
<b>7. Indice immagini e tabelle.....</b>	<b>75</b>
<b>8. Fonti di ricerca .....</b>	<b>77</b>
8.1. Bibliografia.....	77
8.2. Legislatura e Norme.....	77
8.3. Sitografia .....	78

# 1. Introduzione

Il lavoro che presento nasce da una forte motivazione: riuscire a dare una risposta al problema della sicurezza, dal punto di vista della pianificazione di una sottostazione elettrica, più precisamente quella della centrale di Naturno, situata non distante da Merano. Si iniziò a pensare a questa centrale nel periodo successivo alla seconda guerra mondiale ed è attualmente la più grande dell'Alto Adige per quanto riguarda la produzione annua di energia elettrica. Nel corso degli anni sono stati effettuati molti interventi di miglioramento e di sostituzione sia degli elementi della centrale che della sottostazione in modo da mantenere sempre ai massimi livelli la qualità e la quantità di energia prodotta ed immessa in rete. Per studiare le caratteristiche della sottostazione e dei molteplici elementi che la compongono ho ritenuto opportuno suddividere il mio lavoro in due diverse fasi. In un primo tempo ho analizzato con cura lo stato attuale della sottostazione. Per fare questo sono partito dagli schemi elettrici e geometrici dell'epoca analizzando dimensioni e caratteristiche dei vari elementi. Ho inoltre consultato gli antichi manuali cercando di estrapolare tutte le informazioni necessarie per descrivere con esattezza il funzionamento dell'impianto di sottostazione. Effettuando diverse visite alla sottostazione ho successivamente accertato lo stato degli elementi che la compongono: interruttori, sezionatori, trasformatori di misura, ma anche i contatti, la palificazione e l'impianto di messa a terra. In un secondo tempo, invece, ho cercato di sostituire i componenti elettrici non più attuali con elementi di nuova generazione. I componenti danneggiati, rovinati o semplicemente obsoleti sono stati analizzati sul campo e inseriti in un piano di rinnovamento del piazzale della sottostazione. Ho studiato le Norme Cei che descrivono centrali di questo tipo e dimensioni in modo da aggiornare le distanze di sicurezza, che in alcuni punti della sottostazione non erano più a norma di legge. Infine sono stati innalzati tutti i componenti principali della sottostazione quali i vari interruttori, sezionatori, trasformatori di misura e scaricatori in modo da permettere il passaggio al di sotto di essi senza incorrere in rischi di alcun tipo. Tutto lo studio è stato effettuato considerando solamente le caratteristiche e le problematiche tecniche dei componenti elettrici e non guardando ai costi effettivi e all'installazione dei medesimi.

Ciò che ha ispirato questo elaborato, è stata senza dubbio la curiosità di lavorare presso una delle aziende più importanti della mia regione studiando e cercando di trovare una soluzione ai problemi riscontrati durante la stesura della presente tesi in maniera autonoma. L'aver preso coscienza degli aspetti che caratterizzano il settore della produzione di energia elettrica lavorando all'interno della centrale e della sottostazione è sicuramente la conclusione ideale di questi anni di studio.

## ***1.1 Accenno storico***

L'Azienda Energetica delle città di Bolzano e di Merano fu creata nell'epoca in cui ebbe inizio il trasporto dell'energia a grandi distanze. Il processo si sviluppò a partire dal 1891 quando all'esposizione di Francoforte il mondo tecnico intuì la possibilità di trasportare a grandi distanze, ed in modo economicamente favorevole, l'energia elettrica ricavata dalle forze idrauliche. Questa possibilità si concretizzò grazie alla corrente trifase ed alla corrente alternata ad alta tensione. Per i tecnici e gli industriali di allora questa rivoluzione fu un forte impulso per cercare di cambiare la situazione energetica di allora, di certo non rosea. Anche le città di Bolzano e Merano studiarono contemporaneamente in quell'epoca, benché ognuna per conto proprio, la possibilità di sfruttare le forze idrauliche delle vallate intorno alle città mediante impianti idroelettrici, con lo scopo di illuminare strade ed edifici e per sfruttare al meglio la forza motrice che l'energia elettrica consentiva.

Il primo studio effettuato, relativo alla costruzione di un impianto idroelettrico in Alto Adige, fu però realizzato nel 1888, ovvero negli anni antecedenti all'esposizione di Francoforte. Questo consisteva in un progetto, sviluppato da un'azienda svizzera, che prevedeva lo sfruttamento della potenza idraulica del torrente Talvera presso Monte San Giovanni, e si realizzava con l'imbrigliamento del fiume presso lo Johanneskofel. Il progetto non ebbe però seguito in quanto si sarebbe dovuto sospendere l'esercizio dell'impianto ad ogni piena del fiume Talvera.

L'inizio dell'era elettrica in Italia partì nel 1882, quando il "Comitato per l'utilizzazione del sistema elettrico secondo Edison" dimostrò in uno degli edifici più importanti del Nord Italia, la scala di Milano, la forza illuminante della lampada ad incandescenza. L'anno successivo venne installata la prima illuminazione pubblica nella zona del Duomo del capoluogo lombardo.

Ma la luce elettrica produsse cambiamenti ben maggiori di quelli immaginati dall'uomo nella sua prima euforia. Non si era più costretti a riunirsi attorno all'unica fonte di luce in casa, la lampada a petrolio. La possibilità di usare individualmente e indipendentemente diversi locali cambiò certe abitudini di vita e le giornate divennero molto più lunghe; la luce vinse sull'oscurità e l'uomo iniziò ad approfittarne.

Nelle città di Bolzano e Merano operavano ditte private che, fornendo il gas, dominavano il mercato con capitali privati attraverso contratti a lunga scadenza. Queste aziende cercarono dapprima di difendersi dalla concorrenza che l'energia elettrica presentava, successivamente adottarono saggiamente anch'esse la nuova tecnologia. La programmazione ed i lavori preliminari per la costruzione dell'azienda "Etschwerke" si protrassero per anni. Il merito di aver riconosciuto il segno dei tempi e di aver prolungato con tenacia la collaborazione spetta ai sindaci delle due città, dott. Julius Perathoner e dott. Roman Weinberger.

La nascita vera e propria dell'Azienda "Etschwerke" reca la data del 4 marzo 1897, giorno in cui le amministrazioni comunali delle due città altoatesine decisero di avvalersi della nuova tecnologia. Lo scopo dell'unione era quello di associarsi nella realizzazione e gestione di una centrale elettrica che in località Tel, subito al di sopra Merano, avrebbe sfruttato le acque del fiume Adige per fornire energia elettrica, in particolare per la luce e per la forza motrice, alle due città di Merano e Bolzano e ai rispettivi circondari.

## 1.2 *Le prime centrali dell'Azienda Energetica*

Per più di un verso la morfologia alpina aveva costituito un ostacolo al progresso tecnico e alla concorrenzialità economica della regione, ma con l'avvento dell'elettricità l'abbondanza di corsi d'acqua e ovviamente di buoni dislivelli si rivelarono davvero vantaggiosi da diversi punti di vista. La prima centrale che venne costruita fu quella di Tel, che entrò in funzione a pieno regime il 5 aprile dell'anno 1898. L'energia elettrica di tale impianto venne inizialmente trasportata attraverso una linea aerea nella città di Merano e nel capoluogo attraverso un cavo interrato. Successivamente alla linee in cavo venne preferita una linea aerea di 10kV. Bolzano e Merano si trasformarono in moderne città dotate di luce elettrica, strade asfaltate, un acquedotto cittadino, una rete fognaria, ampi parchi ed edifici moderni. Anche le attuali tranvie elettriche di Merano - Maia Alta, Bolzano - Gries e Bolzano - Renon appartengono alla storia dell'Azienda, avendo partecipato in modo determinante alla loro costruzione e gestione. Ma la potenza installata e prodotta nella centrale di Tel in quegli anni non avrebbe mai e poi mai soddisfatto completamente la continua crescita della richiesta di energia. Nel 1908 vennero infatti sfruttate anche le acque del torrente uscente dalla val Senales, per la costruzione di un nuovo impianto di produzione elettrica: il suo collaudo risale al gennaio-febbraio 1912 e rappresenta ancora oggi un'opera degna di studio. Negli anni dell'immediato dopoguerra, il continuo aumento del fabbisogno di energia elettrica impose la ricerca di nuove opportunità di produzione. Ed ecco che iniziò la nascita della centrale di Naturno; un impianto di dimensioni e caratteristiche eccezionali fin da subito.

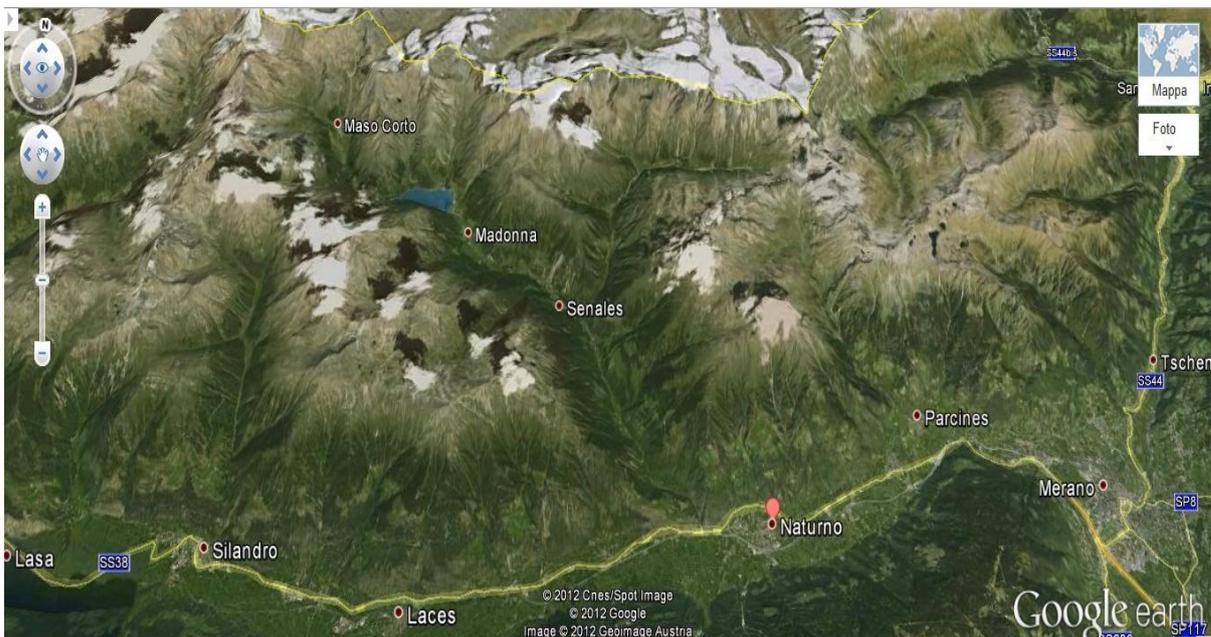


Figura 1: Immagine satellitare di Naturno e dintorni

### ***1.3 Centrale idroelettrica di Naturno***

L'Azienda Elettrica delle città di Bolzano e Merano decise di costruire una centrale idroelettrica nei pressi di Naturno cercando in questo modo di sfruttare il più possibile le acque del bacino del Rio Senales, affluente di sinistra del fiume Adige. La nascita e la storia della centrale verranno descritte successivamente analizzando gli elementi che fanno parte di quest'opera. Gli elementi sono i seguenti:

- Un serbatoio di testa, realizzato con una diga in terra che sbarrava la Val Senales a quota 1700m circa;
- Una galleria di derivazione in pressione, che si sviluppa sulla sponda sinistra della stessa Val Senales e nella quale vengono direttamente immerse anche le acque captate dagli affluenti di Fosse, Grava, Prevalle, Mastaun e Pinalto;
- Un pozzo d'oscillazione in località Montesole;
- Una condotta forzata, costituita da un'antica tubazione metallica, installata quasi completamente all'aperto;
- Una centrale situata in Val Venosta, presso l'abitato di Naturno;
- Un canale di restituzione, che scarica le acque nel fiume Adige.

#### ***La diga di Vernago***

Sul finire degli anni Trenta la necessità di reperire ulteriori quantità di energia era aumentata notevolmente. Alcune cifre riguardanti quegli anni, con proiezione negli anni successivi sono le seguenti: nel 1940 l'energia prodotta dall'Azienda Elettrica ammontava a 185.892MWh ma quella acquistata a 21MWh; nel 1942 l'energia autoprodotta si sarebbe mantenuta stazionaria a 185.302MWh ma quella acquistata invece sarebbe salita a ben 40.116MWh. Era palese che la quantità di energia prodotta da parte dell'Azienda Elettrica era ormai ampiamente insufficiente e quindi si sarebbe dovuto produrre di più costruendo un altro impianto. Erano per questo stati fatti sondaggi nell'alta Val di Fosse per la costruzione di una diga che avrebbe alimentato un impianto idroelettrico di grosse dimensioni alla confluenza del Rio Fosse con il Rio Senales. La guerra paralizzò gli studi e le successive costruzioni. Cessate le ostilità e terminati i bombardamenti l'Azienda si trovò a dover ricostruire quanto era stato distrutto e a guardare al futuro con la diga di Vernago, la cui nuova realizzazione avrebbe comportato un enorme investimento di capitali, personale e mezzi. Nel 1947 vennero avviati i primi sondaggi per la costruzione della diga, che nel frattempo era stata localizzata nell'alta Val Senales. Già in questa fase venne presa una decisione innovativa: si sarebbe costruita una diga non in cemento ma in terra, sebbene gli esempi del genere in Italia ed in Europa fossero scarsissimi. Questa particolare soluzione garantiva qualità straordinarie ma comportava non poche difficoltà tecniche. Secondo le prime previsioni si poteva realizzare un serbatoio di 11.500.000m<sup>3</sup> con una diga alta 30m. Successivamente il Servizio dighe del ministero LLPP consentì di alzarla a 40m con un invaso di 15.700.000m<sup>3</sup> e infine a 64m, portando la capacità a 43.000.000m<sup>3</sup>. In seguito venne avviata la costruzione della diga vera e propria, che fu completata otto anni più tardi (non mancò un'interruzione dovuta a difficoltà economiche). La tenuta idraulica dei terreni di fondazione è stata assicurata tramite un taglio in calcestruzzo che si immerge nel sottosuolo per circa 30m. Le opere di scarico sono costituite da una galleria

principale a sezione circolare del diametro di 6m. In questa galleria confluiscono gli scarichi di fondo e di superficie, atti a smaltire complessivamente una portata di  $600\text{m}^3/\text{sec}$ . La seconda fase che si concluse nel 1966 vide l'innalzamento della diga di ulteriori 24m e l'aumento della capacità utile del serbatoio a  $43.000.000\text{m}^3$  che consentivano di portare l'energia accumulabile a 114 milioni di kWh.



**Figura 2:Diga di Vernago**

### ***Galleria di derivazione***

La galleria di derivazione è in pressione e la sua struttura è di forma circolare. Si sviluppa inizialmente per un tratto di 700m all'interno della roccia della montagna alla destra del Senales, quindi dopo aver attraversato la stessa Val Senales con una tubazione metallica posta all'aperto, essa s'inoltra nel versante sinistro per toccare dopo un percorso di 5,8km la Val di Fosse; questa viene superata attraverso un ponte-tubo. La galleria prosegue successivamente per altri 8,5km sempre alla sinistra del Senales, fino al pozzo di oscillazione in località Montesole. Quest'ultima tratta è servita da quattro finestre. Il diametro netto della galleria è 2,70m, ad esclusione della tratta iniziale sulla sponda destra e per le parti metalliche: il diametro in questi tratti è infatti di 2,40m, la pendenza media è del 2,3% e la massima portata convogliabile è di  $18\text{m}^3/\text{sec}$ . Nella parte terminale della derivazione troviamo la massima pressione di esercizio: 10atm. Lo scavo della galleria non fu certo un lavoro semplice, si incontrarono infatti innumerevoli difficoltà durante tutto il periodo dei lavori. La galleria venne rivestita in calcestruzzo armato in tutti i tratti della montagna dove la consistenza della roccia è più friabile, mentre negli altri tratti è rivestita in cemento usuale. Nella condotta confluiscono direttamente le acque del Rio di Fosse, del Rio Grava, del Rio Mastaun e del Rio Pinalto. Al termine della galleria di derivazione troviamo il pozzo piezometrico.

## ***Pozzo piezometrico d'oscillazione***

Il pozzo d'oscillazione venne costruito nella zona di Montesole, all'estremità della galleria in pressione. È costituito da una canna verticale alta 100m ed ha una sezione circolare del diametro di 3m rivestita in cemento armato. La canna è collegata inferiormente alla galleria per mezzo di una canna di alimentazione formata da una galleria anulare lunga 264m e dalla capacità di 1500m<sup>3</sup> anch' essa rivestita in cemento armato. Superiormente il pozzo sfiora nella camera di espansione a pianta rettangolare, lunga 90m e larga 6,40 dalla capacità di 1800m<sup>3</sup>. Il dimensionamento idraulico del pozzo d'oscillazione è stato eseguito tenendo conto delle oscillazioni più gravose d'esercizio.

## ***Condotta forzata***

Come ogni centrale idroelettrica dotata di dislivelli elevati, anche questa è munita di una condotta forzata che porta l'acqua alla centrale idroelettrica di Naturno. La condotta forzata, interamente metallica, è murata in roccia per un primo breve tratto a forte pendenza fino alla camera delle valvole ricavata in caverna nella quale sono alloggiati due valvole a farfalla. Corre quindi libera in galleria orizzontale, per circa 100m, per uscire poi all'aperto, ove riprende a scendere lungo il fianco montano fino in prossimità della Centrale. Qui torna ad addentrarsi in una breve galleria a forte pendenza per raggiungere la caverna del distributore. Lo sviluppo complessivo della tubazione è di circa 2000m e il diametro, inizialmente di 2400mm prima della camera delle valvole, si riduce a 2000mm, 1900mm, 1800mm nei due tronchi all'aperto di pressoché pari lunghezza. I tubi sono cerchiati nella parte superiore del diametro di 2400mm, lisci nella parte intermedia e blindati a caldo nella parte inferiore. Questi sono appoggiati su selle e sono ancorati a blocchi di calcestruzzo nei punti di vertice. Ogni tronco della tubazione dispone di un giunto di dilatazione. Il distributore è bloccato con calcestruzzo in una caverna scavata in roccia. Esso forma sei robuste diramazioni del diametro di 700mm destinate ad alimentare le tre singole turbine. Il peso complessivo della tubazione non è certo indifferente, considerando ovviamente che la sua lunghezza è di oltre 2 chilometri: compreso il distributore è di circa 3000 tonnellate.

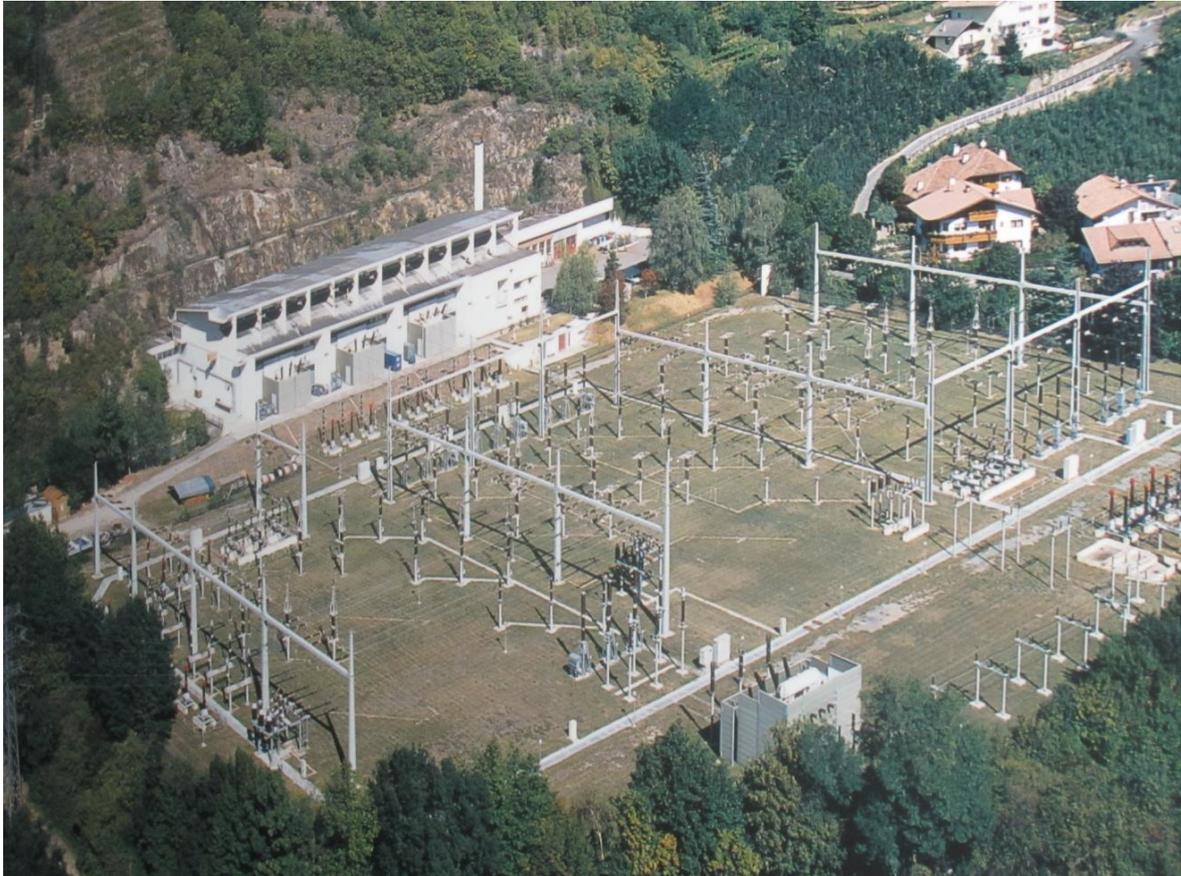


**Figura 3: Condotta forzata**

## ***Centrale idroelettrica***

La centrale realizzata nei pressi di Naturno (i lavori furono appaltati nell'agosto del 1960 e l'entrata in esercizio era inizialmente prevista per il 1963), è situata su un gradino di roccia, ricavato mediante brillamento ed asporto di 30.000m<sup>3</sup> di materiale. All'interno dell'enorme centrale furono inizialmente

installati due gruppi ad asse orizzontale, ciascuno della potenza di 66.500kVA. Ciascun gruppo era costituito da un generatore trifase sincrono e da due giranti Pelton calettate alle estremità dell'albero, ognuna con proprio ugello. Fu inoltre predisposto quanto necessario per l'installazione di un terzo gruppo in quanto l'acqua a disposizione della centrale era davvero molta. Questo terzo gruppo di produzione entrò in funzione nel 1986 e consentì la produzione di ulteriori 110MW elettrici.



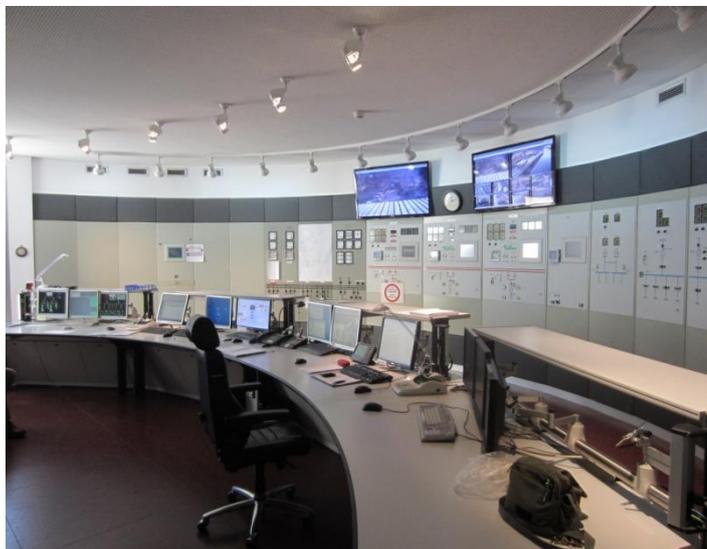
**Figura 4: Centrale elettrica di Naturno**

I dati tecnici riassuntivi dell'impianto idroelettrico di Naturno e di proprietà Azienda Elettrica sono i seguenti:

- salto totale medio:.....1.135m;
- portata massima:.....18m<sup>3</sup>/sec;
- potenza massima:.....175MW;
- potenza installata:.....228MW;
- produzione media annua:.....300.000MWh.

Il collaudo della centrale avvenne nel 1968 ma già nel 1963 la centrale di Naturno cominciò a produrre energia in quantità via via crescente, man mano che il serbatoio di Vernago veniva gradualmente riempito. L'impianto di Naturno ridusse da un canto la disponibilità idrica dell'altra centrale di proprietà dell'Azienda Elettrica, quella di Senales, limitandone il bacino imbrifero, ma aumentò grandemente, raddoppiandola, la

produzione elettrica dell'intero gruppo di centrali, consentendo inoltre un equilibrio stagionale ottimale. E se per la prima metà del secolo la produzione dell'azienda avvenne principalmente grazie alla sua prima centrale costruita, la centrale di Tel, nella seconda metà fu la centrale di Naturno ad assicurare la maggior parte dell'energia elettrica dell'Azienda. Non solo, la produzione di corrente divenne tanto elevata da rendere necessaria la vendita di parte di questa energia all'Enel. Di conseguenza si realizzò una linea di collegamento a 220kV tra la centrale stessa e la stazione elettrica ENEL di Lana. Nel 1942 la quantità di energia autoprodotta dall'Azienda Energetica ammontava a 185.382MWh. Nel 1964 questa salì a ben 448.817MWh (di cui 292.216MWh dall'impianto di Naturno). La produzione annua media negli anni recenti è stata di 457.126MWh (di cui 296.536MWh dall'impianto di Naturno).



**Figura 5: Sala di controllo**

## 2. Analisi della sottostazione elettrica

La prima parte del lavoro svolto durante lo stage presso l'Azienda Energetica delle città di Bolzano e Merano ha riguardato lo studio della sottostazione elettrica della centrale di Naturno. Questo studio comprende l'analisi della locazione della centrale, delle dimensioni della sottostazione e lo studio degli elementi elettrici che la caratterizzano.

Il lavoro è stato svolto in diverse fasi di studio

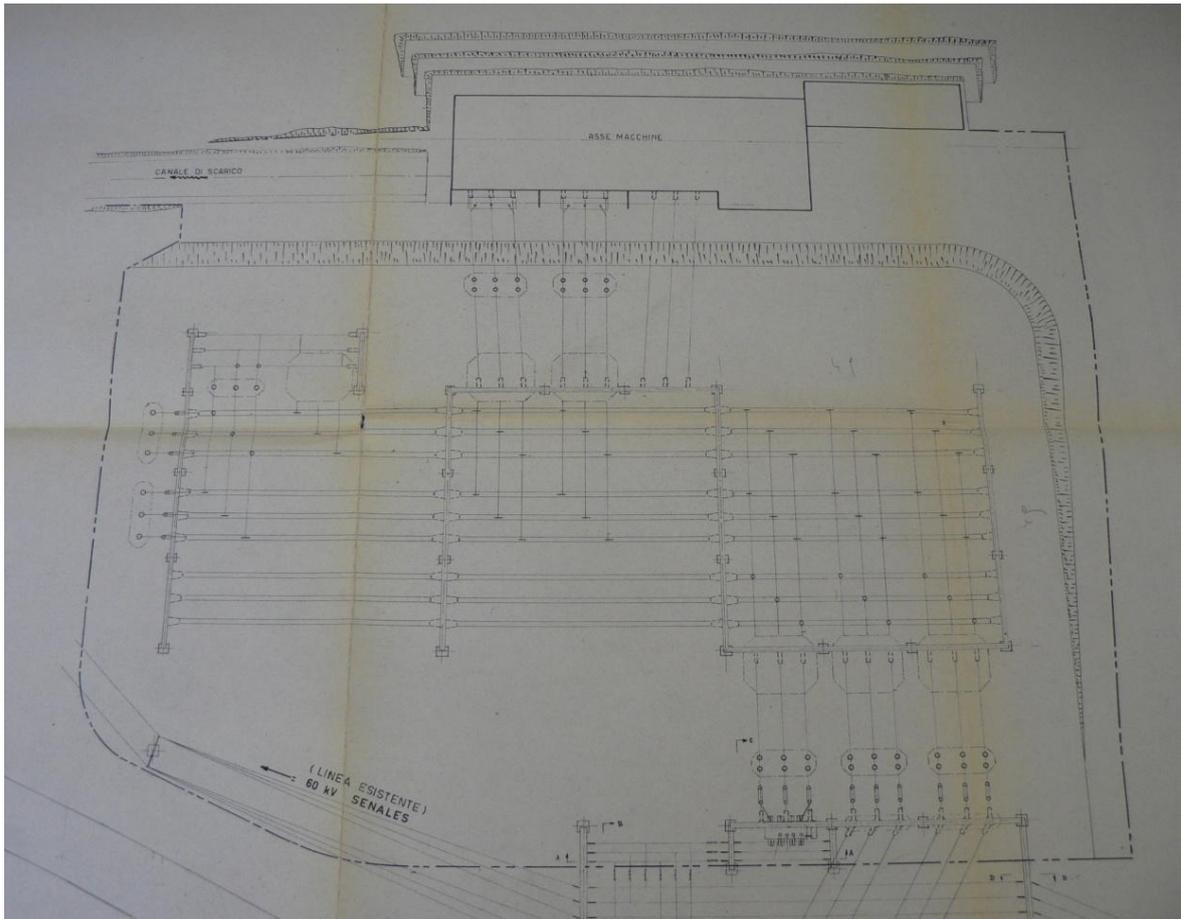
Inizialmente sono stati analizzati gli archivi storici riguardanti la centrale idroelettrica, che ricordiamo produce annualmente 300.000MWh. Partendo da piante esclusivamente in forma cartacea risalenti all'anno 1962, si sono studiate le caratteristiche della sottostazione e si è giunti alla conclusione che per effettuare un lavoro a regola d'arte fosse meglio ricreare gli schemi elettrici e le piante in formato digitale. Per effettuare tutto ciò si è scelto di usare il programma grafico AutoCad. Successivamente si sono analizzati i componenti elettrici ed ausiliari presenti, cercando di capire il perché si scelsero di utilizzarne alcuni a discapito di altri. Tutto ciò non sarebbe stato possibile senza frequenti visite alla centrale ed alla sottostazione, confrontando le caratteristiche tecniche ed i risultati ottenuti con le analisi sul campo. Questa prima fase di lavoro ha richiesto diverse settimane, ma il risultato ottenuto è l'alternativa digitale ed attuale ai vecchi archivi e delle piante cartacee.

**Figura 6: Immagine aerea della sottostazione**

La sottostazione elettrica della centrale di Naturno, funzionante ad una tensione di 220kV è stata costruita nella zona compresa tra la centrale e la strada. Grazie al notevole spazio a disposizione per la costruzione della sottostazione, 120x170m, è stato possibile disporre la struttura dell'impianto diagonalmente. Questo ha permesso una disposizione chiara della sottostazione. Sull'asse est-ovest sono stati allestiti sei settori suddivisi nel seguente modo: tre settori di derivazione per la linea aerea, due settori distinti per i trasformatori ed una derivazione per l'accoppiamento. Avanzano ovviamente due settori che sono lasciati liberi in caso ce ne fosse bisogno in futuro, sono quindi di riserva.



La pianta successiva è un disegno del progetto originale del piazzale esterno della sottostazione risalente al 1962. Nel corso di questo elaborato di tesi verranno spesso proposte le piante originali della sottostazione ed i componenti elettrici presenti in essa.



**Figura 7: Pianta originale della sottostazione elettrica**

La sottostazione riesce a portare in una sola linea a tensione nominale compresa fra 220kV e 240kV, tutto il carico elettrico producibile dalla centrale idroelettrica ed ad erogare verso la rete la massima potenza. Le sbarre, le linee e l'accoppiamento sbarre fanno parte della Rete Elettrica Nazionale Italiana RTN gestita da Terna, possiamo quindi affermare che la sottostazione è suddivisa in tre differenti zone di competenza Terna: la prima zona riguarda le sbarre con i relativi sezionatori di sbarra, la seconda zona di competenza Terna è relativa alle linee di interfaccia con altre stazioni remote e la terza riguarda gli stalli di accoppiamento sbarre. Nelle successive immagini si evidenzia la struttura della sottostazione elettrica della centrale: l'uscita dai tre trasformatori d'alta tensione, la zona di destra che caratterizza la connessione con le altre centrali del gruppo Azienda Energetica e la zona di sinistra, fondamentale per la distribuzione dell'energia e l'accoppiamento con la rete elettrica nazionale.

Come ogni sottostazione, anche quella di Naturno è costituita dai seguenti elementi che la caratterizzano: i trasformatori, gli interruttori di potenza, i riduttori di misura, i sezionatori rotativi e a pantografo e ovviamente gli scaricatori. All'interno della centrale idroelettrica è inoltre presente un impianto ad aria compressa necessario per la manovra degli elementi. Tutti questi sono facilmente individuabili nella pianta della centrale e vengono gestiti in prima linea da Terna. L'esecuzione delle manovre di smistamento

necessarie vengono eseguite dal personale dell'Azienda Energetica su autorizzazione di Terna, questo in quanto nessuna delle operazioni da eseguire sugli elementi dell'impianto è telecomandabile a distanza.

Vengono successivamente elencate le caratteristiche della struttura e le particolarità tecniche principali della sottostazione.

1. Struttura:
  - Tre stalli di interfaccia per tre differenti gruppi di produzione idroelettrici;
  - Due stalli di trasformazione per la rete di distribuzione locale;
  - Due stalli di linea.
2. Potenza e capacità di trasporto:
  - Due trasformatori da 100MVA;
  - Linee elettriche: 2x600A;
  - Capacità di produzione: 175MW/0,8cos $\phi$  → 218,75MVA, 570A.
3. Impianto sicurezza:
  - Trasformatori: protezione di massima corrente ammissibile;
  - Stalli di generazione: protezione di massima corrente, minima tensione, riserva distanziometrica;
  - Sistema di interbloccaggio contro errori di manovra;
  - Taratura adeguata dei sezionatori rispetto agli interruttori;
  - Apertura "visibile" dei sezionatori;
  - Interblocco tra accoppiamento sbarre e gli altri stalli;
  - Protezione differenziale delle sbarre;
  - Protezione contro mancata apertura MMAI.
4. Impianti ausiliari:
  - Impianto a corrente continua per i circuiti di comando, in origine 220V in corrente continua e da alcuni anni sostituito con impianto 110V sempre in corrente continua;
  - Impianto ad onde convogliate: per ogni linea a 220KV almeno una fase è accessoriata con condensatore di accoppiamento e bobina di sbarramento per accoppiamento dei segnali a stazione remota tramite onde convogliate. Viene specialmente utilizzato per i sistemi di protezione e pilotaggio.

## ***2.1 Caratteristiche strutturali della sottostazione***

Uno dei lavori principali svolti in questo elaborato di tesi riguarda la creazione digitale di tutte le piante della sottostazione, si ricorda che le piante dalle quali si è partiti per studiare e descrivere la centrale erano piante originali. Leggendo le misure e le dimensioni dai disegni originali, e dopo innumerevoli misurazioni effettuate sul luogo si è potuto constatare che i nuovi disegni corrispondono perfettamente alla realtà. Verrà successivamente analizzata la parte fondamentale che caratterizza la struttura del piazzale della sottostazione.

### ***2.1.1 Struttura portante di sostegno***

La struttura portante della sottostazione della centrale idroelettrica di Naturno è composta da una palificazione e da portali di collegamento orizzontale ai quali sono fissati tutti i componenti elettrici aerei, quali gli isolatori e le linee di trasporto dell'energia elettrica. All'interno della sottostazione sono presenti 27

pali di sostegno. Si tratta di elementi in acciaio di una determinata altezza la quale riesce a sostenere il circuito ad una quota non pericolosa per gli addetti ai lavori in caso di manutenzione. La lunghezza dei piloni di sostegno è di 16,5m e sono tutti montati su basi in cemento per garantirne la stabilità. Come si osserva dalla pianta, i pali non sono equidistanti fra loro ma posizionati in base alla lunghezza delle travi orizzontali di sostegno. Queste servono principalmente per il sostegno degli isolatori che a loro volta hanno il compito di isolare elettricamente la palificazione e sostenere le linee elettriche.

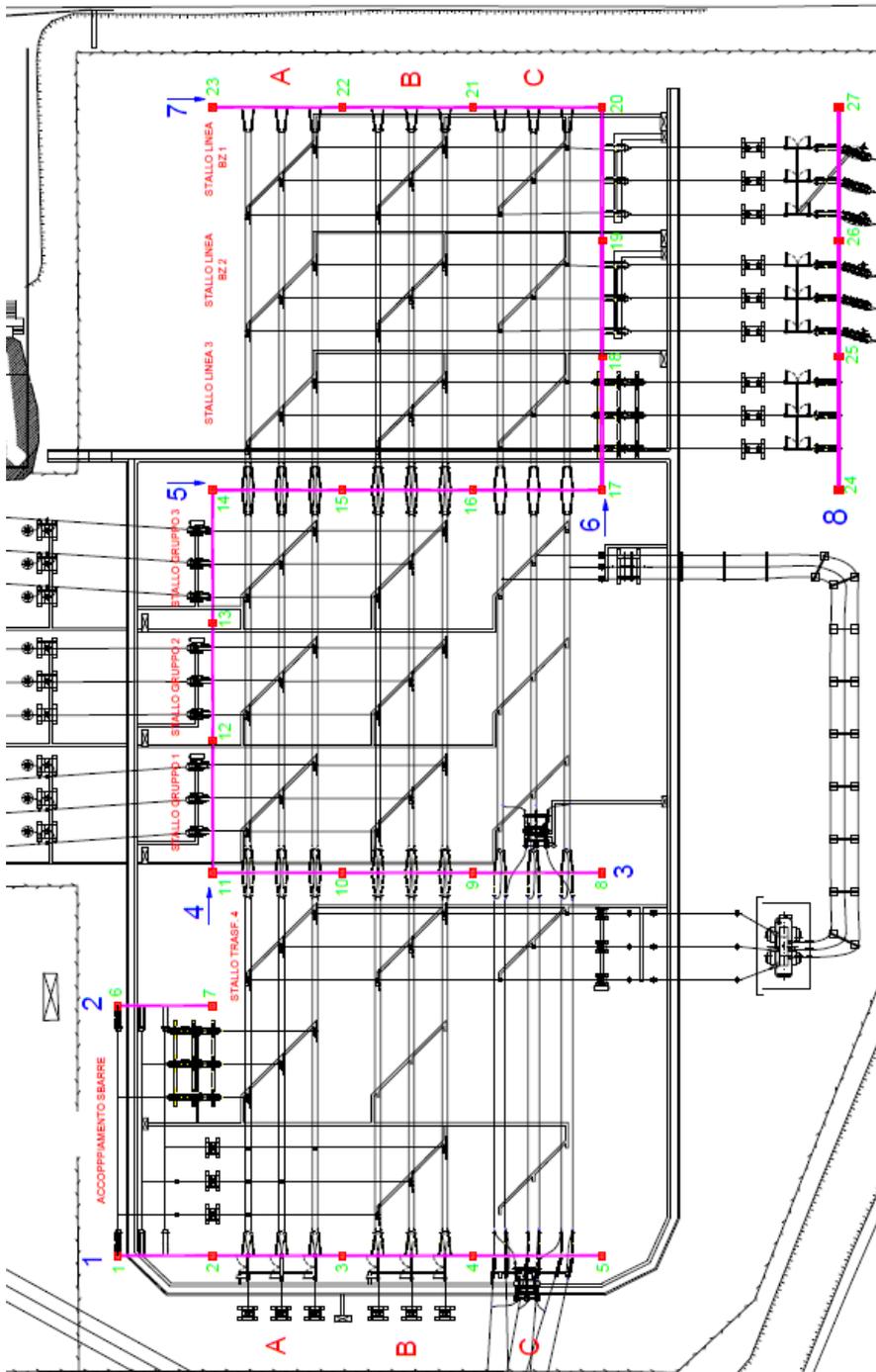


Figura 8:Struttura portante della sottostazione

In seguito verranno analizzati i portali portanti della sottostazione:

- 1) Osservando dall'alto la pianta della sottostazione, la trave numero 1 è posizionata all'estrema sinistra del piazzale, possiede una lunghezza complessiva di 61,5m, è posizionata ad un'altezza da terra di 12,5m ed è sorretta da cinque pali di sostegno. La trave orizzontale tra i piloni 1 e 2 presenta una lunghezza di 12m mentre le travi tra i pali 2-3, 3-4 e 4-5 sono lunghe 16,5m. Questa maggiore lunghezza è dovuta al fatto che al di sotto di esse sono presenti elementi elettrici e proprio per questo motivo si richiede una maggiore distanza tra asta ed asta.
- 2) La trave numero 2 è la più corta della sottostazione e collega tra di loro i pali numero 6 e 7. Con i suoi 12m presenta la stessa lunghezza del primo tratto della trave numero 1, questo perché come evidenziato dallo schema circuitale, la linea elettrica tra le due travi è collegata solo orizzontalmente.
- 3) Dal palo numero 8 parte la trave numero 3 che collega i piloni 9, 10 e 11. La trave è composta da tre parti di lunghezza pari a 16,5 metri ed è lunga complessivamente 49,5m. Diversamente dai portali orizzontali dello stallo descritti finora, la trave numero 3 è posizionata ad una quota inferiore; in questo caso la trave si trova a 10m di altezza perché sotto di essa non sono presenti elementi elettrici.
- 4) La trave numero 4 parte dal palo numero 11, lo stesso sul quale finisce la trave numero 3 e procede da est ad ovest all'interno della struttura. Questo portale non possiede la stessa lunghezza di quello appena osservato ma è composto da due travi di lunghezza pari a 17m mentre quella centrale è lunga solamente 15m. Diversamente dalla trave precedente, la numero 4 è posizionata ad un'altezza di 12,5m dal suolo. Essa è sorretta e collegata dai pali 11, 12, 13 e 14 che ricordiamo possiedono un'altezza di 16,5m. Il portale 4 è di fondamentale importanza perché collegato ad esso ci sono le linee elettriche principali provenienti dai tre trasformatori 10/220kV.
- 5) Parallela alla trave 3 è posizionato il portale numero 5 che è collegato alla trave numero 4 attraverso l'asta numero 14. L'altezza da terra sulla quale è montato è di 10m e possiede con la trave numero 3 anche la caratteristica di avere una lunghezza di 49,5m. Dalla pianta si osserva che le distanze tra i sostegni 14-15, 15-16 e 16-17 è uguale e pari a 16,5m. Questo portale è praticamente identico alla trave numero 3.
- 6) Posizionata da est ad ovest e montata tra i piloni 17, 18, 19 e 20 è posizionata la trave numero 6 di lunghezza pari a 49,5m. Questa trave è montata ad un'altezza di 12,5 metri e le distanze tra palo e palo sono di 16,5 m, le stesse che caratterizzano la trave numero 4.
- 7) Il portale 7 è quello che insieme alle travi 3, 4, 5 e 6 chiude la struttura ad S rovesciata facile da osservare nella pianta creata in CAD. Le caratteristiche tecniche di questa trave dello stallo sono identiche alle travi 3 e 5 ed è anche posizionata parallelamente ad essa. Questa trave è situata sulla destra del piazzale della sottostazione ed è il terminale di chiusura del circuito elettrico all'interno della sottostazione. È posizionata ad un'altezza dal suolo di 10m, è lunga 49,5m e suddivisa in tre parti equidistanti tra di loro che collegano i sostegni 20, 21, 22 e 23.
- 8) I pali 24-27 sostengono la trave numero 8 ed è l'ultimo portale dello stallo presente all'interno del piazzale della sottostazione della centrale idroelettrica di Naturno. Come si osserva dalla pianta,

esso è posto parallelamente alla trave numero 6 e quindi alla struttura ad S analizzata precedentemente. La distanza con la struttura ad S è di 30m e la trave è posta ad un'altezza di 12,5m dal suolo. La caratteristica principale della trave è quella di essere il punto di partenza delle linee elettriche principali che alimentano la rete.

Osservando la pianta CAD, si osserva che la struttura portante della sottostazione copre tutto il piazzale esterno della centrale grazie ad uno studio accurato della distribuzione dei pali di sostegno e dei portali di collegamento. È inoltre importante sottolineare che non circola corrente elettrica all'interno della struttura portante: i cavi delle linee elettriche sono collegati con doppie catene di isolatori e la struttura stessa è ovviamente ricoperta da un parafulmine e messa a terra in maniera adeguata. La sicurezza da questo punto di vista è quindi sempre garantita.

### ***2.1.2 Sistema di cablaggio in alta tensione***

In questo paragrafo viene analizzato l'intero circuito elettrico della sottostazione o più precisamente, tutto il cablaggio in alta tensione caratterizzante la sottostazione della centrale. Dalla pianta realizzata in CAD è facilmente intuibile che le tensioni presenti sono due: quella principale a 220kV e quella secondaria di 66kV gestita dall'Azienda Energetica ed utilizzata per alimentare l'intera rete locale. Quest'ultima è ovviamente collegata con le altre due centrali di gestione Azienda Energetica, quella della centrale di Senales e quella in località Tel.

Per descrivere completamente il cablaggio in alta tensione della sottostazione è stato suddiviso il piazzale in tre settori distinti, sulla pianta rispettivamente evidenziati in rosso e numerati nella parte bassa con 1, 2 e 3.

Le linee principali in alta tensione partono dai tre trasformatori situati esternamente alla centrale. Questi trasformano la tensione di 10kV che giunge dai generatori elettrici in un'alta tensione di 220kV. Da ogni fase del trasformatore parte una linea in corda 450/40mm<sup>2</sup> in alluminio/acciaio che si va a collegare, sempre nel settore due della sottostazione alle due sbarre trasversali A e B. Queste sbarre passano da sinistra a destra del piazzale della sottostazione: sono le due sbarre principali di tutta la sottostazione in quanto di fondamentale importanza per quanto riguarda il controllo e la gestione della circolazione di corrente elettrica. Sono costituite da due fasi di 300/50mm<sup>2</sup> in alluminio/acciaio, si è scelta la configurazione a cavi paralleli per ogni fase in modo da consentire una massima gestione dei flussi di corrente. Parallelamente alle sbarre A e B è montata la sbarra C. Il cablaggio di quest'ultima è lo stesso osservato sulle sbarre A e B, ma rispetto ad esse ha caratteristiche molto differenti: nel settore uno viene prelevata corrente elettrica dagli stelli A e B attraverso dei conduttori elettrici in alluminio/acciaio di 450/40mm<sup>2</sup> per poi passare attraverso un trasformatore 220/66kV e successivamente alimentare la sbarra C tramite un cavo in alluminio di 31mm di diametro. Si nota inoltre che nel primo settore il compito principale del cablaggio è quello di collegare elettricamente le sbarre in alta tensione, attraverso un accoppiamento sbarre. La caratteristica fondamentale della sbarra C consiste nell'isolamento elettrico tra il settore due e tre: i due settori sono completamente separati elettricamente, questa caratteristica si osserva nel cerchio rosso evidenziato nella pianta CAD. Le linee gestite da Terna atte ad alimentare la Rete Elettrica Nazionale si diramano dal portale posto nel vertice

basso del terzo settore attraverso linee in alluminio/acciaio di  $349,2/78,9\text{mm}^2$ , quindi di  $26,9\text{mm}$  di diametro per corda. Esse giungono al portale attraverso corde aeree di  $450/40\text{mm}^2$  sempre di alluminio ed acciaio e collegano le due sbarre principali A e B descritte precedentemente. Lo stallo linea tre è di riserva in questo settore.

Osservando lo schema elettrico dall'alto salta subito all'occhio quanto il cablaggio aereo di tutta la sottostazione sia ordinato ma bisogna comunque tenere presente che la linea necessita di alcune modifiche che verranno analizzate nel seguito di questo elaborato di tesi.

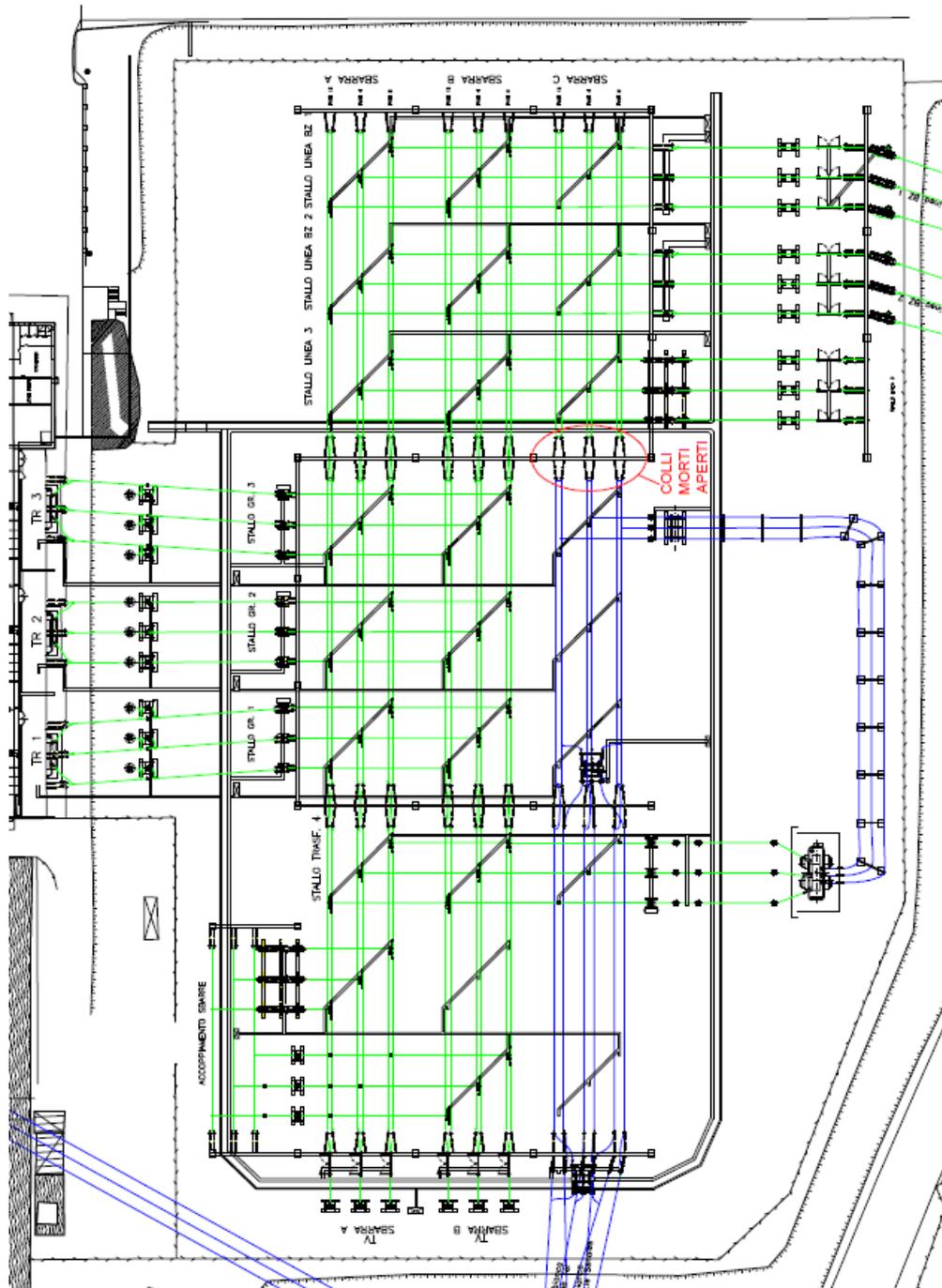


Figura 9: Cablaggio della sottostazione

### 2.1.3 Posizionamento dei componenti elettrici della sottostazione

La seguente descrizione dello stato attuale della sottostazione di Naturno prende solamente in considerazione gli elementi che fanno parte del circuito elettrico in alta tensione. Per descrivere accuratamente questo paragrafo si è deciso di partire dalla centrale di produzione per poi proseguire descrivendo gli elementi elettrici che si trovano lungo il circuito. Il paragrafo descrive il posizionamento degli elementi elettrici all'interno del piazzale lasciando la descrizione tecnica degli stessi al successivo capitolo.

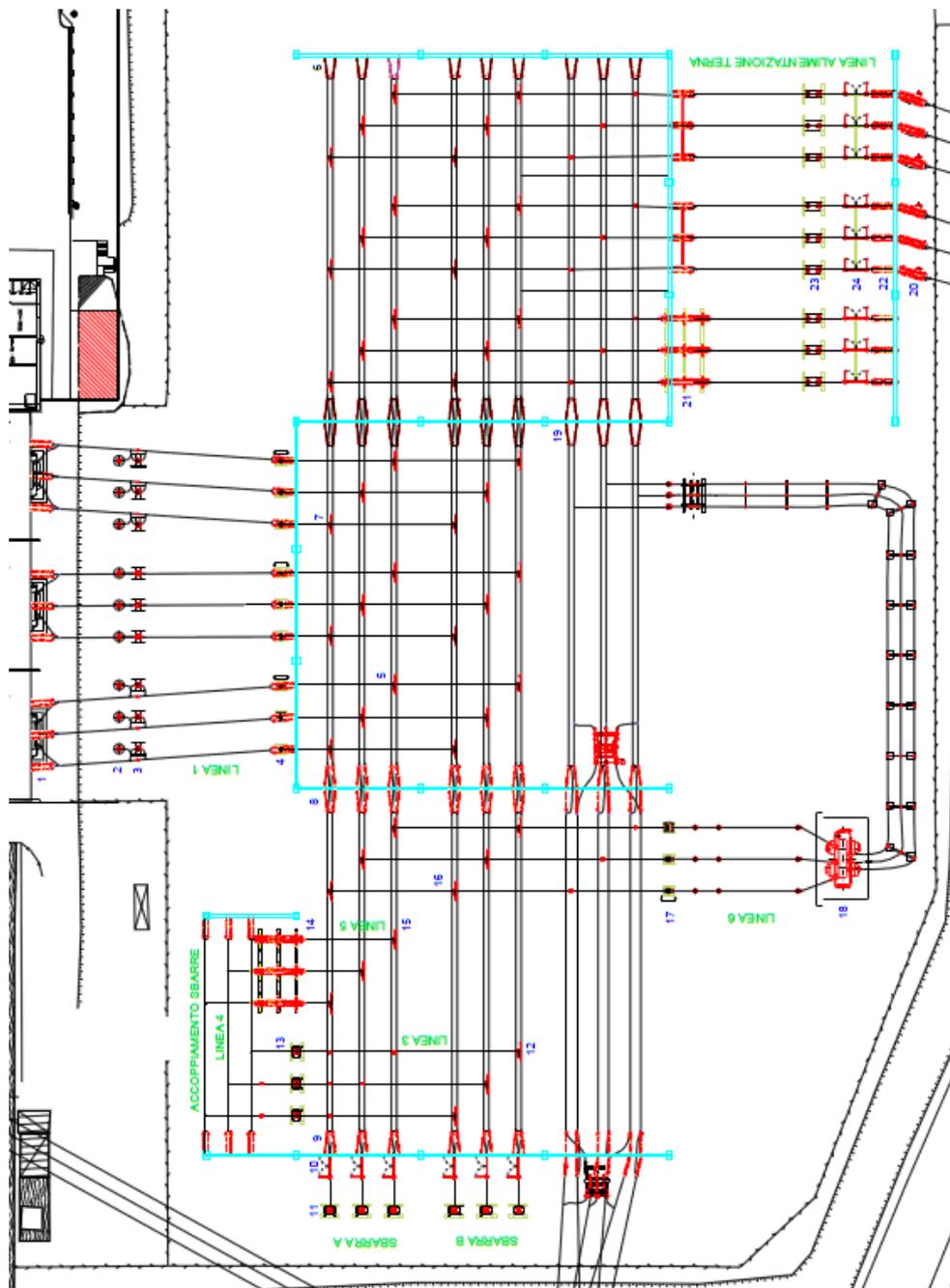


Figura 10: Posizionamento dei componenti elettrici

### ***Linea1 (Stallo macchine 1,2,3)***

Come si vede dalla pianta realizzata mediante AutoCad, la prima linea elettrica, che in questo caso per questioni di comodità è stata descritta monofase, parte dalla centrale elettrica alla quale è collegata tramite due catene di isolatori per fase (1). La linea passa successivamente attraverso un trasformatore voltmetrico ed uno amperometrico di misura (punti 2 e 3 sulla pianta). Si tratta di una corda in alluminio e acciaio di  $450/40\text{mm}^2$  e giunge al punto 4 individuabile nella pianta. Qui sono posizionati gli interruttori elettrici di potenza necessari per l'interruzione della linea. Dalla pianta si osserva che accanto agli interruttori sono posizionate anche le bombole ad aria compressa, necessarie all'accumulo della stessa per garantire il corretto funzionamento anche nel caso di guasto o avaria dell'impianto di produzione dell'aria compressa centralizzata. Nel punto 4 sono inoltre presenti le catene di isolatori che permettono al portale di sorreggere le corde elettriche senza essere in contatto con le linee elettriche. Da qui si giunge poi alle sbarre conduttrici A e B della sottostazione e la linea viene collegata ad esse mediante i sezionatori a pantografo comandati pneumaticamente (5).

### ***Sbarre A,B***

Nelle sbarre A e B si trovano le linee principali della sottostazione. Le due linee sono in alluminio ed acciaio ma in questo caso sono presenti due conduttori per fase di  $300/50\text{mm}^2$  e le linee sono parallele tra di loro, per questo motivo si è deciso di analizzarne solamente una. Partendo dalla parte est della sottostazione, quindi dal punto 6, partono tramite una catena di isolatori per conduttore le due linee: ogni corda è contraddistinta da uno spessore di  $300/50\text{mm}^2$  in alluminio ed acciaio che si va a collegare al portale di fronte, sempre tramite un isolatore per corda e durante il percorso tra una trave del portale e l'altra si collega alle linee di alimentazione analizzate precedentemente (7). Al terminale finale dello stallo la linea giunge nel punto 9 nel quale sono installati gli isolatori finali i sezionatori rotativi (10) ed il trasformatore voltmetrico di misura di tensione (11).

### ***Accoppiamento sbarre (linee 4,5 6)***

Dal settore 1 si dirama dalla sbarra B la linea 3 che anche in questo caso è stata considerata monofase: questa fa parte insieme alle linee 4 e 5 parte dell'accoppiamento sbarre, il circuito si chiude infatti sulla sbarra A. Analizzando il circuito si nota che la linea 3 si dirama dalla linea B attraverso dei sezionatori a pantografo (12), passa attraverso un trasformatore amperometrico di misura (13) e si collega alla linea 4. Quest'ultima è sorretta ai portali tramite due catene di isolatori per fase. Dalla linea 4 parte la linea 5 che passando attraverso gli interruttori di potenza a sei camere di commutazione (14) si collega alla sbarra A attraverso i già menzionati sezionatori a pantografo (15).

### ***Linea 6***

Questa linea parte dai sezionatori a pantografo (16) e va ad alimentare nella parte primaria un trasformatore 220/60kV (18). Prima di arrivare a quest'ultimo essa passa attraverso un interruttore di potenza (17) e un trasformatore di misura che è collegato secondariamente ad una linea alimentata a 66kV la quale ha la

funzione di alimentare la sbarra C, necessaria per la gestione locale dell'energia elettrica. La sbarra C è praticamente identica alle sbarre A e B, fatta eccezione per il settore 3 il quale è isolato elettricamente dal settore 2 (19) e presenta una tensione di 220kV.

### ***Linee alimentazione Terna***

Gli ultimi elementi analizzati in questo paragrafo della tesi sono quelli presenti nelle linee di alimentazione che partono dal settore 3 nel punto 20. Queste vanno ad alimentare attraverso corde in alluminio ed acciaio di 450/40mm<sup>2</sup> la Rete Elettrica Nazionale gestita da Terna. Le linee di alimentazione che si diramano dalle sbarre A e B passano attraverso degli interruttori di potenza (21) per poi andare a collegarsi attraverso due isolatori per fase (22). Prima di alimentare direttamente la rete nazionale, queste linee devono passare attraverso dei trasformatori amperometrici di misura della corrente (23) e attraverso dei sezionatori rotativi (24) identici a quelli presenti sulle sbarre A e B. Dall'ultimo portale si diramano quindi le linee elettriche nazionali.

### ***2.1.4 Componenti aggiuntivi della sottostazione***

Questa sezione dell'elaborato di laurea si occupa di elementi che all'interno di una sottostazione potrebbero a prima vista risultare irrilevanti, sono però di fondamentale importanza per il corretto funzionamento e la sicurezza della sottostazione stessa.

#### ***Canalizzazione***

Nella pianta si individua la zona che riguarda tutti i componenti atti a contenere i cavi elettrici in bassa tensione: controllo, illuminazione ma soprattutto i condotti dell'aria compressa forzata necessari all'azionamento di alcuni elementi elettrici all'interno della sottostazione. Si osserva che il canale apribile ed interrato è presente in due diverse dimensioni, o più precisamente in due larghezze differenti. I canali più larghi sono necessari per interrare un numero maggiore di cavi e tubi idraulici. La partenza del canale principale avviene all'interno del locale nel quale, attraverso i generatori di pressione, viene generata l'aria compressa, prosegue poi verso la parte a sud del piazzale della sottostazione per poi diramarsi per un breve tratto verso est e poi compiendo tutto il giro della sottostazione va a richiudersi in prossimità della partenza del canale principale. Questo canale principale è largo 40cm mentre quello più stretto è largo 25cm. Quest'ultima tipologia di canale ha lo scopo fondamentale di trasportare i cavi in bassa tensione e l'aria compressa in prossimità degli elementi. La canalizzazione è infatti distribuita uniformemente all'interno del piazzale riuscendo a raggiungere ogni trasformatore, interruttore, sezionatore, deviatore ed interruttore. Anche l'impianto elettrico atto ad alimentare l'impianto di illuminazione, l'impianto di allarme e le prese in bassa tensione circolano all'interno dei canali interrati. È inoltre necessario sottolineare che i canali sono calpestabili in modo da consentire la circolazione degli addetti ai lavori all'interno del piazzale senza incombere in alcun pericolo, sono apribili e sono isolati contro fenomeni meteorologici come la pioggia e la neve.

## ***Murature***

I muri portanti che si trovano all'interno della sottostazione sono necessaria affinché venga garantita l'adeguata stabilità di tutti gli elementi posizionati direttamente al suolo. Come si osserva, non si tratta di elementi di grandi dimensioni rispetto all'intera area, ma sono lastre di cemento sulle quali sono stati posizionati tutti gli elementi e la loro posizione all'interno della sottostazione è principalmente sui bordi esterni.

## ***Armadi elettrici***

All'interno della sottostazione sono presenti due tipologie di armadio elettrico di diverse dimensioni, come individuabile dalle piante Cad. Essi sono posizionati nei pressi del canale di dispacciamento analizzato precedentemente.

## ***Recinzione***

L'ultimo particolare analizzato in questo paragrafo è la recinzione. L'intera area del piazzale della sottostazione è recintata: parte dalla centrale di produzione e compie tutto il giro intorno alla sottostazione per garantire la sicurezza. Sono inoltre recintati tutti gli elementi elettrici posizionati al suolo attraverso una recinzione di altezza minima di due metri.

## ***2.2 Elementi elettrici della sottostazione***

Analizzata la struttura principale della sottostazione, si è passati a studiare gli elementi elettrici ed i componenti principali che ne fanno parte. Anche per questa parte di lavoro la base di partenza sono stati gli archivi storici riguardanti la sottostazione elettrica. Tutti gli elementi elettrici che ancora oggi caratterizzano la sottostazione vennero messi in esercizio nel 1962 e furono fornito da Siemens. Di seguito verranno descritti i componenti elettrici esaminati facendo spesso riferimento non solo ai dati tecnici degli stessi ma anche al loro funzionamento.

### ***2.2.1 Interruttori***

Gli interruttori sono il cuore di ogni sottostazione ad alta tensione. Oltre ad essere sicuri ed affidabili, devono garantire anche una lunga durata e bassi costi di manutenzione. Conseguentemente, le loro caratteristiche principali devono essere:

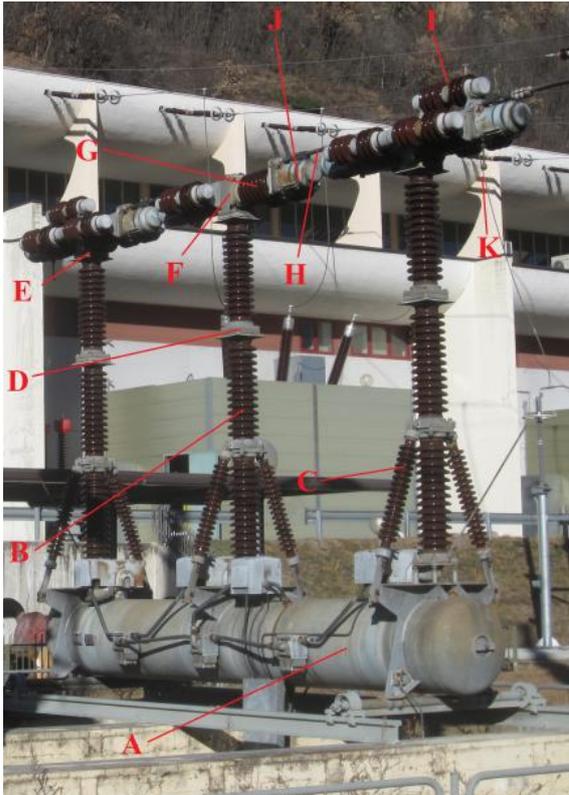
- tenuta dielettrica;
- affidabilità nello stabilimento e nell'interruzione delle correnti elettriche;
- costante capacità di spegnimento d'arco durante i cortocircuiti;
- minime esigenze di manutenzione.

Gli interruttori extrarapidi di potenza a 245kV presenti all'interno della sottostazione di Naturno sono stati messi in servizio la prima volta nel 1963. Si tratta di interruttori rapidi tripolari con comando pneumatico per installazione all'aperto. Ogni polo possiede sei camere di commutazione con le relative resistenze in parallelo e i circuiti ausiliari. Mediante condensatori in parallelo è possibile, se necessario, aumentare la potenza degli interruttori relativi alle linee aeree ed all'accoppiamento da 5000MVA a 7500MVA. Tutti gli interruttori extrarapidi sono dotati di comandi ad azionati ad aria compressa che, grazie alla loro robusta costruzione, si sono confermati nel corso degli ultimi decenni per la loro sicurezza di funzionamento. La possibilità di accumulare l'aria compressa ha reso l'impianto ampiamente indipendente dall'alimentazione dei servizi ausiliari. Verranno successivamente elencate tutte le caratteristiche degli interruttori in questione.

Tipo:.....	DCVF.....	220 K 6.w;
	DCF.....	220 K 6.w;
Tensione nominale:.....		220kV;
Massima tensione d'esercizio ammissibile:.....		250kV;
Corrente nominale:.....		600A;
Massima corrente permanente ammissibile:.....		800A;
Tensione di tenuta a 50Hz sopportata per 1min:.....		505kV;
Tensione di tenuta ad impulso sopportata per 1/50µs:.....		1050kV;
Potere nominale di interruzione:		
• Nelle sezioni per le linee aeree e per l'accoppiamento:.....		5000MVA;
• Nelle derivazioni degli alternatori:.....		7500MVA;
Sovracorrente limite dinamica:.....		50kA;
Corrente ammissibile di breve durata:.....		ad 1sec 32kA;
		a 5sec 22kA;
Pressione d'esercizio:.....		15–16kp/cm <sup>2</sup> .

Dimensioni:

Altezza totale:.....	4330mm;
Lunghezza interruttore:.....	5620mm;
Distanza tra isolatori tubo di pressione:.....	1900mm;
Quota isolatore camera d'estinzione:.....	3513mm;
Lunghezza serbatoio aria compressa:.....	3727mm.



- A) Serbatoio d'aria compressa;
- B) Isolatore del tubo di pressione;
- C) Isolatore tirante;
- D) Flangia intermedia;
- E) Bulloni;
- F) Pezzo intermedio;
- G) Isolatore della camera d'estinzione;
- H) Connessione elettrica;
- I) Isolatore del condensatore;
- J) Castello;
- K) Corna di coordinamento.

**Figura 11:Struttura dell'interruttore di potenza**

### Manutenzione

La manutenzione che l'interruttore presente richiede da quando è in servizio non è certamente da sottovalutare. Tutti gli organi meccanici lavorano con una grande riserva d'energia, vale a dire con grande margine di sicurezza. La sicurezza meccanica non viene quindi ridotta da un deposito normale di polvere o da fluttuazioni della temperatura fra  $-40^{\circ}\text{C}$  e  $+50^{\circ}\text{C}$ . A seconda delle condizioni locali ogni 4-5 anni viene eseguita una revisione generale. Per questo scopo è necessario interrompere completamente la corrente principale e la corrente ausiliaria come pure è necessario togliere la pressione dai serbatoi ad aria compressa.



**Figura 12: Interruttore di potenza completo**

## ***2.2.2 Riduttori di misura***

Una sottostazione priva di riduttori voltmetrici ed amperometrici di misura è totalmente inimmaginabile, la loro funzione è quella di diminuire la tensione e la corrente per poterla poi misurare attraverso strumenti tradizionali. I trasformatori di misura sono condizionatori di segnale di tipo elettromagnetico che, inseriti su sistemi funzionanti in corrente alternata, permettono di riprodurre la grandezza sotto misura (tensione o corrente), secondo un determinato fattore di scala e senza apprezzabile scostamento di fase. I trasformatori di misura dispongono perciò di almeno due avvolgimenti (primario e secondario), ciascuno dei quali con almeno due terminali. La grandezza da misurare viene applicata ai terminali del primario, mentre ai terminali del secondario vengono collegati gli strumenti di misura o gli apparati di protezione che costituiscono la prestazione dell'apparecchio. I trasformatori di misura sono apparecchi che all'interno di sistemi ad alta tensione assolvono anche l'importante funzione di separare dielectricamente l'avvolgimento secondario da quello primario, che può essere a tensione elevata. Principalmente concepiti per funzionare in regime semistazionario (cioè con grandezze alternate), essi possono assicurare anche buoni requisiti in funzionamento transitorio, quando destinati ad alimentare apparecchi di protezione.

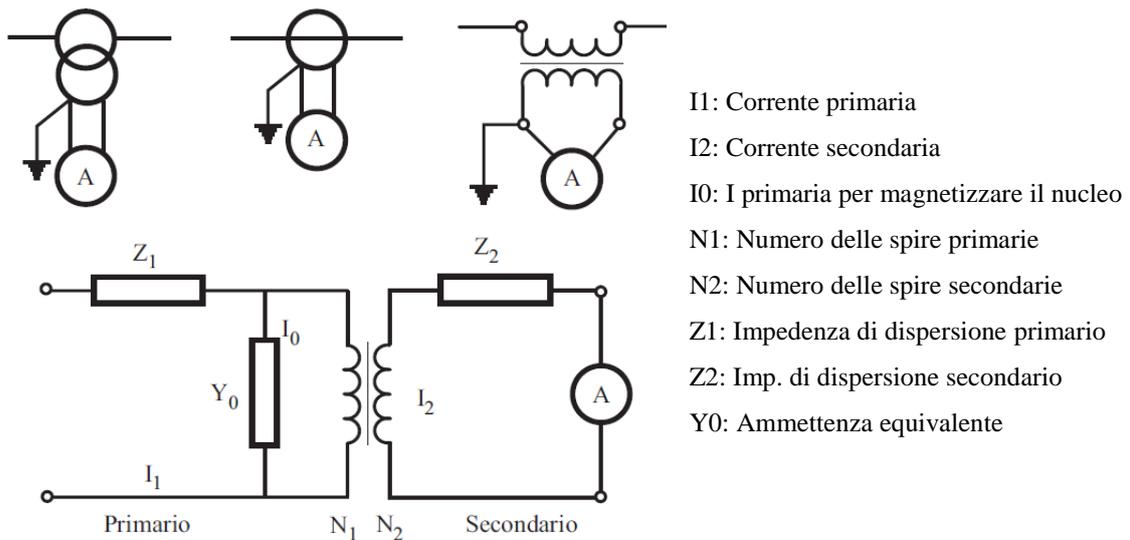
Esistono diversi tipi di trasformatori di misura, a seconda della funzione svolta e del principio di funzionamento:

- Trasformatore di Corrente (TA);
- Trasformatore di Tensione Induttivo (TVI);
- Trasformatore Combinato di Tensione e Corrente (TVA);
- Trasformatore di Tensione Capacitivo (TVC).

I riduttori presenti all'interno della sottostazione, eseguiti per installazione all'aperto, sono a perfetta tenuta d'aria e d'acqua. Grazie a questa caratteristica viene così esclusa ogni forma di manutenzione. Come già affermato, affinché l'impianto sia in grado di rifornire la rete ad alta tensione di energia elettrica è necessario che siano presenti due diversi tipi di riduttori: i riduttori di corrente (TA), ed i riduttori voltmetrici, quindi di tensione (TV).

### ***Riduttori di corrente TA***

Il trasformatore amperometrico, nella sua forma più semplice, è costituito da due avvolgimenti (primario e secondario), tra loro isolati, avvolti intorno ad un nucleo magnetico. L'avvolgimento primario deve essere attraversato dalla corrente da misurare e quindi, collegato in serie nel circuito, mentre l'avvolgimento secondario deve alimentare gli strumenti di misura o le apparecchiature di protezione. I circuiti alimentati dal TA, inclusi i cavetti di collegamento, costituiscono la prestazione del TA.



**Figura 13:Schema elettrico TA**

Dati tecnici

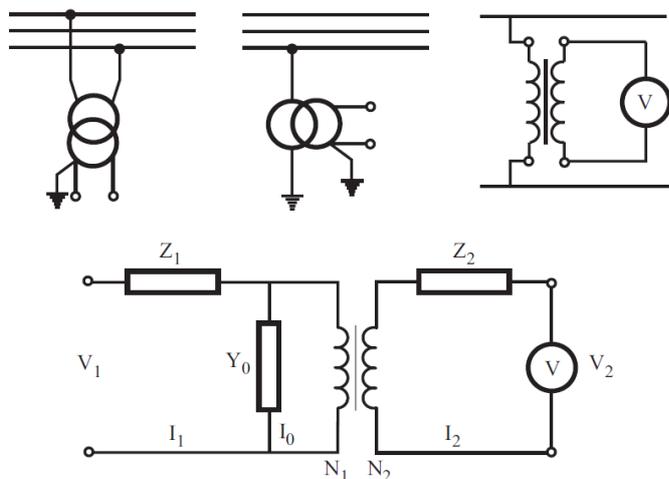
Tipo:.....AMG 245;  
 Massima tensione d'esercizio:.....245kV;  
 Tensione nominale d'isolamento:.....220kV;  
 Tensione alternata di prova:.....505kV(eff.);  
 Massima tensione d'impulso sopportata:.....1050kV;  
 Rapporto di trasformazione commutabile nel rapporto:.....4 x 150 /1-1-1A;  
 Corrente nominale primaria:.....150/300/600A;  
 Corrente nominale secondaria:.....1A;  
 1° nucleo:.....30VA.....classe 0,5.....n<5;  
 2° nucleo:.....30VA.....classe 0,5.....n<5;  
 3° nucleo:.....60VA.....classe 1,0.....n>10;  
 Sovracorrente nominale di corto circuito:.....20kA;  
 Sovracorrente nominale di punta:.....50kA.



Figura 14: Trasformatori di misura presenti a Naturno

### *Riduttori induttivi di tensione Tv*

Il trasformatore voltmetrico induttivo, più brevemente TVI, è dotato anch'esso di due avvolgimenti tra loro isolati, primario e secondario. Come il trasformatore di corrente possiede un nucleo magnetico attorno al quale gli avvolgimenti sono avvolti. La tensione da misurare viene applicata ai terminali del primario, che deve essere quindi collegato in derivazione nel circuito, mentre ai terminali dell'avvolgimento secondario devono essere connessi gli strumenti di misura o le apparecchiature di protezione da alimentare. I circuiti alimentati dal secondario del trasformatore di tensione costituiscono la prestazione del TVI.



- V1: Tensione primaria
- V2: Tensione secondaria
- I0: Corrente magnetizzante
- I1: Corrente primaria
- I2: Corrente secondaria
- N1: Numero delle spire primarie
- N2: Numero delle spire secondarie
- Z1: Impedenza di dispersione primario
- Z2: Impedenza di dispersione del secondario
- Y0: Ammettenza equivalente

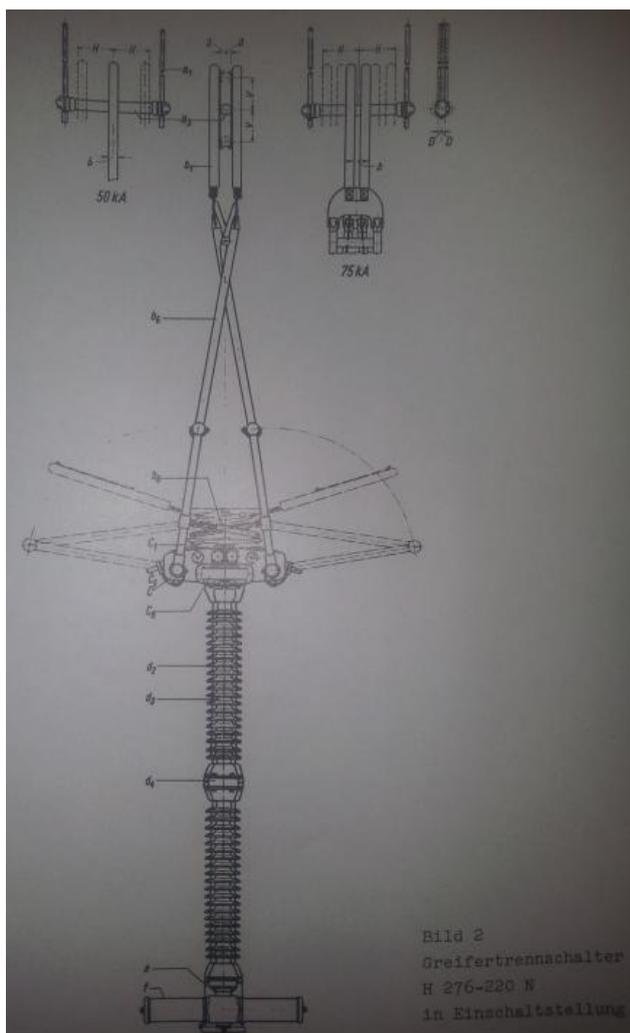
Figura 15: Schema elettrico TV

### Dati tecnici

Tipo:.....	VTOF 220;
Tensione nominale d'isolamento:.....	220kV;
Tensione di prova:.....	440kV;
Potenza nominale:.....	300VA;
Prestazione massima:.....	5000VA;
Classe:.....	0,5;
Rapporto di trasformazione:.....	$220.000/\sqrt{3} / 2 \times 100/\sqrt{3}V$ ;.....50Hz.

## **2.2.3 Sezionatori**

Lo scopo del sezionatore è quello di garantire la sicurezza dell'impianto e soprattutto delle persone, poiché interrompe fisicamente e visivamente il tronco di linee su cui si lavora, assicurandosi tra l'altro contro le richiusure involontarie. Lo stato di apertura o chiusura è visibile dagli addetti ai lavori. Quando è aperto, costituisce la più alta capacità di isolamento e, in posizione chiusa, la capacità di trasportare corrente attraverso linee o sbarre. La sua versatilità e le sue prestazioni lo rendono necessario per la gestione ottimizzata di una sottostazione. Questo non avviene negli interruttori, i cui elettrodi sono generalmente racchiusi in contenitori per assicurare la rapida estinzione dell'arco elettrico. La caratteristica principale dei sezionatori è che, a differenza degli interruttori, essi non assicurano un potere di interruzione, ma solo una capacità massima di resistere chiusi al passaggio della corrente di cortocircuito. Non sono dunque progettati per l'interruzione della corrente nominale del circuito, né sono a maggior ragione concepiti per aprire un circuito in condizioni di guasto (sovraccarichi o cortocircuiti), ma solamente per l'apertura del circuito e quindi la messa in sicurezza del circuito stesso. Anche in questo caso, all'interno del piazzale della sottostazione sono stati utilizzati due differenti tipologie di sezionatori: per il sezionamento delle sbarre colletttrici sono stati impiegati dei sezionatori a pantografo che, oltre al minimo ingombro, offrono dei vantaggi di carattere funzionale. Per le uscite sono invece



**Figura 16:Sezionatore a pantografo**



La manutenzione dei sezionatori rotativi Siemens presenti nella sottostazione di Naturno deve essere svolta annualmente e ogni volta è necessario togliere la tensione ai morsetti dello stesso.

## ***Sezionatori a pantografo***

### Dati tecnici

Tipo:.....H 276 – 220N 1250–50Dt;  
Tensione nominale d'isolamento:.....220kV;  
Corrente nominale:.....1250°;  
Corrente nominale d'impulso:.....50kA valore di cresta;  
Corrente nominale ammissibile di breve durata 1 se.....20kA eff.;  
Comando pneumatico a due pistoni:.....H 288–1641 n Ft;  
Pressione nominale:.....5kp/cm<sup>2</sup>.  
Isolatore portante:  
Tipo:.....220N;  
Peso:.....385kg;  
Altezza:.....2x1040mm;  
Linea di fuga minima:.....2x2445mm.



**Figura 18: Posizione aperta e chiusa dei sezionatori presenti a Naturno**

Anche in questo caso la manutenzione di tutti i sezionatori a pantografo presenti all'interno della sottostazione deve essere svolta annualmente e fuori tensione.

## 2.2.4 Isolatori

Gli isolatori sono componenti utilizzati per collegare meccanicamente ma non elettricamente i conduttori alle strutture di sostegno oppure al terreno, realizzando in questo modo il necessario isolamento elettrico e la sicurezza per gli addetti ai lavori. I materiali comunemente impiegati per la loro realizzazione sono vetro e porcellana, anche se i più recenti sono costituiti da resine polimeriche composite, le quali sono in grado di mantenere inalterate le loro caratteristiche isolanti senza frequenti interventi manutentivi. Dal punto di vista elettrico l'isolatore è soggetto ad una differenza di potenziale che, nel normale funzionamento, è costituita dalla tensione nominale del conduttore, ma che può assumere valori ben maggiori in occasione di fenomeni transitori di natura atmosferica (sovratensioni).

Gli isolatori presenti all'interno della sottostazione hanno due differenti compiti: isolamento delle linee elettriche verso la struttura del portale ed isolamento delle linee verso terra.

### *Isolatori aerei*

Per applicazioni in alta ed altissima tensione vengono pressoché universalmente impiegati gli isolatori detti a "cappa e perno", aventi una struttura che li rende idonei a formare catene sospese. In essi la cappa C collega l'isolatore al sostegno o ad un altro isolatore disposto superiormente, mentre il perno P si aggancia o attraverso un opportuno collare metallico al conduttore o direttamente alla cappa di un altro isolatore disposto inferiormente. Tra cappa e perno è presente un unico pezzo di materiale isolante. Il numero complessivo degli elementi da assemblare è funzione della capacità isolante complessiva richiesta. Il numero di isolatori da impiegare nelle catene in sospensione può essere determinato empiricamente con la formula:

$$n = \frac{U_{kV}}{15} + 1$$

dove  $U_{kV}$  è la tensione concatenata in kV. Essendo presente una tensione di linea di 220kV, si capisce il perché per ogni catena vengono utilizzati 14 isolatori.



**Figura 19: Isolatori a catena**

### *Isolatori portanti*

Gli isolatori portanti svolgono sostanzialmente lo stesso compito degli isolatori a catena, con la differenza che in questo caso la linea elettrica viene isolata dal terreno. Il loro compito all'interno della sottostazione di Naturno è quello di isolare le linee trasversali, quindi quelle che vanno ad alimentare direttamente le linee di trasmissione. Presentano un'altezza di 5500mm e la loro struttura base è praticamente identica a quella dei sezionatori a pantografo attuali, con ovvia mancanza del pantografo e del meccanismo ad aria compressa.

## 2.2.5 Scaricatori

Un altro elemento elettrico di fondamentale importanza presente all'interno della sottostazione in questione è lo scaricatore. Le sovratensioni possono essere di origine atmosferica (fulmini), a carattere impulsivo e con picchi di tensione elevatissimi, per contatto accidentale con linee a tensione superiore o generate accidentalmente dal distributore di energia elettrica. In caso di superamento sostanziale del limite, la perforazione del dielettrico (l'aria nella costruzione più elementare), scarica a terra l'energia. I scaricatori vengono normalmente installati nelle vicinanze dei trasformatori per un'adeguata protezione degli stessi.

### Dati tecnici

Tipo:	H 420 n 80...H 420 n 80;
Tensione nominale:	80...180kV eff.;
Massima tensione d'esercizio ammissibile:	92...207kV eff.;
Tensione d'estinzione:	96,7...217kV eff.;
Tensione di adescamento a 50Hz:	168-184...378-414kV eff.;
Tensione d'impulso di adescamento al 100%:	235...522kV eff.;
Tensione di adescamento ad impulso sul fronte a 0,5µs:	315...705kV max;
Tensione restante 10/20µs:	272...611kV;
Corrente nominale d'impulso di scarica:	10...10kA max;
Corrente d'impulso massima 5/10µs:	100...100kA max;
Corrente ad impulso ad onde lunghe 2000µs:	400...400kA max.

## 2.2.6 Impianto ad aria compressa

Come accennato precedentemente gli elementi di sicurezza della sottostazione sono comandati attraverso un impianto ad aria compressa. Questa viene fornita da due gruppi compressori, ognuno dei quali è dimensionato in modo da poter provvedere da solo all'alimentazione dell'impianto. Il secondo gruppo rappresenta perciò una riserva del 100%. Il valore della pressione viene costantemente controllato sia nella rete di distribuzione che nei compressori stessi. Una sua variazione oltre i limiti ammissibili viene segnalata nella sala quadri nell'ambito delle segnalazioni di allarme generali.

### **Generalità**

Tutti gli interruttori dell'impianto vengono azionati tramite un comando pneumatico.

La rete di distribuzione dell'aria compressa consta di una conduttura ad anello, dimensionata per 35ate, da cui si dipartono delle derivazioni che vanno agli apparecchi di comando attraverso dispositivi di riduzione. Due gruppi compressori provvedono alternativamente all'alimentazione della rete di distribuzione. Il secondo gruppo rappresenta di volta in volta una riserva del 100%. La valvola di intercettazione installata nella tubazione di raccordo fra i due compressori va tenuta chiusa affinché avvenga lo scarico dell'aria dal compressore a riposo e della tubazione posta fra questo e la valvola di ritegno. Se necessario si possono

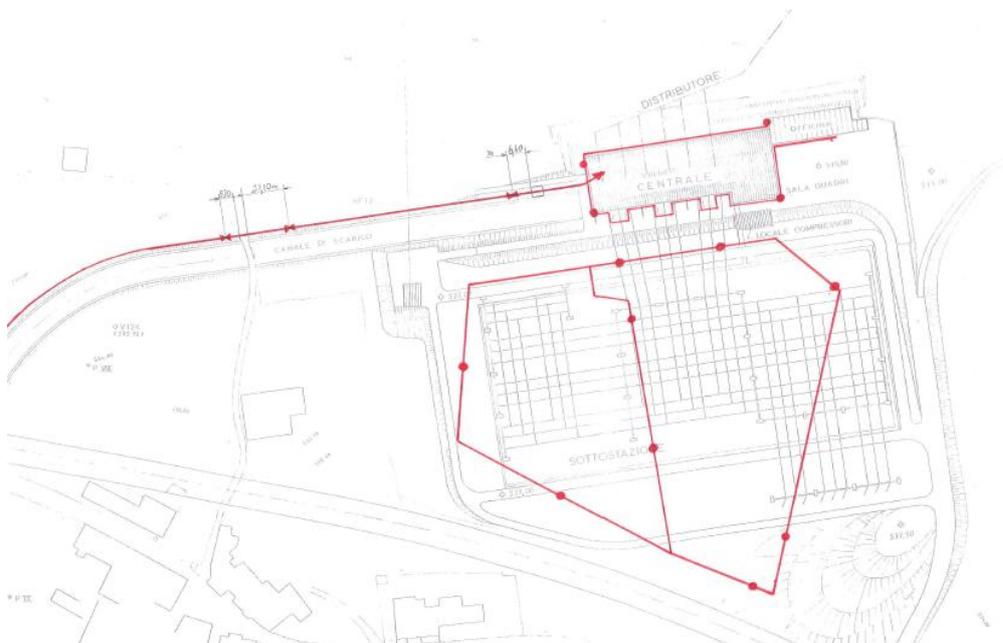
separare i due compressori, con la relativa parte della condotta ad anello, mediante tre valvole d'intercettazione.

### ***Impianto dei compressori***

Se la tensione per i comandi ed i motori è disponibile, vengono inseriti automaticamente entrambi i compressori. I due compressori lavorano in parallelo fino a quando viene raggiunta la pressione d'esercizio di  $36\text{kg/cm}^2$  quindi si disinseriscono. Quando la pressione è diminuita a  $33\text{kg/cm}^2$ , si reinserisce il compressore d'esercizio. Se la pressione diminuisce ulteriormente, a  $28\text{kg/cm}^2$  si reinserisce automaticamente anche il compressore di riserva. Questa operazione viene segnalata nella sala quadri. Per sfruttare uniformemente entrambi i compressori sarà opportuno scambiarli mensilmente nelle loro funzioni di esercizio e di riserva. Per eseguire lo scambio occorre regolare a mano i manometri di comando ed azionare il commutatore che si trova nella cassetta di distribuzione.

### ***Impianto di terra***

Nel corso di questo elaborato di tesi è stato anche effettuato lo studio generale dell'impianto di terra, o meglio, si è cercato attraverso misurazioni effettuate sul luogo di individuare i punti di messa a terra. Analizzando la pianta originale si osserva con facilità dove si trovano tali punti; ovvero alle quattro estremità dell'edificio di produzione e tutt'intorno all'area della sottostazione formando una specie di piramide rovesciata. La base della piramide è la trave dello stallo posizionata più vicino alla stazione, mentre la punta è ben al di fuori della sottostazione. I pali di messa a terra sono ovviamente collegati tra di loro e all'impianto di parafulmine, che collega tutti i pali della struttura di sostegno. Il valore della resistenza di terra misurata è di  $0,30\Omega$ .



**Figura 20:Impianto di terra della sottostazione di Naturno**

### 3. Norme elettriche

Questo capitolo del progetto di tesi riguarda le principali norme Cei da applicare ad impianti elettrici di questo genere o più precisamente le norme che caratterizzano i lavori da effettuare nella sottostazione della centrale elettrica di Naturno.

Le Norme Cei sono state introdotte principalmente per regolarizzare il sistema elettrico nazionale ed internazionale, per garantire la sicurezza di tutti gli addetti ai lavori in qualsiasi situazione d'esercizio e per costruire il riferimento per la "regola d'arte". La missione del Cei è quella di elaborare documenti normativi che garantiscano la sicurezza nei lavori e la velocità di esecuzione degli stessi. Ricordando che le tre macchine di produzione della centrale idroelettrica di Naturno sono andate in esercizio rispettivamente alla fine del 1962, all'inizio del 1963 e la terza nel 1985 e che la sottostazione è praticamente rimasta invariata dal '62, in questa tesi magistrale vengono analizzate alcune Norme Cei che devono assolutamente essere considerate per i cambiamenti agli elementi elettrici analizzati precedentemente.

Le Norme Cei che verranno in seguito elencate sono fondamentali per il proseguo del lavoro di tesi.

Norma Cei 11-1:	Impianti elettrici con tensione superiori a 1kV in corrente alternate;
Norma Cei 11-4:	Esecuzione delle linee elettriche esterne;
Norma Cei 11-17:	Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione di linee elettriche in cavo;
Norma Cei 11-27:	Lavori su impianti elettrici;
Norma Cei 33-2:	Condensatori di accoppiamento e divisori capacitivi;
Norma Cei 36-12:	Caratteristiche degli isolatori portanti per interno e esterno destinati a sistemi con tensione nominale superiore a 1kV;
Norma Cei 7-1:	Conduttori di rame e di leghe di rame per linee elettriche aeree;
Norma Cei 7-2:	Conduttori di alluminio, alluminio-acciaio, lega d'alluminio, lega d'alluminio-acciaio per linee elettriche aeree;
CIGRE:	General guidelines for the design of outdoor AC substations;
Norma Cei 57-2:	Bobina di sbarramento per sistemi a corrente alternata;
Norma Cei EN 60137:	Isolatori portanti per tensioni alternate superiori a 1kV;
Norma Cei EN 60099-5:	Scaricatori-Raccomandazioni per la scelta e l'applicazione;
Norma Cei EN 60168:	Prova di isolatori per interno ed esterno di ceramica e vetro con tensione nominale superiore a 1000V;
Norma Cei EN 60383-1:	Isolatori per linee aeree con tensione nominale superiore a 1000V – Parte: Isolatori in materiale ceramico o in vetro per sistemi di corrente alternata;
Norma Cei EN 60383-2:	Isolatori per linee aeree con tensione nominale superiore a 1000V – Parte2: Catene di isolatori e equipaggiamenti completi per reti in corrente alternata;
Norma Cei EN 60694:	Prescrizioni comuni per l'apparecchiatura di manovra e di comando ad alta tensione;

Norma Cei EN 61284: Linee aeree – Prescrizioni e prove per la morsettiera;

Norma Cei En 50110-1: Esercizio sugli impianti elettrici.

Verranno a questo punto analizzate singolarmente le principali Norme Cei utilizzate tra quelle elencate precedentemente.

### ***3.1 CEI 11-1: “Impianti elettrici con tensione superiore a 1kV in corrente alternata”***

La Norma CEI 11-1 è una norma di fondamentale importanza per quanto riguarda i lavori da svolgere all'interno della sottostazione della centrale elettrica di Naturno: essa contiene prescrizioni per la progettazione e la costruzione di impianti elettrici e l'installazione di componenti elettrici in sistemi con tensione nominale superiore a 1kV in corrente alternata, tali da garantire sicurezza e funzionamento idoneo secondo la destinazione d'uso. Anche l'oggetto della tesi, la sottostazione di Naturno, rientra quindi in questa categoria. Gli ambiti d'esercizio che vengono presi in considerazione dalla norma sono i seguenti:

#### Campo di applicazione

- a) Stazione elettrica (o cabina elettrica): area elettrica chiusa con apparecchiature e/o trasformatori in reti di trasmissione o di distribuzione;
- b) Impianto o impianti di generazione situati in un luogo unico: comprende generatori e unità di trasformazione, con tutte le apparecchiature associate e tutti i sistemi elettrici ausiliari. Sono esclusi i collegamenti tra impianti di generazione ubicati in siti diversi;
- c) L'impianto elettrico di una fabbrica, di uno stabilimento industriale o di altri fabbricati industriali, agricoli, commerciali o di pubblici servizi.

#### Definizioni

Definizioni generali; Impianti; Tipi di impianti; Misure di sicurezza contro lo shock elettrico; Distanze d'isolamento; Comando e protezione; Messa a terra.

#### Prescrizioni fondamentali

Prescrizioni elettriche; Prescrizioni meccaniche; Condizioni climatiche ed ambientali; Prescrizioni particolari.

#### Isolamento

Scelta del livello di isolamento; Verifica dei valori di tenuta; Minime distanze di isolamento delle parti attive; Minime distanze di isolamento tra parti in condizioni particolari; Zone di collegamento con terminali provati.

### Componenti elettrici

Regole comuni; Prescrizioni specifiche.

### Impianti

Impianti all'esterno di tipo aperto; Impianti all'interno di tipo aperto; Cabine prefabbricate di alta/bassa tensione; Installazioni su tralicci e pali.

### Misure di sicurezza

Protezione contro i contatti diretti; Mezzi per proteggere le persone in caso di contatti indiretti; Mezzi per proteggere le persone che operano negli impianti elettrici; Protezione contro pericoli causati da arco elettrico; Protezione contro le fulminazioni (scariche atmosferiche) dirette; Protezione contro gli incendi; Protezione contro la perdita di liquido isolante e di gas SF<sub>6</sub>.

### Impianti ausiliari e sistemi di comando e controllo

Sistemi di monitoraggio e di controllo; Circuiti di alimentazione in corrente continua ed alternata; Sistemi ad aria compressa; Impianti per il trattamento di gas SF<sub>6</sub>; Regole fondamentali per la compatibilità elettromagnetica dei sistemi di comando.

### Impianto di terra

Criteri generali; Dimensionamento degli impianti di terra a frequenza industriale; Costruzione degli impianti di terra; Impianto di terra comune per sistemi di alta e bassa tensione; Provvedimenti contro le sovratensioni; Misure per e sugli impianti di terra.

All'interno della presente norma CEI 11-1 sono inoltre presenti i seguenti allegati di grande importanza:

Materiale e dimensioni minime dei dispersori per garantire la resistenza meccanica ed alla corrosione; Calcolo delle sezioni minime dei conduttori di terra; Tensione di contatto e corrente nel corpo umano; Provvedimenti sugli impianti di terra per ridurre gli effetti di interferenze ad alta frequenza; Provvedimenti specifici per la messa a terra di componenti elettrici e di impianti; Misura delle tensioni di contatto; Metodo di protezione contro le fulminazioni dirette; Fattori di riduzione relativi a funi di guardia delle linee elettriche aeree e schermi metallici dei cavi sotterranei; Elementi fondamentali per il progetto dei dispersori; Installazione di dispersori e di conduttori di terra; Formule approssimate per dispersori semplici; Misure di campo.

## **3.2 CEI 11-4: “Esecuzione delle linee elettriche esterne”**

La Norma CEI 11-4 riguarda l'esecuzione delle linee elettriche aeree esterne ad esclusione delle linee di contatto per trazione elettrica. Essa si applica altresì alle linee situate in zone sismiche ma per nostra fortuna la centrale idroelettrica di Naturno è situata in una zona poco soggetta a terremoti. La presente Norma ha lo scopo di fissare le prescrizioni fondamentali che devono essere osservate nel progetto e nella

costruzione delle linee elettriche prese in considerazione. Tali prescrizioni riguardano l'intero percorso della linea compresi gli attraversamenti di opere, quali ad esempio ferrovie, tranvie, filovie, funicolari, strade, linee elettriche o di telecomunicazione.

#### Definizioni

Tensione nominale di una linea elettrica; Linee elettriche aeree esterne; Linee di prima classe; Linee di seconda classe; Linee di terza classe; Zona di sovraccarico; Conduttori, corde di guardia, cavi aerei.

#### Esecuzione delle linee aeree

Linee con conduttori multipli o a fascio; Spinta del vento; Distanziamento dei conduttori; Distanze minime delle parti sotto tensione verso le parti a terra dei sostegni; Distanze di rispetto per i conduttori; Distanze di rispetto per i sostegni; Distanze di rispetto dai fabbricati; Messa a terra dei sostegni; Tiranti metallici.

#### Conduttori e corde di guardia

Dimensioni minime; Isolamento; Giunzioni; Sollecitazioni massime; Caso particolare delle linee in cavo aereo.

#### Isolatori e accessori

Isolatori rigidi; Isolatori sospesi; Isolatori degli attacchi; rinforzati; Morsettiera; Impiego dell'attacco rinforzato per le linee di classe zero e prima; Impiego dell'attacco rinforzato per le linee di classe seconda e terza.

#### Sostegni

Materiali e tipi costruttivi; Limitazione all'impiego dei sostegni di legno; Limitazione all'impiego dei sostegni non-autoportanti; Sostegni sorreggenti circuiti di classi diverse; Conduttori rotti; Caso particolare delle linee in cavo aereo; Prescrizioni particolari per le linee con sostegni non-autoportanti; Carichi agenti sui sostegni; Sollecitazioni ammissibili per i sostegni; Prove di sostegni; Collegamenti; Dimensioni minime; Impiego di sostegni in zone sismiche.

#### Fondazioni

Sostegni a stelo unico infissi nel terreno; Fondazioni a blocco unico; Fondazioni a pilastri riuniti da una piastra di base; Fondazioni a piedini separati; Dati numerici relativi ai calcoli; Fondazione dei sostegni in roccia o muratura; Fondazioni in zone sismiche.

### **3.3 CEI 11-27: “Lavori su impianti elettrici”**

Questa Norma è forse la più importante di tutte le Norme CEI in quanto si riferisce alle operazioni ed attività di lavoro sugli impianti elettrici, a tutte le attività connesse al lavoro stesso ed a qualunque livello di tensione destinati alla produzione, alla trasformazione, alla distribuzione ed all'utilizzazione dell'energia

elettrica. Il contenuto della norma non vale però per lavori sotto tensione superiore a 1000V in corrente alternata e 1500V in corrente continua. Per la definizione di lavoro elettrico ricorriamo nuovamente alla presente Norma CEI 11-27 che all'articolo 3.8. lo definisce come *"un intervento su impianti o apparecchi con accesso alle parti attive (sotto tensione o fuori tensione) nell'ambito del quale, se non si adottano misure di sicurezza, si è in presenza di un rischio elettrico .Esempi di intervento elettrico sono : prove e misure, riparazioni, sostituzioni, montaggi ed ispezioni"*.

La Norma 11-27 fornisce quindi le prescrizioni di sicurezza per le attività sugli impianti elettrici ed è quindi estremamente importante per garantire la salute degli addetti ai lavori. A questo punto è necessario definire il concetto di "livello di sicurezza accettabile": sappiamo che un danno può verificarsi per cause di natura sconosciuta o non prevedibile (cause di forza maggiore) oppure a causa di un rischio previsto e ritenuto accettabile o per il fallimento delle misure di protezione adottate (cause fortuite). Non è tecnicamente ed economicamente possibile annullare il rischio, si deve ritenere prioritario innalzare il più possibile il livello di sicurezza all'interno di un impianto elettrico, in questo caso in una centrale di sottostazione. E' evidente quindi che ogni misura o manutenzione su un apparecchiatura o impianto elettrico è da ritenersi un lavoro elettrico. Rimane ora da chiarire che cosa si intenda per accesso alle parti attive. Il caso più semplice di lavoro elettrico è l'intervento sulle parti attive di un impianto, apparecchio, apparecchiatura o equipaggiamento elettrico. Come noto, una parte attiva è una parte in tensione nel servizio ordinario. In occasione dei lavori la parte attiva può essere in tensione, oppure fuori tensione proprio per effettuare i lavori; come accennato precedentemente la norma CEI 11-27 considera solo il caso fuori tensione. Se la parte attiva rimane in tensione è necessario isolare la persona; se la parte attiva viene messa fuori tensione occorre garantire che sia, e rimanga, effettivamente fuori tensione. Intervenire sulle parti attive significa che l'operatore è in contatto, diretto oppure tramite un oggetto (conduttore o isolante), con le parti conduttrici.

I principali pericoli per l'operatore del lavoro elettrico sono la folgorazione e l'arco elettrico, ma la corrente può produrre un'azione eccitomotora sul soggetto e provocarne la caduta, specie se questo è in equilibrio instabile, ad esempio si trova su una scala come può facilmente avvenire nei lavori elettrici. Si considera quindi lavoro elettrico non solo l'intervento in cui l'operatore tocca le parti attive, ma anche quando si trova nelle immediate vicinanze. La distanza alla quale può avvenire una scarica in aria aumenta con la tensione (distanza elettrica) ma non basta che l'operatore si tenga a questa distanza per essere al sicuro. L'operatore potrebbe infatti con un movimento accidentale (non volontario) toccare le parti attive, con una parte del corpo o per mezzo di oggetti. Alla distanza elettrica la norma aggiunge quindi un franco; si ottiene quindi una distanza totale denominata distanza limite  $D_L$ . L'insieme dei punti circostanti la parte attiva posti a distanza inferiore a  $D_L$  prende il nome di *zona di guardia*. In conclusione, tutte le volte che l'operatore entra nella zona di guardia con una parte del corpo, oppure con un oggetto isolato o conduttore, si configura un lavoro elettrico, che prende il nome di *lavoro elettrico a contatto*. Soltanto quando l'operatore si trova oltre una certa distanza dalla parte attiva si può ragionevolmente assumere che sia al sicuro, cioè che non possa entrare nella zona di guardia. Questa distanza è convenzionalmente stabilita dalla norma e denominata  $D_V$ .

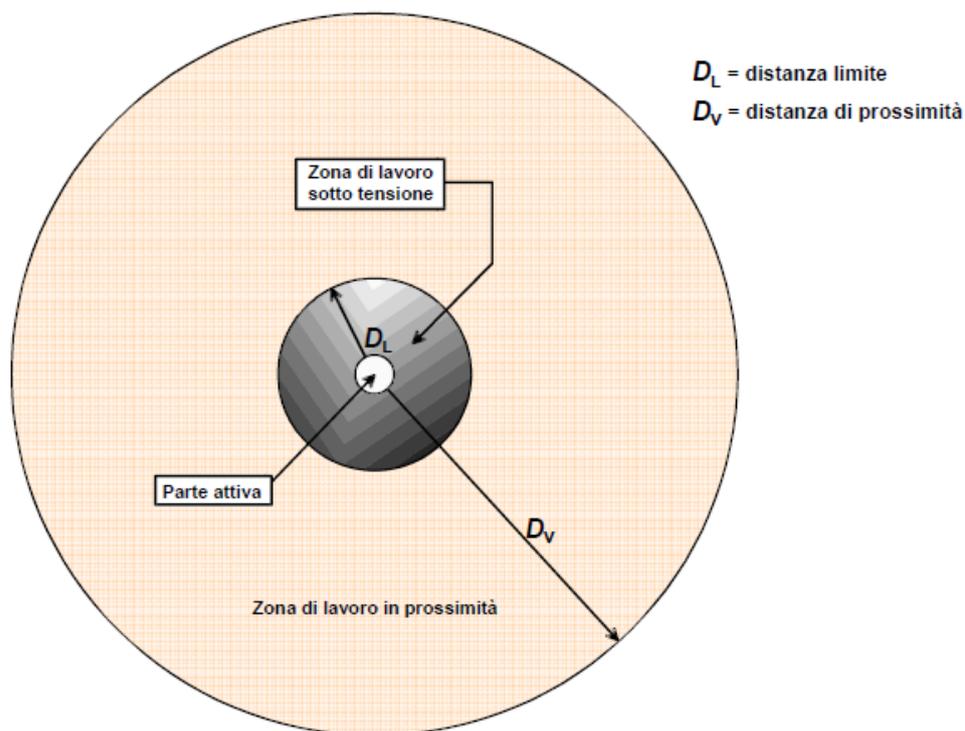


Figura 21: Distanze di sicurezza

Estratto dalla Tab. A.1			Limite previsto dal D.P.R. 164/1956	Limite previsto dal D. Lgs 81/2008
Tensione nominale	Limite esterno della zona di lavoro sotto tensione	Limite esterno della zona prossima		
	$D_L$	$D_V$		
kV efficaci	m	m	m	m
$\leq 1$	0,15	0,65	5,00	3,00
10	0,15	1,15	5,00	3,50
15	0,2	1,20	5,00	3,50
132	1,52	3,52	5,00	5,00
220	2,30	4,3	5,00	7,00
380	3,94	5,94	5,00	7,00

Tabella 1: Valori delle distanze di sicurezza

### ***3.4 CEI 36-12: "Caratteristiche degli isolatori portanti per interno ed esterno destinati a sistemi con tensioni nominali superiori a 1000V"***

Uno degli obiettivi della tesi è modificare gli elementi elettrici esterni della sottostazione. All'interno di essa si trovano ovviamente innumerevoli isolatori portanti di diverse dimensioni. La presente norma si applica agli isolatori portanti e agli elementi di colonna, per interno ed esterno di materiale ceramico o di vetro ed agli isolatori portanti per interno di materiale organico, destinati ad impianti o ad apparecchi elettrici funzionanti in sistemi a corrente alternata con tensione nominale superiore a 1000V e frequenza non superiore a 100Hz. Essa può anche essere considerata come norma provvisoria per gli isolatori portanti in sistemi a corrente continua.

La presente Norma comprende cinque tipi di isolatori portanti:

- a) Isolatori portanti per interno di materiale ceramico o vetro e con armature metalliche incassate;
- b) Isolatori portanti per interno di materiale organico e con armature metalliche incassate;
- c) Isolatori portanti cilindrici per esterno di materiale ceramico o vetro e con armature metalliche incassate;
- d) Isolatori portanti cilindrici per esterno di materiale ceramico o vetro e con armature metalliche esterne;
- e) Isolatori portanti a cappa e base per esterno di materiale ceramico o vetro.

La Norma CEI 36-12 è destinata a stabilire i valori unificati per quelle caratteristiche elettriche, meccaniche e dimensionali che sono essenziali per l'intercambiabilità di isolatori portanti ed elementi di colonna dello stesso tipo. All'interno della norma sono inoltre descritte le seguenti caratteristiche degli isolatori portanti: caratteristiche elettriche, caratteristiche meccaniche, caratteristiche dimensionali, sistemi di fissaggio, piano della Norma, designazione di isolatori portanti.

Nel proseguo di questo lavoro verrà fatto spesso riferimento alla presente Norma CEI 36-12 in quanto di fondamentale importanza per gli elementi presenti all'interno della sottostazione.

### ***3.5 CEI 60099-5: "Scaricatori-Raccomandazioni per la scelta e l'applicazione"***

La presente Norma CEI 60099-5 fornisce le raccomandazioni per la scelta e l'applicazione degli scaricatori da utilizzare in sistemi trifase con tensioni nominali superiori a 1kV. Essa si applica agli scaricatori a resistori non lineari con spinterometri per sistemi a corrente alternata ed agli scaricatori ad ossido metallico senza spinterometri.

Gli argomenti principali presenti all'interno della norma sono i seguenti:

#### Generalità

Scopo; Riferimenti normativi; Principi generali per l'applicazione degli scaricatori; Procedura generale per la scelta degli scaricatori; Tenuta dell'involucro dello scaricatore alla contaminazione.

#### Scaricatori a resistori non lineari con spinterometri

Caratteristiche degli scaricatori a resistori con spinterometri; Scelta degli scaricatori con spinterometri fase-terra.

#### Scaricatori ad ossido metallico senza spinterometri

Caratteristiche degli scaricatori; Scelta degli scaricatori.

#### Applicazione degli scaricatori

Principio di coordinamento dell'isolamento; Protezione delle sovratensioni a fronte lento; Protezione dalle sovratensioni atmosferiche.

#### Scaricatori per applicazione speciale

Scaricatori a protezione del neutro di trasformatori; Scaricatori tra fasi; Scaricatori per macchine rotanti; Ulteriori applicazioni speciali degli scaricatori; Scaricatori per condizioni di servizio anormali.

#### Monitoraggio

Generalità; Contatori di scarica; Spinterometri di monitoraggio; Dispositivo per monitorare la corrente continuativa.

### ***3.6 CEI EN 60168: “Prova di isolatori per interno ed esterno di ceramica e di vetro per sistemi di corrente alternata”***

La Norma CEI 60168 è definita nel seguente modo: “Prove di isolatori portanti per interno ed esterno di ceramica o di vetro, per impianti con tensione nominale superiore a 1000V” e per il lavoro che è oggetto di questa tesi ha un'importanza fondamentale in quanto gli elementi elettrici della sottostazione vanno per la maggior parte sostituiti.

#### Generalità

Oggetto e scopo; Riferimenti normativi; Definizioni.

#### Isolatori

Tipi di isolatori e materiali isolanti; Valori caratteristici di un isolatore portante; Identificazione degli isolatori.

### Classificazione delle prove, delle regole e delle procedure di campionamento

Classificazione delle prove; Garanzia di qualità; Prescrizioni relative alle prove di tipo; Prescrizioni generali per le prove di accettazione; Numero di campioni per le prove di accettazione.

### Procedura di prova per le prove elettriche

Prescrizioni generali per le prove ad alta tensione; Condizioni atmosferiche normalizzate e fattori di correzione per le prove elettriche; Parametri relativi alla pioggia artificiale per le prove sotto pioggia; Sistemi di montaggio per le prove elettriche; Altezza di montaggio per isolatori per esterno; Prova di tenuta ad impulso atmosferico a secco – Prova di tipo; Prova di tensione di tenuta a impulso di manovra sotto pioggia o a secco – Prova di tipo; Prova di tenuta a frequenza di esercizio a secco – Prova di tipo (applicabile solo a isolatori portanti per interno); Prova di tenuta a frequenza di esercizio sotto pioggia–Prova di tipo (applicabile solo a isolatori portanti per esterno); Prova di perforazione–Prova di accettazione; Prove elettriche individuali.

### Procedura di prova per le prove meccaniche e altre prove

Verifica delle dimensioni – Prova di tipo e di Accettazione, prova di rottura meccanica – Prova di tipo e di Accettazione, misura della freccia sotto carico – Prova di tipo Speciale, Prova di resistenza alle variazioni rapide di temperatura – Prova di accettazione, prova individuale di urto termico (applicabile solo alle parti isolanti in vetro temprato), verifica dell'assenza di porosità – prova di accettazione (applicabile solo agli isolatori di materiale ceramico), verifica della zincatura – prova di accettazione esame a vista individuale prova meccanica individuale

### Prove applicabili agli isolatori portanti

Prove di tipo; Prove di accettazione; Prove individuali; Elenco delle prove per gli isolatori portanti; Prove di tipo applicabili agli isolatori portanti; Prove di accettazione applicabili agli isolatori portanti; Prove individuali applicabili agli isolatori portanti; Isolatore portante cilindrico a nucleo pieno; Isolatore portante cilindrico a nucleo cavo; Isolatore portante cilindrico con armature metalliche interne; Isolatore portante a cappa e base; Isolatore portante cilindrico.

### Metodi di verifica

Metodi per la verifica del parallelismo delle facce, dell'eccentricità, dello spostamento angolare dei fori di fissaggio e della freccia in assenza di carico per gli isolatori portanti; Metodi di prova, precauzioni da prendere durante le prove.

### Metodi di prova individuale su elementi non assemblati

Metodo di prova con momento di flessione uniforme; Metodo di prova con l'applicazione di un momento di flessione non uniforme; Metodo di prova con l'applicazione di carico di flessione.

### **3.7 CEI EN 62271-100: “Interruttori a corrente alternata ad alta tensione”**

La prima parte della Norma CEI 62271 si applica agli interruttori a corrente alternata, progettati per installazione all'interno o all'esterno e per funzionamento a frequenza di 50Hz e 60Hz in sistemi a tensione superiore a 1000V. Essa si applica solamente a interruttori tripolari per l'esercizio in sistemi trifase e ad interruttori unipolari per l'esercizio in sistemi monofase. Gli interruttori bipolari per sistemi monofase e l'applicazione a frequenze minori di 50Hz devono essere oggetto di accordo fra costruttore e utilizzatore. La presente norma si applica anche ai dispositivi di comando degli interruttori e ai loro dispositivi ausiliari, essa non considera tuttavia gli interruttori aventi un meccanismo di chiusura a manovra manuale dipendente. Gli argomenti principali all'interno della Norma 62271-100 sono suddivisi nel seguente modo:

#### Definizioni

Vengono definiti i termini generali; Le apparecchiature di manovra e di comando; I dispositivi di manovra e gli apparecchi da utilizzare per la stessa; Il funzionamento degli apparecchi di interruzione.

#### Caratteristiche nominali

Tensione; Livelli d'isolamento; Frequenza nominale; Corrente nominale, di breve durata, di picco nominale e di cortocircuito; Tensione nominale di alimentazione dei dispositivi; Pressione di alimentazione del gas d'isolamento; Sequenza di operazioni nominali; Corrente di stabilimento nominale in cortocircuito; Caratteristiche nominali di guasto; Correnti capacitive di manovra; Corrente d'interruzione di piccole correnti induttive.

#### Progetto e costruzione

Requisiti per i liquidi ed i gas contenuti all'interno degli induttori; Messa a terra; Apparecchiature ausiliarie; Linee di fuga; Infiammabilità; Ermeticità a gas e a vuoto.

#### Prove di tipo

Prove dielettriche, Di misura; Di tenuta; Del grado di protezione; Di compatibilità elettromagnetica; Di funzionamento; Di guasti di vario genere; Di manovra.

#### Prove individuali

Prove di isolamento sul circuito principale; Di isolamento sul circuito ausiliario; Misura della resistenza; Prova di ermeticità.

#### Guida per la scelta degli interruttori in base al servizio

Generalità; Scelta delle grandezze nominali.

## Sicurezza

Calcolo delle tensioni di ritorno transitorio per guasti in linea partendo dalle caratteristiche nominali; Tolleranze sulle grandezze di prova; Determinazione del fattore di potenza di un cortocircuito; Metodi per la determinazione delle forme d'onda della tensione transitoria di ritorno presunta.

### **3.8 CEI EN 50110-1: “Esercizio degli impianti elettrici”**

La presente Norma CEI è intitolata: “Esercizio degli impianti elettrici” e per questa tesi di laurea magistrale è forse la Norma più importante essendo essa legata alle distanze e alla sicurezza degli elementi elettrici presenti all'interno della sottostazione. La Norma 50110 è suddivisa in due parti: la prima parte fornisce le prescrizioni minime valide per tutti i paesi del Cenelec (*Comité européen de normalisation en électronique et en électrotechnique*) ed alcuni allegati informativi che riguardano la sicurezza sul lavoro. La seconda parte della EN 50110 consiste in un insieme di allegati normativi (uno per Paese) che specificano sia le prescrizioni di sicurezza vigenti sia prescrizioni aggiuntive relative alle suddette prescrizioni minime. La norma si applica a tutte le modalità operative di attività di lavoro sugli impianti elettrici, ed essi connesse e vicino ad essi. Il livello di tensione va dalla bassissima fino all'alta tensione inclusa. La norma non si applica alle persone comuni che utilizzano impianti ed apparecchi elettrici ed è suddivisa nei seguenti argomenti principali:

#### **1. Definizioni**

##### Generalità

Impianto elettrico; Esercizio; Rischio elettrico; Pericolo; Infortunio.

##### Personale, organizzazione e comunicazione

Persona preposta ai lavori; Persona responsabile dell'impianto; Persona esperta; Persona comune.

##### Zona di lavoro

Posto di lavoro; Zona di lavoro sotto tensione; Zona prossima.

##### Lavoro

Lavoro elettrico, non elettrico, sotto tensione, in prossimità di parti attive, fuori tensione; Sezionare.

##### Dispositivi di protezione

Schermo; Barriera; Involucro; Isolatore.

##### Tensioni nominali

Bassissima tensione (ELV: corrente alternata fino 50V, corrente continua fino 120V); Bassa tensione (BT: corrente alternata fino 1000V, corrente continua fino 1500V); Alta tensione (AT: corrente alternata fino 1000V, corrente continua fino 1500V).

**2) Principi fondamentali**

Organi di sicurezza; Personale; Organizzazione; Comunicazione; Posto di lavoro; Attrezzi e dispositivi; Segnali.

**3) Procedure per l'esercizio normale**

Generalità; Manovre d'esercizio; Controlli funzionali.

**4) Procedure di lavoro**

Lavoro sotto tensione

Addestramento ed idoneità; Metodi di lavoro; Lavoro con aste isolanti; Lavoro con guanti isolanti; Lavoro a mani nude; Attrezzi; Condizioni ambientali; Organizzazione del lavoro.

Lavoro in prossimità di parti attive

Protezioni per mezzo di schermi; Barriere; Involucri; Protettori isolanti; Protezione mediante distanza sicura.

Si vedranno in seguito le distanze in aria per le procedure di lavoro da effettuare. Dato che alcuni componenti elettrici presenti all'interno della sottostazione elettrica della centrale di Naturno vanno sostituiti si sono cercati elementi alternativi a quelli attuali.

## **4. Adeguamento dei componenti elettrici**

### ***4.1 Interruttori di potenza***

Si è scelto di studiare un'alternativa agli interruttori presenti in modo da garantire il funzionamento ottimale della sottostazione per i prossimi decenni. Gli interruttori di alta tensione che si sono scelti di utilizzare sono nuovamente del produttore Siemens ed offrono soluzioni tecniche ed economiche ottimali per ogni esigenza. Si è infatti deciso di studiare due diverse soluzioni: Live Tank e Dead Tank.

A seconda del particolare campo di applicazione e del livello di tensione essi possono essere dotati di diversi meccanismi operativi:

- Meccanismo di manovra ad accumulo di energia a molla;
- Meccanismo di manovra di tipo idraulico e sistemi di spegnimento d'arco;
- Principio di auto compressione;
- Principio Puffer.

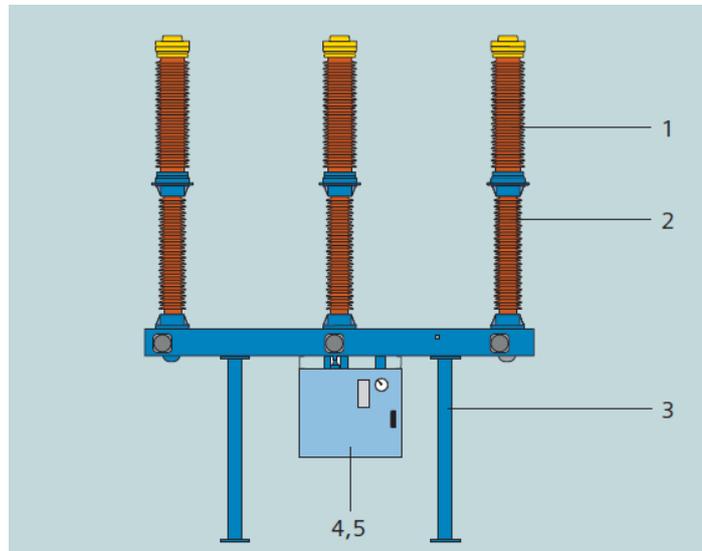
Il tasso di perdite di gas isolante SF6 è inferiore allo 0,5% l'anno, si tratta di un valore ottimale per gli interruttori ad alta tensione. Questo non solo aumenta la sicurezza e diminuisce i costi operativi come risultato di lunghi intervalli di manutenzione, ma ha anche un impatto positivo sull'ambiente.

#### ***4.1.1 Interruttori di potenza di tipo Live Tank***

La caratteristica principale degli interruttori Live Tank è la modulabilità del sistema. La camera di interruzione è in materiale isolante che può essere porcellana o materiale composito. Essa è ad alto potenziale, con il livello di tensione che determina la lunghezza degli isolatori per la camera di interruzione e la colonna isolante.

Negli interruttori elettrici Live Tank viene applicato il principio di autospegnimento dell'arco e l'energia da applicare per interrompere l'arco è tarata in maniera ottimale per ridurla al minimo. Questo sistema di interruttori di potenza consente di ridurre di circa 40% i costi di manutenzione rispetto agli interruttori attualmente presenti all'interno della sottostazione. Gli interruttori Siemens scelti per questo elaborato sono disponibili per tensioni nominali comprese tra 72,5kV e 300kV: sono quindi adeguati alla sottostazione elettrica di Naturno funzionante ad una tensione di 220kV.

1. Unità di interruzione;
2. Isolatore portante;
3. Struttura di sostegno;
4. Scatola di controllo;
5. Meccanismo di apertura/chiusura.



**Figura 22:Struttura dell'interruttore Live Tank**

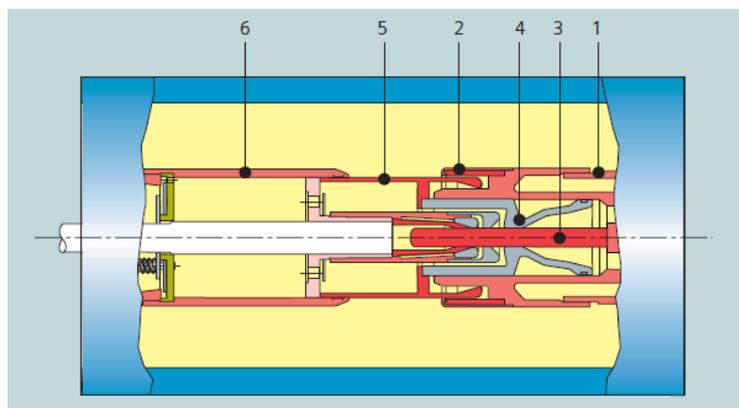
### ***Principio di quenching***

L'interruttore alta tensione 3AP garantisce un ottimo utilizzo dell'energia termica dell'arco nell'unità dell'interruttore grazie al principio di auto-compressione (brevettato da Siemens nel 1973). Da allora la tecnologia dell'auto-compressione ha fatto notevoli passi avanti per quanto riguarda gli elementi elettrici delle sottostazioni elettriche. Il principio di funzionamento è semplice: quando viene interrotta la corrente di guasto, la quantità di energia necessaria può essere ridotta a quella che serve per produrre il movimento meccanico dei contatti di interruzione.

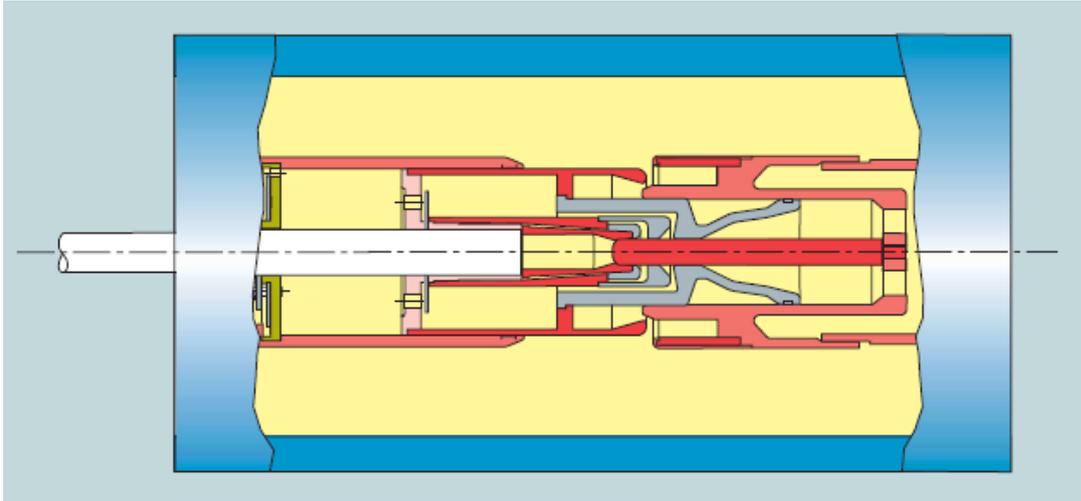
### ***Interruzione di correnti di guasto***

In caso di elevate correnti di corto circuito, il gas di spegnimento dell'arco viene scaldato sostanzialmente dall'energia dell'arco. Questo comporta un aumento della pressione nel cilindro di contatto. In questo caso l'energia per la creazione della pressione di spegnimento necessaria non viene prodotta dal meccanismo di manovra, di conseguenza il contatto ad arco fisso apre lo scarico attraverso l'ugello (3). Il gas esce dal cilindro di contatto e spegne l'arco. In condizioni di normale servizio, l'interruzione delle correnti avviene nel seguente modo: durante il processo di apertura, il contatto principale (4) si apre per primo e la corrente commuta sul contatto ad arco ancora chiuso. Quando il contatto viene successivamente aperto, si forma un arco tra i contatti (5). Contemporaneamente, il cilindro di contatto (6) si muove nella base (7) e comprime il gas di spegnimento.

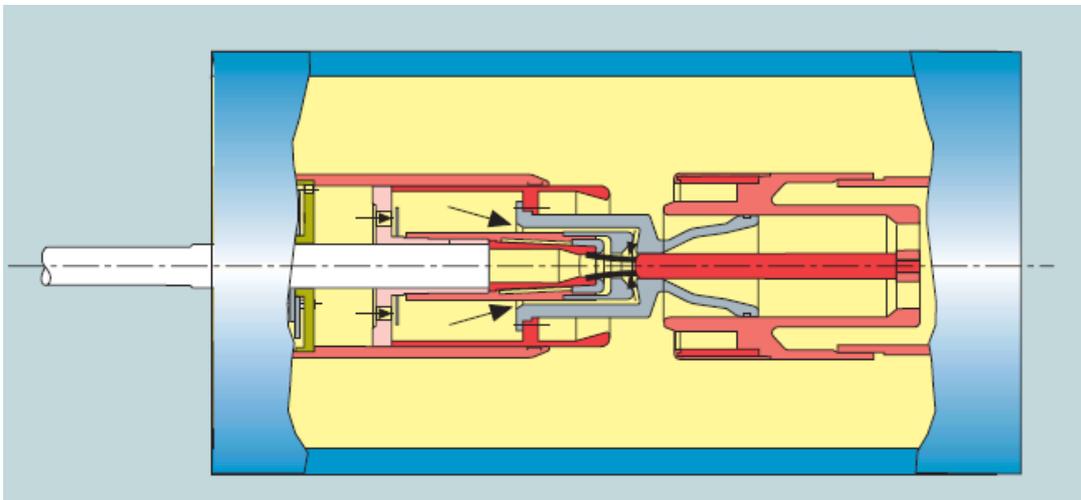
1. Vettore di contatto;
2. Contatto principale;
3. Contatto d'arco;
4. Ugello;
5. Cilindro di contatto;
6. Basamento.



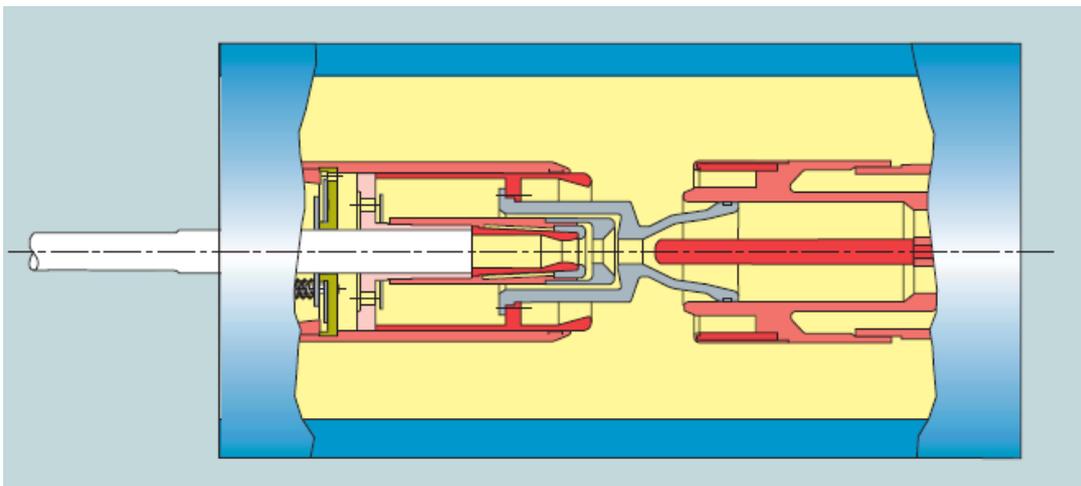
**Figura 23: Interruttore chiuso**



**Figura 24: Contatto principale aperto**



**Figura 25: Apertura; contatto d'arco in posizione aperta**



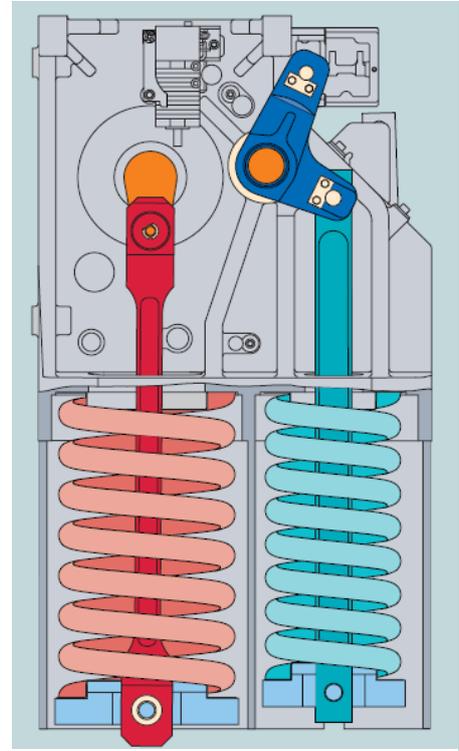
**Figura 26: Posizione finale; apertura totale**

## ***Meccanismo di manovra ad accumulo di energia a molla***

Il progetto del meccanismo di manovra dell'interruttore di alta tensione 3AP è basato sul principio di accumulo dell'energia a molla. L'utilizzo di questo tipo di meccanismo di manovra per i livelli di tensione fino a 420kV è stato reso possibile dallo sviluppo di una camera di interruzione ad auto-compressione che necessita di una quantità minima di energia.

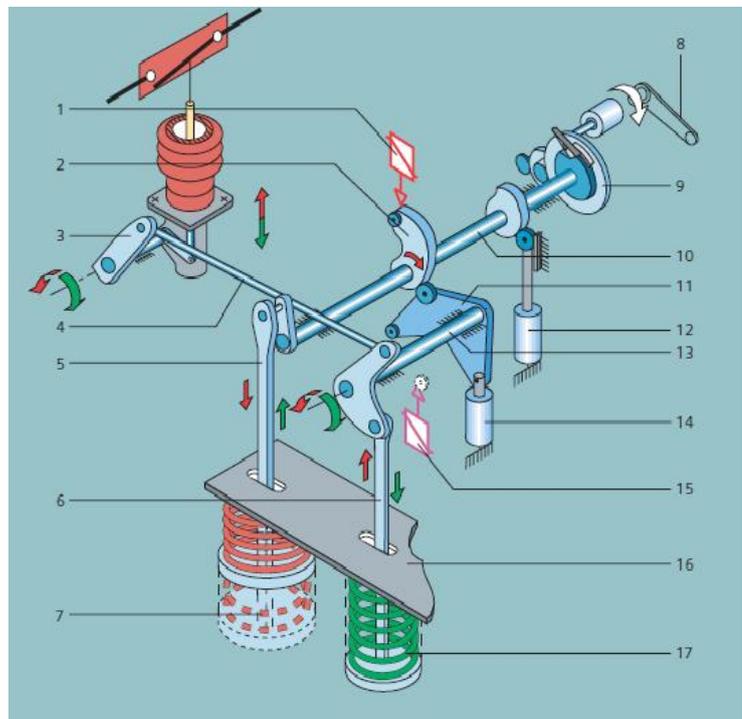
### Vantaggi del meccanismo a molla:

- Stesso principio per tensioni nominali da 72.5 KV a 550kV;
- Affidabilità grazie alla bassa energia di funzionamento;
- Semplice principio di funzionamento;
- Stato di commutazione controllabile in ogni momento;
- Bassa manutenzione;
- Basso impatto ambientale.



**Figura 27:Meccanismo a molla**

1. Bobina;
2. Piastra di comando;
3. Ingranaggio principale;
4. Biella principale;
5. Biella per la molla di chiusura;
6. Biella d'apertura;
7. Molla di chiusura;
8. Manovella di emergenza;
9. Cambio marcia;
10. Albero secondario;
11. Leva con rotella;
12. Ammortizzatore (per la chiusura);
13. Apertura dell'albero;
14. Ammortizzatore (per l'apertura);
15. Bobina d'apertura;
16. Unità rigida del meccanismo;
17. Molla di apertura.



**Figura 28:Componenti del meccanismo a molla**

#### Caratteristiche di tale soluzione

- Costruzione robusta e semplice con poche parti in movimento;
- Manutenzione minima;
- Design compatto in un involucro di alluminio resistente alla corrosione;
- Agganciamenti isolati da vibrazioni;
- Disaccoppiamento del meccanismo di carica per evitare carichi permanenti;
- Facilità di accesso per la manutenzione;
- 10.000 cicli di manovra.

#### Dati tecnici interruttore Live Tank

Tensione nominale:	.....	245kV;
Frequenza nominale:	.....	50Hz;
Unità di interruzione per polo:	.....	1;
Tensione di tenuta:	.....	1050V/min;
Corrente ammissibile di breve durata:	.....	ad 1sec: 50kA;
Corrente di picco ammissibile:	.....	135kA;
Variatione di temperatura di funzionamento:	.....	-30 fino +50°C;
Lunghezza di scarica:	Fase-terra:.....	1900mm;
	Tra i contatti aperti:.....	1900mm;
Distanza di dispersione:	Fase-terra:.....	6125mm;
	Tra i contatti aperti:.....	6050mm.

#### Caratteristiche dimensionali

Altezza:	.....	6050mm;
Larghezza:	.....	6640mm;
Profondità:	.....	880mm;
Peso:	.....	2940kg.

### ***4.1.2 Interruttori di potenza di tipo Dead Tank***

La particolarità della tecnica Dead Tank consiste nel fatto che la camera dell'interruttore è collocata ad un involucro di metallo collegato al potenziale di terra. Grazie a questa soluzione il gas SF6 isola le parti attive in tensione dall'involucro metallico degli isolatori passanti esterni che connettono l'elemento di interruzione dell'interruttore ai terminali di alta tensione. L'interruttore scelto come alternativa agli interruttori Live Tank è viene testato 6.000 volte prima di entrare in servizio.

### Caratteristiche dell'interruttore Dead Tank

- Costruzione del serbatoio molto compatta e stabile che consente prestazioni di lunga durata in impegnative condizioni ambientali;
- Manutenzione delle parti mobili considerevolmente ridotta rispetto agli interruttori attualmente presenti presso la sottostazione di Naturno;
- Corrente nominale fino a 4000A;
- Corrente di interruzione fino a 40kA;
- Funzionamento ottimale fino a temperature di -50°C (con serbatoio riscaldato);
- Tre cicli di interruzione;
- Adatto sia a 50Hz e 60Hz;
- Tasso di perdita di gas isolante SF6 inferiore all'1%;
- Testato per 6.000 interventi meccanici e 3.000 interventi con 3kA;
- Boccole sia in porcellana che in materiali compositi;
- Trattamento di tre trasformatori di corrente per ogni boccola;
- Sostituzione diretta per interruttori in olio sfuso;
- Telaio e gambe in acciaio zincato per una maggiore resistenza alla corrosione.



**Figura 29: Interruttore di potenza Dead Tank**

### Dati tecnici interruttore Dead Tank

Tensione nominale:.....245kV;  
Frequenza nominale:.....50Hz;  
Unità di interruzione per polo:.....3;  
Corrente ammissibile di breve durata:.....ad 1sec: 50kA;  
Corrente di picco ammissibile:.....135kA;  
Range di temperatura di funzionamento:.....-40 fino +50°C.

### Norma Cei 62271-100 adottata per la scelta dei nuovi interruttori

Come si è visto nel paragrafo precedente, la Norma Cei da adottare per gli interruttori ad alta tensione è la 62271-100. Nella stessa vengono descritte le seguenti caratteristiche da tenere in considerazione per le scelte: Caratteristiche nominali, prove di tipo, costruzione e progetto degli interruttori di potenza, prove individuali e sicurezza. Per la scelta delle due diverse tipologie Live Tank e Dead Tank si è ovviamente tenuto conto delle definizioni prescritte dalla norma.

## **4.2 Sezionatori**

### **4.2.1 Sezionatori a pantografo**

I sezionatori a pantografo verticali che si è deciso di utilizzare sono del produttore Alstom e sono la migliore soluzione per la connessione tra cavi posizionati a quote diverse, perché possono realizzare il sezionamento/la connessione direttamente nello spazio tra le linee inferiori e quelle superiori quando queste si incrociano. Questa configurazione consente una facile manutenzione dello scomparto d'installazione, poiché tutti i componenti di linea (incluso lo stesso sezionatore) possono essere raggiunti mentre le sbarre sopra ad essi sono in tensione. Inoltre, lo scomparto è più compatto rispetto a soluzioni con sezionamento orizzontale.



**Figura 30: Prova di tenuta atmosferica del pantografo**

Le parti attive del sezionatore a pantografo scelto come alternativa a quelli presenti sono costruite in alluminio, rame argentato e possiedono viterie di acciaio inossidabile. I contatti rotanti sono del tipo autopulente e possono sopportare migliaia di cicli senza manutenzione, questo fattore presenta un grande vantaggio rispetto a quelli attuali. Le basi e tutti i componenti di acciaio sono zincati a caldo per garantire l'affidabilità nel tempo.

### Opzioni

- Una o due lame di terra integrate;
- Manovra di correnti di commutazione sbarre fino a 1600A in conformità alla Norma IEC 62271-102;
- Funzionamento con 10mm o 20mm di ghiaccio (in conformità alla norma IEC 62271-102).

<b>VALORI NOMINALI</b>												
<b>Tensione nominale</b>		<b>Ur</b> (kV)	<b>72.5</b>	<b>123</b>	<b>145</b>	<b>170</b>		<b>245</b>	<b>300</b>	<b>362</b>	<b>420</b>	<b>550</b>
Tensione nominale di tenuta a frequenza industriale	TE	<b>Ud</b> (kV)	140	230	275	325	395	460	380	450	520	620
	AID	<b>Ud</b> (kV)	160	265	315	375	460	530	435	520	610	800
	TE	<b>Up</b> (kV)	350	550	650	750	900	1050	1050	1175	1425	1550
	AID	<b>Up</b> (kV)	375	630	750	860	1050	1200	(+170)	(+205)	(+240)	(+315)
Tensione nominale ad impulso di manovra	TE	<b>Us</b> (kV)	-	-	-	-	-	-	850	950	1025	1175
	AID	<b>Us</b> (kV)	-	-	-	-	-	-	(+245)	(+295)	(+345)	(+450)
TE : Verso terra												
AID : Distanza di sezionamento												
Corrente nominale permanente		<b>Ir</b> (A)	Fino a 4000A									
Tenuta alla corrente nominale di corto circuito		<b>Ik</b> (kA)	Fino a 63kA / 3s									
Tenuta al valore di picco della corrente corto circuito		<b>Ip</b> (kA)	Fino a 160kA									

**Tabella 2:Caratteristiche tecniche del sezionatore a pantografo**

### Caratteristiche dimensionali

Tensione nominale:.....	245kV;
Corrente nominale:.....	4000A;
Tenuta ad impulso atmosferico:.....	1050kV;
A:.....	2450mm;
B:.....	3800mm;
C:.....	2400mm.

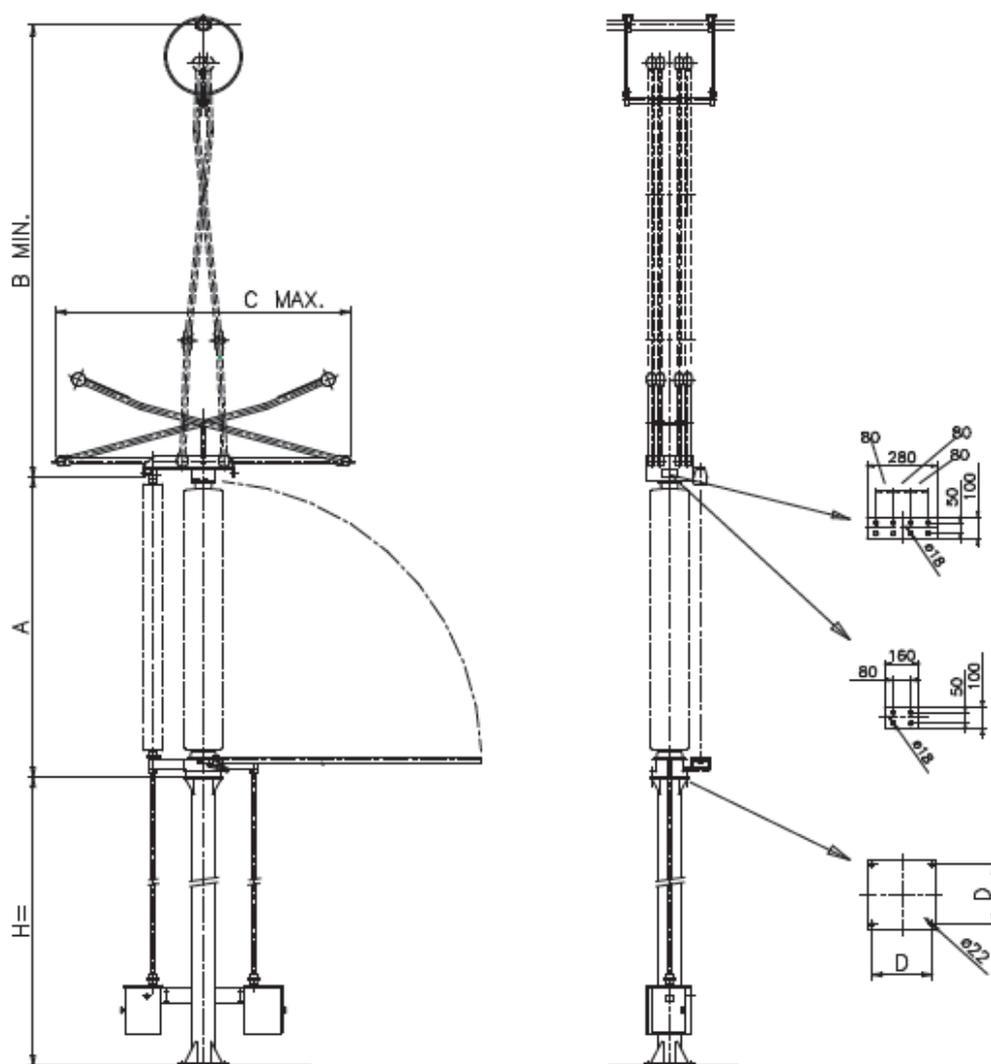


Figura 31:Struttura del sezionatore a pantografo

### 4.2.2 Sezionatori a gomito verticale

Questa configurazione consente una facile manutenzione dello scomparto d'installazione, poiché tutti i componenti di linea (incluso lo stesso sezionatore) possono essere raggiunti mentre le sbarre sopra ad essi sono in tensione. Per le sue prestazioni estreme, il sezionatore a gomito verticale costituisce la soluzione più compatta ed efficiente, grazie alle sue funzioni, cinematiche ed elettriche, dissociate. In posizione aperta, le

sezioni della pala ripiegano su se stesse avendo così una profondità leggermente superiore alla metà della lunghezza della zona aperta e rendendolo ancora più compatto di un interruttore pantografo standard.

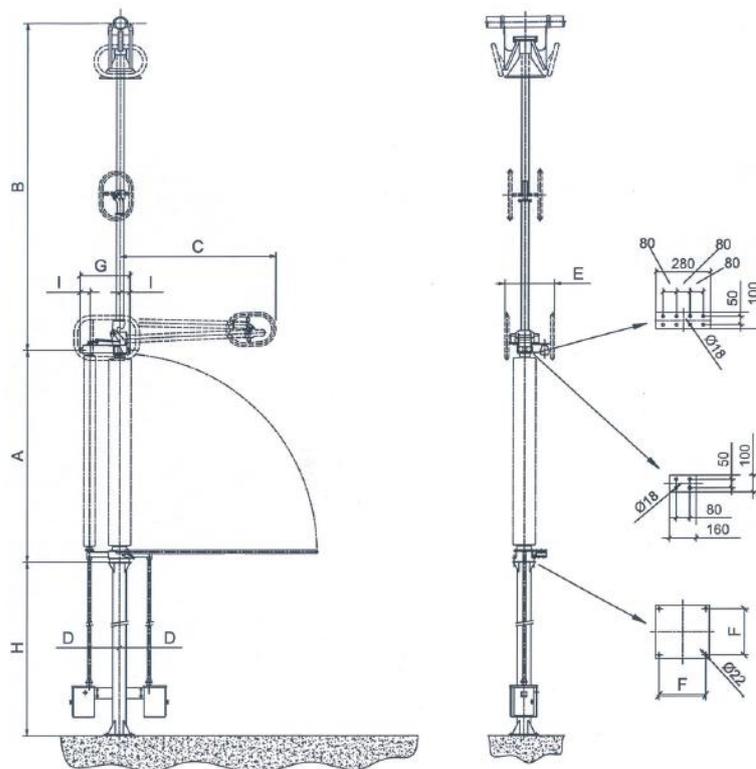
Le parti attive sono di alluminio, di rame argentato, con viterie di acciaio inossidabile. I contatti rotanti ad alte prestazioni sono del tipo auto pulente e possono sopportano migliaia di cicli senza manutenzione. Le basi e tutti i componenti di acciaio sono zincati a caldo e come osservato per la soluzione precedente, queste caratteristiche assicurano la durata nel tempo. I sezionatori a gomito vengono principalmente utilizzati nelle zone dove il pericolo che i contatti possono ghiacciare è elevato. L'apertura e la chiusura del pantografo è facilmente visibile dagli addetti ai lavori.

### Opzioni

- Una o due lame di terra integrate;
- Funzionamento con 10mm o 20mm di ghiaccio (in conformità alla norma IEC 62271-102).

### Dimensioni caratteristiche del sezionatore a gomito

Tensione nominale:.....245kV;  
 Corrente nominale:.....4000A;  
 Tenuta ad impulso atmosferico:.....1050kV;  
 A:.....2510mm;  
 B:.....4000mm;  
 C:.....1700mm;  
 D:.....425mm.



**Figura 32:Struttura del sezionatore a gomito verticale**

La tabella che segue descrive le caratteristiche tecniche di sezionatori funzionanti fino ad una tensione di 800kV.

<b>VALORI NOMINALI</b>										
<b>Tensione nominale</b>		<b>Ur</b> (kV)	<b>170</b>	<b>245</b>	<b>300</b>	<b>362</b>	<b>420</b>	<b>550</b>	<b>800</b>	
Tensione nominale di tenuta a frequenza industriale	TE	<b>Ud</b> (kV)	325	395	460	380	450	520	620	830
	AID	<b>Ud</b> (kV)	375	460	530	435	520	610	800	1150
	TE	<b>Up</b> (kV)	750	900	1050	1050	1175	1425	1550	2100
	AID	<b>Up</b> (kV)	860	1050	1200	(+170)	(+205)	(+240)	(+315)	(+455)
Tensione nominale ad impulso di manovra	TE	<b>Us</b> (kV)	-	-	-	850	950	1050	1175	1425
	AID	<b>Us</b> (kV)	-	-	-	(+245)	(+295)	(+345)	(+450)	(+650)
TE : Verso terra										
AID : Distanza di sezionamento										
Corrente nominale permanente		<b>Ir</b> (A)	Fino a 4000A							
Tenuta alla corrente nominale di corto circuito		<b>Ik</b> (kA)	Fino a 63kA / 3s							
Tenuta al valore di picco della corrente corto circuito		<b>Ip</b> (kA)	Fino a 160kA							

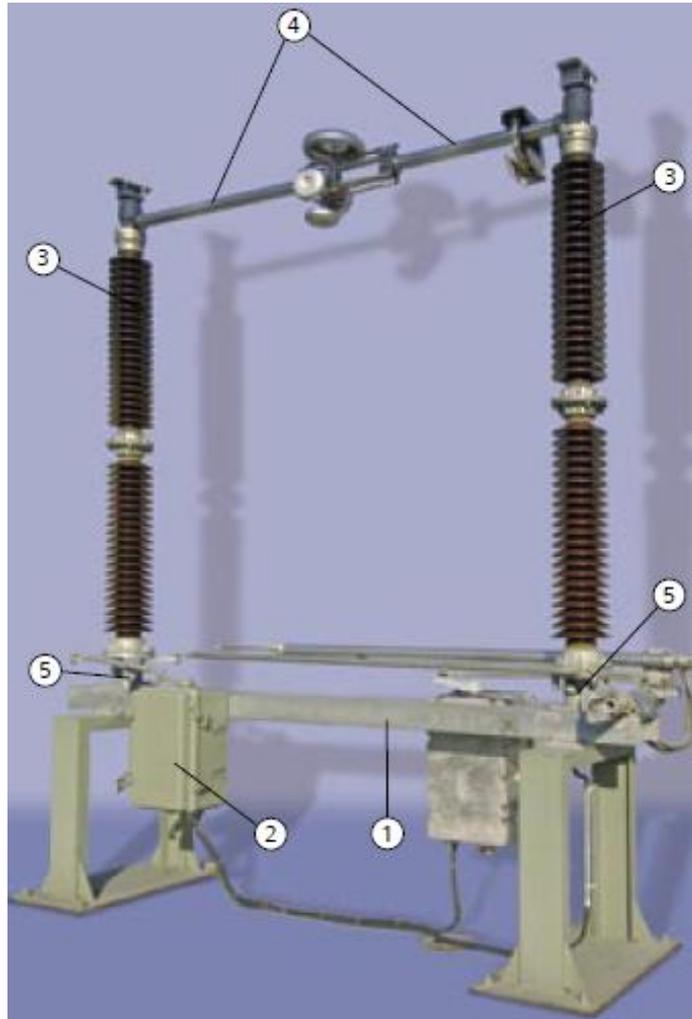
**Tabella 3:Caratteristiche tecniche del sezionatore a gomito verticale**

### ***4.2.3 Sezionatori ad apertura centrale***

Il sezionatore ad apertura centrale è così versatile da poter essere utilizzato in molti tipi di sottostazioni. Grazie alla sua semplicità di concezione e di azionamento, può essere disposto in parallelo, in linea o anche in configurazioni trasversali. Le parti attive sono di alluminio, di rame argentato con viterie in acciaio inossidabile. I contatti rotanti sono realizzati con lamelle flessibili di alluminio, o del tipo auto pulente, con elementi caricati singolarmente per mezzo di molle di acciaio inossidabile, caratteristiche che garantiscono tenuta e sicurezza nel tempo. Le basi e tutti i componenti di acciaio sono zincati a caldo, i cuscinetti sono auto lubrificanti a vita. Il sezionatore rotativo è la configurazione più comunemente utilizzata nelle sottostazioni di tutta Europa.

### Caratteristiche strutturali

- Sottostruttura (1) con azionamento a motore (2);
- Isolatori portanti (3);
- Braccia di percorso della corrente elettrica (4);
- Le unità rotanti (5) contengono due cuscinetti a sfera di alta qualità e sono progettati per elevate sollecitazioni meccaniche. Essi sono lubrificati a vita ed esenti da manutenzione.



**Figura 33: Sezionatore ad apertura centrale**

Il sezionatore rotativo scelto come alternativa a quelli presenti nella sottostazione della centrale elettrica di Naturno sono costituiti da pochi elementi mobili. In questo modo anche le possibilità di rottura o danneggiamento sono ridotte al minimo. Il design modulare del sezionatore rotativo fornisce la possibilità di adattare gli elementi di sicurezza in funzione del sezionatore durante il funzionamento

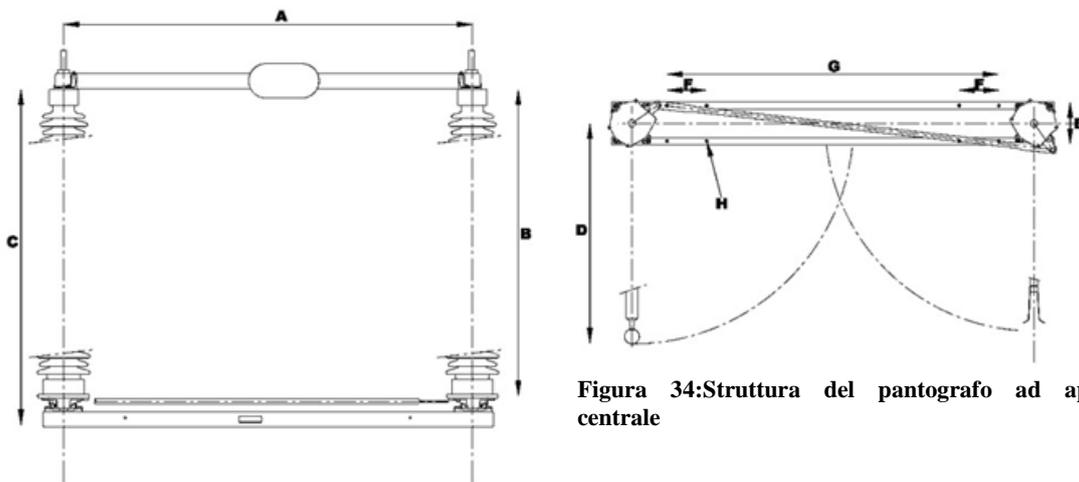
### Opzioni

- Una o due lame di terra integrate;
- Manovra di correnti di commutazione sbarre fino a 1600A in conformità alla norma IEC 62271-102;
- Funzionamento con 10mm o 20 mm di ghiaccio (in conformità alla norma IEC 62271-102).

VALORI NOMINALI												
Tensione nominale		Ur (kV)	72.5	123	145	170	245		300	362	420	550
Tensione nominale di tenuta a frequenza industriale	TE	Ud (kV)	140	230	275	325	395	460	380	450	520	620
	AID	Ud (kV)	160	265	315	375	460	530	435	520	610	800
Tensione nominale di tenuta ad impulso atmosferico			325 (IEC)									
	TE	Up (kV) (ANSI)	350	550	650	750	900)	1050	1050	1175	1425	1550
	AID	Up (kV)	375	630	750	860	1050	1200	(+170)	(+205)	(+240)	(+315)
Tensione nominale ad impulso di manovra	TE	Us (kV)	-	-	-	-	-	-	850	950	1050	1175
	AID	Us (kV)	-	-	-	-	-	-	(+245)	(+295)	(+345)	(+450)
TE : Verso terra												
AID : Distanza di sezionamento												
Corrente nominale permanente		Ir (A)	Fino a 4000A IEC / ANSI									
Tenuta alla corrente nominale di corto circuito		Ik(kA)	Fino a 63kA / 3s									
Tenuta al valore di picco della corrente corto circuito		Ip(kA)	Fino a 160kA									
DIMENSIONI (mm)	A		900	1400	1600	1800	2400	2900	2900	3200	4500	4500
	B	IEC	770	1220	1500	1700	2100	2300	2300	2900	3350	3650
		ANSI	762	1143	1372	1575	2032	2337	2337	-	-	-

<b>C</b>	IEC	940	1390	1670	1870	2370	2570	2570	3170	3672	3972
	ANSI	932	1313	1542	1745	2302	2607	2607	-	-	-
<b>D</b>		550	800	900	1000	1300	1550	1550	1700	2475	2475
<b>E</b>		150	150	150	150	270	270	270	270	300	300
<b>F</b>		-	-	-	-	270	270	270	270	250	250
<b>G</b>		1050	1550	1750	1950	2200	2700	2700	3470	4750	4750
<b>H</b>		4Ø18	4Ø18	4Ø18	4Ø18	8Ø18	8Ø18	8Ø18	8Ø18	8(18x36)	8(18x36)

**Tabella 4:Caratteristiche tecniche del sezionatore ad apertura centrale**



**Figura 34:Struttura del pantografo ad apertura centrale**

Come osservato precedentemente, questa tipologia di sezionatore è stata scelta perché consente il funzionamento anche in condizioni ambientali critiche. I morsetti di contatto sono infatti studiati per resistere ad innumerevoli problemi che potrebbero nascere a causa di condizioni ambientali difficili e riducono al minimo il rischio di arco elettrico garantendo la sicurezza strutturale ed elettrica nel tempo.



**Figura 35:Contatti principali**

#### ***4.2.4 Sezionatori a gomito orizzontale***

Questa configurazione di sezionatore orizzontale consente, come si è visto anche nel caso del sezionatore a gomito verticale, di ridurre al minimo gli ingombri all'interno della sottostazione. Condivide infatti con il tipo ad apertura verticale la possibilità di ridurre al minimo la distanza fase/fase con l'ulteriore vantaggio di avere un'apertura ridotta in posizione aperta. È uno dei sistemi di apertura orizzontale maggiormente utilizzata al mondo perché garantisce grande efficienza anche nelle situazioni ambientali più difficili. Questo sezionatore è infatti molto più robusto dell'alternativa ad apertura centrale e riesce inoltre a sopportare facilmente venti molto forti e con temperature decisamente basse. L'efficienza di questa soluzione consente altissime prestazioni, bassi consumi energetici, azionamenti veloci per tensioni fino a 800kV, correnti permanenti fino a 6300A e valori di picco della corrente di corto circuito fino a 75kA. I poli possono inoltre essere combinati per condividere la stessa colonna di isolatori dei loro contatti fissi, costituendo una soluzione ideale per configurazioni circuitali ad un interruttore e mezzo. Le parti attive sono costruite in alluminio, rame argentato e le viterie di acciaio inossidabile. I contatti rotanti ad alte prestazioni sono del tipo auto-pulente e possono sopportare migliaia di cicli senza manutenzione. Le basi e tutti i componenti di acciaio sono zincati a caldo.



**Figura 36:Sezionatore a gomito orizzontale**

##### Opzioni

- Una o due lame di terra integrate;
- Manovra di correnti di commutazione sbarre fino a 1600A in conformità alla norma IEC 62271-102;
- Funzionamento con 10mm o 20mm di ghiaccio (in conformità alla norma IEC 62271-102).

<b>VALORI NOMINALI</b>									
<b>Tensione nominale</b>		<b>Ur(kV)</b>	<b>245</b>		<b>300</b>	<b>362</b>	<b>420</b>	<b>550</b>	<b>800</b>
Tensione nominale di tenuta a frequenza industriale	TE	<b>Ud(kV)</b>	395	460	380	450	520	620	830
	AID	<b>Ud(kV)</b>	460	530	435	520	610	800	1150
Tensione nominale di tenuta ad impulso atmosferico			950						
	TE	<b>Up(kV)</b>	900	1050	1050	1175	1425	1550	2100
					1050	1175	1425	1550	2100
Tensione nominale ad impulso di manovra	AID	<b>Up(kV)</b>	1050	1200	(+170)	(+205)	(+240)	(+315)	(+455)
	TE	<b>Us(kV)</b>	-	-	850	950	1050	1175	1425
					700	800	900	900	1100
	AID	<b>Us(kV)</b>	-	-	(+245)	(+295)	(+345)	(+450)	(+650)
TE : Verso terra									
AID : Distanza di sezionamento									
Corrente nominale permanente		<b>Ir(A)</b>	Fino a 6300A						
Tenuta alla corrente nominale di corto circuito		<b>Ik(kA)</b>	Fino a 75kA / 3s						
Tenuta al valore di picco della corrente corto circuito		<b>Ip(kA)</b>	Fino a 190kA						
<b>DIMENSIONI (mm)</b>	<b>A</b>		3310	3310	3310	3960	4360	5080	5980
	<b>B</b>		2300	2500	2500	3120	3570	4090	5240
	<b>C</b>		2100	2300	2300	2900	3350	3850	5000

**Tabella 5:Caratteristiche tecniche del pantografo a gomito orizzontale**

### ***4.3 Trasformatori di misura***

Le caratteristiche fondamentali del trasformatore di tensione induttivo si sono viste nel capitolo riguardante la struttura della sottostazione. Verrà in seguito analizzata una valida alternativa.

Generalmente si usano trasformatori di misura con più di due avvolgimenti, destinati a svolgere funzioni diverse (misura o protezione), o che, pur avendo due soli avvolgimenti, possono svolgere contemporaneamente, sia pure con qualche limitazione, le due funzioni. Per regolamentare le caratteristiche e le prestazioni dei trasformatori di misura e i rapporti tra costruttori e acquirenti, sono state messe a punto diverse Norme della IEC e del CENELEC. Le Norme emesse dal CENELEC, EN, sono automaticamente trasposte in Norme nazionali dal CEI.

### 4.3.1 Trasformatore di misura voltmetrico

La tipologia di trasformatori di misura EOF dell'azienda Pfiffner viene principalmente utilizzata negli impianti di tensione compresa tra 24KV e 245kV. Essi trasformano la tensione in valori ottimali per la loro misurazione. La parte attiva del trasformatore voltmetrico si trova all'interno della base e l'isolamento dall'alta tensione viene effettuata mediante olio/carta (viene utilizzato un olio minerale di alta qualità). All'interno dell'isolatore è posizionato il contatto. La testa del trasformatore di misura scelto per questo progetto ha lo scopo di garantire l'espansione di volume dell'olio compensandolo a causa delle variazioni della temperatura. Il trasformatore di misura di tipo induttivo analizzato possiede una camera d'espansione di acciaio inox mentre lo stato attuale dell'olio si può osservare attraverso un'apposita finestra in vetro.

La parte esterna del trasformatore composta da materiali metallici è ulteriormente rinforzata mediante una speciale lega d'alluminio che ricopre la struttura. L'isolatore principale è composto da materiale ceramico, le caratteristiche dell'isolamento sono quindi uguali ai trasformatori voltmetrici attualmente presenti all'interno della sottostazione di Naturno. La chiusura ermetica del trasformatore garantisce inoltre un funzionamento corretto anche dopo decenni di funzionamento, in quanto una delle parti più fragili del sistema, l'isolamento in olio/carta non è soggetto a problemi di natura atmosferica. Il trasformatore

scelto come alternativa a quello attualmente presente all'interno della sottostazione presenta inoltre i morsetti di dimensione maggiorata: in questo modo è possibile, mediante la scelta del relativo trasformatore amperometrico da affacciare, di ridurre gli ingombri al minimo. Questo trasformatore di misura offre inoltre la possibilità di non dover essere posizionare direttamente al suolo ma può essere alzato ad una quota maggiore attraverso dei piloni. Questo è ottimale per quanto riguarda la Norma Cei 11-27 che analizza le relative distanze di sicurezza da mantenere in ogni condizione.



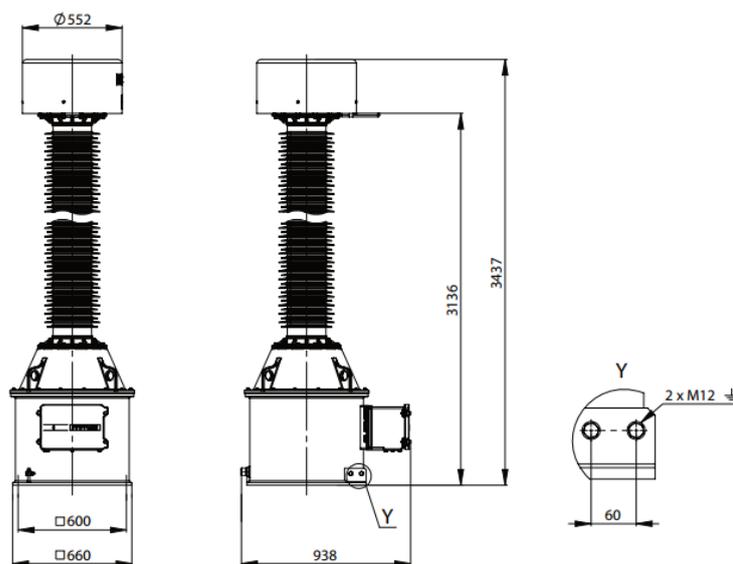
**Figura 37:Trasformatore voltmetrico**

### Caratteristiche tecniche

Tensione nominale:.....245kV;  
Frequenza:.....50Hz;  
Potenza massima nominale classe 0.2:.....300VA;  
Numero spire secondarie:.....<5;  
Potenza termica massima:.....<3000VA.

### Caratteristiche dimensionali

Altezza totale del trasformatore voltmetrico:.....3437mm;  
Altezza dei contatti:.....3136mm;  
Profondità della base:.....938mm;  
Distanza di isolamento:.....8045mm;  
Peso approssimativo:.....610kg.



**Figura 38:Struttura del trasformatore di misura voltmetrico**

### Vantaggi del trasformatore di tensione induttivo

- Protezione degli avvolgimenti secondari contro sovratensioni transitorie in alta tensione grazie ad un'accurata schermatura capacitiva;
- Grande sicurezza d'esercizio grazie alla mancanza di parti attive all'interno dell'induttore;
- Ridotta induzione all'interno del nucleo metallico;
- Struttura ottimizzata per ridurre al minimo le quantità di olio.

### ***4.3.2 Trasformatore di misura amperometrico***

I trasformatori di corrente scelti come alternativa a quelli attualmente presente all'interno della sottostazione elettrica di Naturno è il tipo JOF, sempre dell'azienda Pfiffner. Si tratta di commutatori ad alta tensione che arrivano fino a 550kV. Essi trasmettono correnti in valori equivalenti standardizzati per i dispositivi contatori, di misura e protezione. La parte attiva del convertitore di potenza si trova in questo caso all'interno della testa del dispositivo.



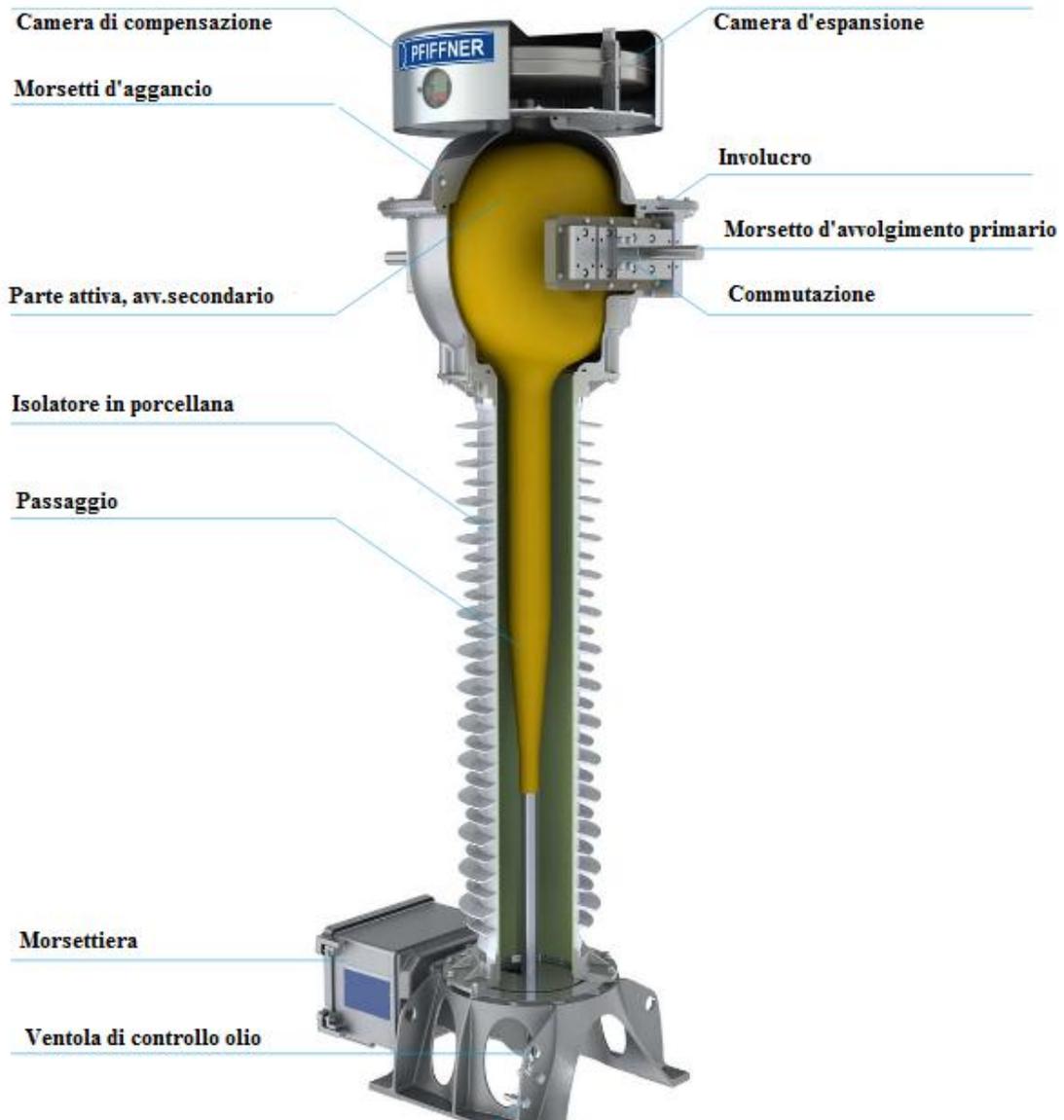
**Figura 39: Rivestimento in alluminio del TA**

Si è scelto di utilizzare la carta e l'olio

come tipologia principale di isolamento in modo da avere i due trasformatori di misura funzionanti nello stesso modo. Si osserva che nel caso del trasformatore di misura amperometrico, la camera d'espansione e sicurezza non si trova più all'interno della struttura di testa, ma all'interno di una camera posta superiormente ad essa. Anche questo dispositivo è dotato di oblò per poter osservare lo stato dell'olio. La base e la testa sono rivestite in una speciale lega d'alluminio per evitare problemi di perdita di isolamento nel tempo. Questo trasformatore di misura amperometrico viene infatti utilizzato in zone soggette a forti variazioni atmosferiche. La morsettiera presenta dimensioni maggiori rispetto a riduttori di misura standard per consentire il montaggio ravvicinato del trasformatore voltmetrico.

#### Vantaggi del trasformatore di misura amperometrico

- Distribuzione di tensione ottimale e riduzione di scariche localizzate grazie al conduttore posto all'interno dell'isolatore;
- Maggiore sicurezza contro gli archi elettrici;
- Grande margine di sicurezza: nessuna parte attiva all'interno dell'isolatore;
- Design ottimizzato e diminuzione della quantità di olio all'interno del dispositivo;
- Contatti elettrici in lega d'alluminio: vantaggio di durata nel tempo.



**Figura 40:Struttura interna del trasformatore amperometrico**

Caratteristiche tecniche

- Tensione d'esercizio:.....245kV;
- Tensione di tenuta d'impulso:.....1050kV;
- Frequenza:.....50Hz;
- Corrente primaria nominale:.....1-4000A;
- Corrente secondaria nominale:.....1/5A;
- Limite termico di corrente:.....<63KA/1s;
- Limite dinamico di corrente:.....<160kA.

Ogni trasformatore di misura amperometrico deve essere in grado di sopportare, sotto gli aspetti termici e dinamici correnti elevate per tempi brevi in caso di guasto (cortocircuiti in rete). Si individuano così la corrente termica di breve durata nominale e la corrente dinamica nominale. La corrente dinamica nominale

viene espressa con il valore di picco e corrisponde normalmente a 2.5 volte la corrente termica nominale di breve durata.

#### Caratteristiche dimensionali

Altezza totale del trasformatore amperometrico:.....	3912mm;
Altezza dei contatti:.....	3248mm;
Profondità della base:.....	851mm;
Distanza di isolamento:.....	8250mm;
Peso approssimativo:.....	830kg.

### ***4.3.3 Trasformatore combinato di tensione e corrente***

Per i trasformatori destinati ad impianti ad alta tensione e funzionanti all'aperto si ricorre a volte ai TVA nei quali, nello stesso involucro ceramico, sono contenuti due apparecchi: un trasformatore amperometrico ed un trasformatore voltmetrico. Questa soluzione che consente la riduzione dei costi di primo acquisto (un solo involucro isolante) e di impianto (minore spazio occupato), è utilizzata poco in Europa. Il rischio di interferenza tra i due sistemi elettromagnetici è infatti elevato per cui esistono apposite Norme Cei che prescrivono delle prove atte a verificare che queste interferenze siano minime. Esistono due possibili schemi di collegamento tra i due apparecchi, che prevedono alternativamente il TA a monte o a valle del TVI (il primo schema è solitamente preferito). Usando trasformatori combinati si riesce a risparmiare molto spazio rispetto all'utilizzo di trasformatori separati: viene utilizzato soprattutto all'interno di sottostazioni elettriche nelle quali la riduzione di spazio è una priorità.

All'interno della testa del trasformatore combinato sono presenti sia la parte relativa al trasformatore voltmetrico, posizionata superiormente, che la parte relativa al trasformatore di misura amperometrica posizionata inferiormente. Nel trasformatore voltmetrico il morsetto primario è collegato all'alta tensione, mentre quello secondario al potenziale finale. Per garantire la continuità d'esercizio la struttura del trasformatore combinato è come negli esempi precedentemente descritti, costruito in acciaio inox. Questo speciale prodotto, isolato in gas SF<sub>6</sub>, si adegua benissimo per ambienti con temperature comprese tra -40°C e 50°C.

#### Vantaggi del trasformatore combinato

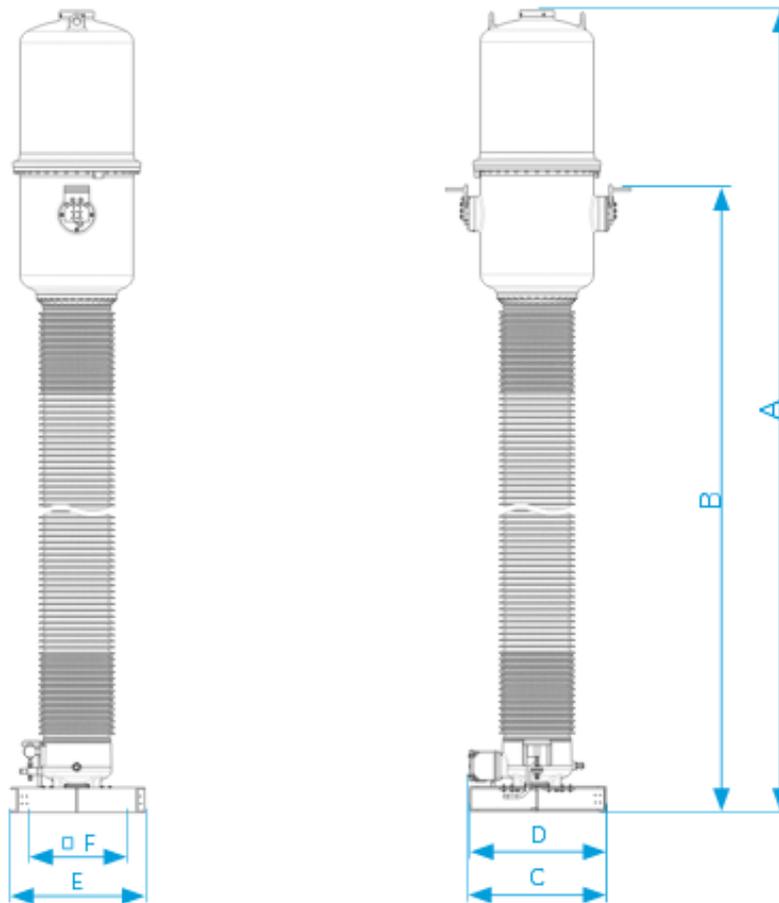
- Costi di trasporto dimezzati rispetto ai TV e TA forniti separatamente;
- Spazio dimezzato rispetto alla scelta di TV e TA separati;
- Risparmio di materiale per la struttura base e per il cablaggio;
- Risparmio di tempo per la manutenzione;
- Risparmio di tempo per l'installazione.



Figura 41: Immagine dell'interno del trasformatore combinato di tensione e corrente

Caratteristiche tecniche

Tensione d'esercizio:.....	245kV;
Tensione di tenuta d'impulso:.....	1050kV;
Frequenza:.....	50Hz;
Corrente primaria nominale:.....	1-5000A;
Corrente secondaria nominale:.....	1/5A;
Limite di potenza termica TV:.....	<3000VA;
Potenza TV:.....	300VA;
Numero avvolgimenti TV:.....	massimo 5.



**Figura 42:Struttura del trasformatore combinato**

Caratteristiche dimensionali

Altezza totale del trasformatore combinato:.....	4980mm;
Altezza dei contatti:.....	3375mm;
Profondità della base:.....	845mm;
Distanza di isolamento:.....	6700mm;
Peso approssimativo:.....	940kg.

Norma Cei 11-1 relativa ai trasformatori di misura

I circuiti secondari dei trasformatori di misura devono essere collegati a terra o separati dai circuiti primari per mezzo di schermi metallici collegati a terra. Il punto di collegamento a terra del circuito secondario deve essere stabilito in modo da evitare interferenze elettriche. I trasformatori di misura devono essere installati in modo che i loro terminali secondari siano facilmente accessibili con apparecchiatura fuori tensione.

### Trasformatori di corrente

Il fattore di sicurezza e la prestazione nominale devono essere scelti per assicurare il corretto funzionamento dell'apparecchiatura di protezione e per impedire danni all'apparecchio di misura in caso di cortocircuito. Nelle reti di alta tensione che possiedono una costante di tempo primaria elevata e nelle quali è prevista la richiusura, si raccomanda di tenere conto dell'effetto transitorio dovuto alla componente aperiodica della corrente di cortocircuito. Nel caso di apparecchi di misura collegati ai nuclei di protezione dei trasformatori di corrente, tali apparecchi devono, se necessario, essere protetti dai danni derivanti dalle forti correnti di cortocircuito per mezzo di trasformatori ausiliari adeguati. Una schermatura efficace tra i circuiti primari e secondari deve essere prevista per ridurre le sovratensioni transitorie sui circuiti secondari generate da manovre. Non si devono inserire sezionatori, interruttori o fusibili sui circuiti secondari dei trasformatori di corrente.

### Trasformatori di tensione

I trasformatori di tensione devono essere scelti in modo che il valore nominale della tensione secondaria e la classe di precisione siano adeguate agli apparecchi collegati. Si deve considerare il rischio che si manifesti il fenomeno di ferrorisonanza (circuito LC in serie, in cui l'induttanza è da considerarsi saturabile, cioè un avvolgimento con un determinato numero di spire di materiale conduttore intorno ad un nucleo di materiale ferromagnetico, ad esempio un trasformatore a vuoto). Il lato secondario dei trasformatori di tensione deve essere protetto dagli effetti dei cortocircuiti e si raccomanda che questi dispositivi di protezione siano monitorati.

## 5. Controllo delle distanze

In questa ultima parte della tesi si analizza se gli elementi elettrici alternativi scelti precedentemente seguendo le Norme Cei consentono agli addetti ai lavori di muoversi all'interno della sottostazione senza correre alcun pericolo. Come si è osservato, la Norma Cei 11-27 prescrive delle distanze minime dai componenti elettrici in tensione, che devono essere assolutamente mantenute per evitare non solo i contatti con parti attive, ma anche altri pericoli. Inizialmente è stata analizzata l'area pedonale della sottostazione ed attraverso AutoCad sono state evidenziate le zone all'interno delle quali è proibito accedere con la sottostazione normalmente in tensione. Queste aree, evidenziate in grigio chiaro, devono essere recintate per garantire la sicurezza degli addetti alla manutenzione, che si occupano fra le altre cose anche la rasatura del manto erboso della sottostazione. La recinzione deve possedere un'altezza minima da terra di due metri. Per effettuare qualsiasi lavoro all'interno delle aree evidenziate è sempre necessario mettere gli elementi fuori tensione. Al contrario, l'accesso alle aree non evidenziate è possibile anche qualora gli elementi elettrici siano in tensione. Massima attenzione deve essere posta nel caso si acceda alla sottostazione con scale o attrezzi di dimensioni non trascurabili. In questo caso, avendo posto la base degli isolatori portanti, degli isolatori dei sezionatori, dei trasformatori di misura e degli interruttori Live tank ad una quota di due metri, è necessario considerare l'attrezzatura come parte del corpo. La distanza di sicurezza risulterà quindi ridotta. Un'ulteriore aspetto precedentemente analizzato riguarda la soluzione di utilizzo degli interruttori di potenza Dead tank. In questo caso è necessario recintare gli stessi dato che vengono posizionati a terra o comunque sopra una struttura in cemento di altezza trascurabile. L'area tratteggiata è quindi stata calcolata considerando la quota alla quale è posizionata la parte in tensione mediante la distanza limite  $D_L$  e la distanza di prossimità  $D_V$ .

Nella seconda pianta realizzata si osserva la zona all'interno della quale è possibile accedere mediante mezzi motorizzati. In questo caso, oltre alla Norma Cei 11-27 è stata presa in considerazione la Norma Cei 11-1. L'area tratteggiata rappresenta la zona accessibile nella quale tutti i lavori devono essere eseguiti con i componenti elettrici e le linee fuori tensione. Anche in questo caso sono state analizzate le distanze limite  $D_L$  e di prossimità  $D_V$  tenendo però in considerazione l'altezza del mezzo di trasporto che per i calcoli si è supposto di 2,5 metri. Con la scelta degli elementi elettrici eseguita precedentemente si può osservare come sia adesso possibile raggiungere alcune parti della sottostazione che in precedenza non erano accessibili come la partenza degli stalli delle macchine e la zona di distribuzione dell'energia gestita da Terna. Nel caso venissero utilizzati degli interruttori di potenza Dead tank vale la stessa considerazione fatta in precedenza: l'area si riduce.

In rosso sono evidenziati gli elementi elettrici, in turchese la struttura portante ed in grigio le due aree descritte.

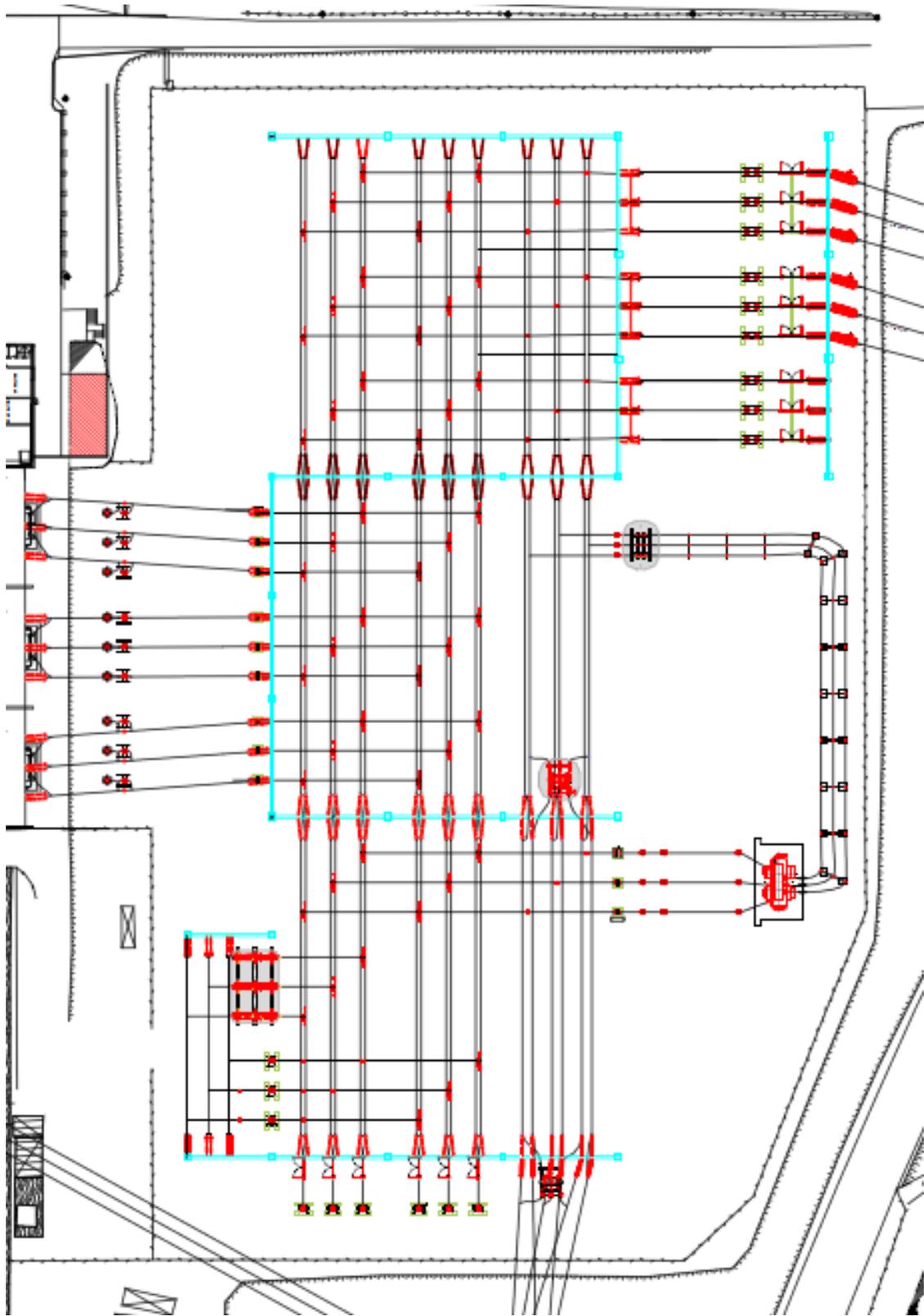


Figura 43: Evidenziate in grigio le zone non accessibili con componenti in tensione

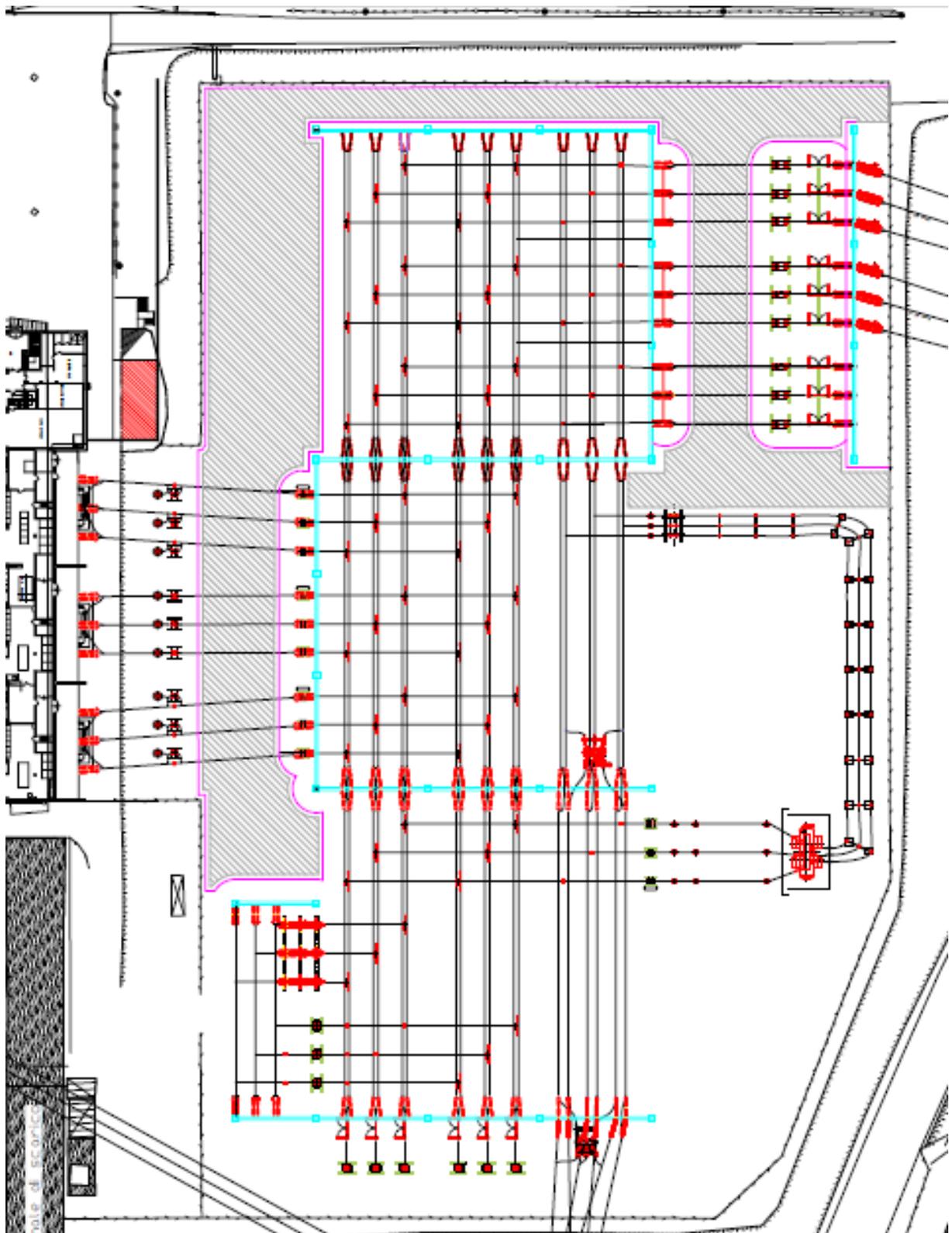


Figura 44: Evidenziata e tratteggiata in grigio l'area accessibile con mezzi motorizzati

## 6. Conclusioni

Il presente lavoro di tesi magistrale ha cercato di mettere in evidenza i componenti e gli aspetti fondamentali che caratterizzano una sottostazione elettrica. In particolar modo è stata analizzata la sottostazione di Naturno ma svolgendo il lavoro nel modo ampiamente descritto è possibile ottenere risultati soddisfacenti riguardo lo svecchiamento di qualsiasi sottostazione elettrica.

L'interrogativo principale all'inizio del lavoro era proprio se fossi riuscito oppure no nell'intento di aggiornare la sottostazione di Naturno andando ad analizzare tutti i componenti elettrici che ritenevo datati e studiando le Norme Cei che credevo importanti per raggiungere il risultato finale. Tale obiettivo è stato raggiunto mediante uno scrupoloso lavoro di ricerca di nuovi componenti elettrici che potrebbero in futuro prendere il posto di quelli attualmente presenti. La scelta di studiare le attuali Norme Cei viene da forte interesse personale per l'argomento, il quale mi ha spinto ad approfondire un aspetto importante che durante gli anni di studio non ho avuto modo di conoscere a fondo. Come emerge dall'elaborato, gli interruttori di potenza, i sezionatori e trasformatori di misura introdotti permettono di incrementare il livello di affidabilità della centrale e garantiscono il rispetto delle norme di sicurezza vigenti. Va sottolineato che le ricerche di tali componenti si sono svolte trascurando il costo effettivo degli stessi ma cercando di trovare una soluzione tecnica ottimale che soddisfacesse gli obiettivi inizialmente posti. Nonostante la ricerca non fosse partita dall'obiettivo di ottimizzare i costi, i risultati ottenuti mediante la scelta dei nuovi componenti elettrici garantiscono un grande vantaggio in termini di risparmio in manutenzione.

L'altro obiettivo che si è cercato di raggiungere è quello di ottenere l'aumento di spazio utile all'interno della sottostazione e da quanto è facilmente individuabile dalle ultime figure, tale obiettivo è stato centrato. La progettazione di una nuova sottostazione non comporta le problematiche che nascono attualizzando una sottostazione già esistente, in quanto i cambiamenti vengono effettuati con la sottostazione in servizio. L'architettura della sottostazione non può in questo caso essere radicalmente modificata, anche questo aspetto è stato considerato dall'inizio degli studi per la stesura di questa tesi.

L'esperienza lavorativa avuta presso gli uffici di Merano e la sottostazione di Naturno dell'Azienda Energetica mi hanno permesso di osservare le problematiche che nascono sul campo e prendere alcune decisioni in maniera autonoma.

## 7. Indice immagini e tabelle

Figura 1: Immagine satellitare di Naturno e dintorni:.....	7
Figura 2: Diga di Vernago:.....	9
Figura 3: Condotta forzata:.....	10
Figura 4: Centrale elettrica di Naturno:.....	11
Figura 5: Sala di controllo: .....	12
Figura 6: Immagine aerea della sottostazione:.....	13
Figura 7: Pianta originale della sottostazione elettrica:.....	14
Figura 8: Struttura portante della sottostazione:.....	17
Figura 9: Cablaggio della sottostazione:.....	19
Figura 10: Posizionamento dei componenti elettrici:.....	20
Figura 11: Struttura dell'interruttore di potenza:.....	25
Figura 12: Interruttore di potenza completo:.....	25
Figura 13: Schema elettrico TA:.....	27
Figura 14: Trasformatori di misura presenti a Naturno:.....	28
Figura 15: Schema elettrico TV:.....	28
Figura 16: Sezionatore a pantografo:.....	29
Figura 17: Sezionatore rotativo:.....	30
Figura 18: Posizione aperta e chiusa dei sezionatori presenti a Naturno:.....	31
Figura 19: Isolatori a catena:.....	32
Figura 20: Impianto di terra della sottostazione di Naturno:.....	34
Figura 21: Distanze di sicurezza:.....	40
Figura 22: Struttura dell'interruttore Live Tank:.....	48
Figura 23: Interruttore chiuso:.....	48
Figura 24: Contatto principale aperto:.....	49
Figura 25: Apertura; contatto d'arco in posizione aperta:.....	49
Figura 26: Posizione finale; apertura totale:.....	49
Figura 27: Meccanismo a molla:.....	50
Figura 28: Componenti del meccanismo a molla:.....	50
Figura 29: Interruttore di potenza Dead Tank:.....	52
Figura 30: Prova di tenuta atmosferica del pantografo:.....	53
Figura 31: Struttura del sezionatore a pantografo:.....	55
Figura 32: Struttura del sezionatore a gomito verticale:.....	56
Figura 33: Sezionatore ad apertura centrale:.....	58
Figura 34: Struttura del pantografo ad apertura centrale:.....	60
Figura 35: Contatti principali:.....	60
Figura 36: Sezionatore a gomito orizzontale:.....	61

Figura 37: Trasformatore voltmetrico:.....	63
Figura 38: Struttura del trasformatore di misura voltmetrico:.....	64
Figura 39: Rivestimento in alluminio del TA:.....	65
Figura 40: Struttura interna del trasformatore amperometrico:.....	66
Figura 41: Immagine dell'interno del trasformatore combinato di tensione e corrente:.....	68
Figura 42: Struttura del trasformatore combinato:.....	69
Figura 43: Evidenziate in grigio le zone non accessibili con componenti in tensione:.....	72
Figura 44: Evidenziata e tratteggiata in grigio l'area accessibile con mezzi motorizzati:.....	73
Tabella 1: Valori delle distanze di sicurezza:.....	40
Tabella 2: Caratteristiche tecniche del sezionatore a pantografo:.....	54
Tabella 3: Caratteristiche tecniche del sezionatore a gomito verticale:.....	57
Tabella 4: Caratteristiche tecniche del sezionatore ad apertura centrale:.....	59
Tabella 5: Caratteristiche tecniche del pantografo a gomito orizzontale:.....	62

## 8. Bibliografia e sitografia

### 8.1 Bibliografia

- Archivio Azienda Energetica delle città di Bolzano e Merano: *Kraftwerk Naturns: Betriebsanleitung, Schaltanlagen*;
- *ABB: impianti elettrici Vol 9*
- *Manuale Cremonese di Elettrotecnica Vol 3*
- Roberto Turri – Appunti e dispense del corso “Sistemi elettrici per i trasporti”;
- Roberto Caldon – Appunti e libro del corso “Trasmissione dell’energia elettrica”
- Roberto Caldon – Appunti e libro del corso “Impianti di produzione dell’energia elettrica”

### 8.2 Legislatura e Norme

- Norma Cei 11-1: *Impianti elettrici con tensione superiore a 1kV in corrente alternata*;
- Norma Cei 11-4: *Esecuzione delle linee elettriche aeree esterne*;
- Norma Cei 11-17: *Impianti di produzione, trasmissione e distribuzione pubblica di energia elettrica*;
- Norma Cei 11-27: *Lavori su impianti elettrici*;
- Norma Cei 36-12: *Caratteristiche degli isolatori portanti per interno ed esterno destinati a sistemi con tensioni nominali superiori a 1000V*;
- Norma Cei EN 60099-4: *Scaricatori, Parte 4: Scaricatori ad ossido metallico senza spinterometri per reti elettriche a corrente alternata*;
- Norma Cei EN 60099-5: *Scaricatori, Parte 5: Raccomandazioni per la scelta e l’applicazione*;
- Norma Cei EN 60168: *Prove di isolatori portanti per interno ed esterno di ceramica o di vetro, per impianti con tensione nominale superiore a 1000V*;
- Norma Cei EN 60383-1: *Isolatori per linee aeree con tensione nominale superiore a 1000V Parte 1: Isolatori in materiale ceramico o in vetro per sistemi in corrente alternata Definizioni, metodi di prova e criteri di accettazione*;
- Norma Cei EN 60383-2: *Isolatori per linee aeree con tensione nominale superiore a 1000V: Parte 2: Catene di isolatori e equipaggiamenti completi per reti in corrente alternata Definizioni, metodi di prova e criteri di accettazione*;
- Norma Cei EN 60694/A1/A2: *Prescrizioni comuni per l’apparecchiatura di manovra e di comando ad alta Tensione*;
- Norma Cei EN 60694: *Prescrizioni comuni per l’apparecchiatura di manovra e di comando ad alta Tensione*;
- Norma Cei EN 62271-100: *Apparecchiatura ad alta tensione Parte 100: Interruttori a corrente alternata ad alta tensione*;

- Norma Cei EN 62271-102: *Apparecchiatura ad alta tensione Parte 102: Sezionatori e sezionatori di terra a corrente alternata per alta tensione;*
- Norma Cei EN EN 62305-2: *Protezione contro i fulmini Parte 2: Valutazione del rischio;*

### **8.3 Sitografia**

- [www.ae-ew.it](http://www.ae-ew.it)
- [www.siemens.com](http://www.siemens.com)
- [www.abb.com](http://www.abb.com)
- [www.alstom.com](http://www.alstom.com)
- [www.pmw.ch](http://www.pmw.ch)
- [www.provincia.bz.it](http://www.provincia.bz.it)
- [www.suedtirol.info](http://www.suedtirol.info)
- [www.ceiweb.it](http://www.ceiweb.it)



## RINGRAZIAMENTI

Un grazie di cuore a tutte le persone che mi sono state vicine in questi anni di università, che mi hanno sostenuto moralmente e che hanno condiviso con me ogni momento: la mia famiglia e le persone a me care.

Un grande abbraccio a tutti i coinquilini che in questi anni hanno dedicato e condiviso il loro tempo e le loro forze per vivere con me quest'esperienza.

Ringrazio il Prof. Roberto Turri, che mi è stato vicino e mi ha seguito in questo particolare tema.

Un grazie sincero all'Azienda Energetica "Etschwerke" ma soprattutto all'Ing. Anton Stimpfl, per i suoi preziosi aiuti e consigli, per la sua disponibilità, e per la generosità del supporto tecnico e morale.

Vorrei inoltre ringraziare l'università di Riga per avermi dato la possibilità di studiare e vivere per alcuni mesi in quella splendida città.

*La dedica di questa tesi va però alla persona più forte, dolce e comprensiva  
che ho avuto la fortuna di conoscere,  
mia madre Maddalena*