UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea in
Ingegneria Elettrotecnica

MODELLO E VERIFICA DELLA RETE MT DEL SISTEMA DI PROTEZIONE DELLA LAGUNA DI VENEZIA

RELATORE
Prof. Fellin Lorenzo

STUDENTE
Zambelli Sandro

Anno Accademico 2010/2011

Indice

1 Introduzione **1**
- 1.1 Lo scopo . . . 1
- 1.2 Le motivazioni della costruzione del Mose . . . 2

2 Descrizione generale **7**
- 2.1 Descrizione generale opere civili . . . 7
- 2.2 Funzionamento . . . 9
- 2.3 Il compressore . . . 11

3 Impianto elettrico **13**

4 Flussi di potenza **19**
- 4.1 Descrizione della rete . . . 19
- 4.2 Flussi di potenza in condizioni di normale esercizio . . . 24
- 4.3 Variazioni topologiche-tipologiche . . . 26
  - 4.3.1 Normale esercizio con motore in avviamento a Lido . . . 26
  - 4.3.2 Controalimentazione di Lido da Malamocco . . . 27
  - 4.3.3 Controalimentazione di Lido da Chioggia . . . 28
  - 4.3.4 Controalimentazione di Lido da Chioggia con gestione magliata della rete a 20 kV . . . 31
  - 4.3.5 Funzionamento in isola delle bocche . . . 33
- 4.4 Conclusioni sui flussi di potenza . . . 33

5 Corti Circuiti **37**
- 5.1 Correnti di corto in normale esercizio dell'impianto . . . 39
- 5.2 Correnti di corto circuito massime . . . 41
- 5.3 Correnti di corto circuito minime . . . 42
- 5.4 Correnti di corto con rete in MT magliata . . . 43
- 5.5 Guasti in linea . . . 44

6 Avviamento Motori **45**
- 6.1 Avviamento con rete in normale esercizio . . . 47
- 6.2 Avviamento con la bocca di Lido alimentata a sbalzo da Brondolo 51
- 6.3 Avviamento con gestione magliata della rete a 20kV e la sola sottostazione di Brondolo disponibile . . . 55

7 Conclusioni **59**

A Sintesi elenco utenze **61**

B Fattori di contemporaneità **63**

C Fogli-dati motori **65**

D Fogli-dati trasformatori **69**

E Fogli-dati linee in cavo **73**

F Riepilogo grafico flussi di potenza **75**
F.1 Flussi di potenza in condizioni di normale esercizio 75
F.2 Normale esercizio con motore in avviamento a Lido 80
F.3 Controalimentazione di Lido da Chioggia con: gestione a sbalzo della rete a 20 KV, carichi rifasati e motori a regime minimo. . . . 83
F.4 Controalimentazione di Lido da Chioggia con gestione magliata della rete a 20 KV 86

G Riepilogo grafico corto circuiti **89**
G.1 Correnti di corto circuito massime 89
G.2 Correnti di corto circuito minime 92
G.3 Correnti di corto circuito con rete a 20 kV magliata 95
G.4 Correnti di corto circuito fase-terra 98
G.5 Gausti in linea 101
G.6 Correnti di corto circuito con rete magliata 105

Ringraziamenti **109**

Elenco delle figure

1.1 Livello medio del mar Mediterraneo dati Istituzione Centro Prevvisioni e Segnalazioni Maree 3
1.2 Distribuzione decennale delle alte maree >120 cm sullo zero mareografico di Punta Salute
Dati dell' Istituzione Centro Prevvisioni e Segnalazioni Maree . . 4

2.1 Sezione concettuale di una delle bocche di Lido 8
2.2 Schema concettuale della fase di emersione delle paratoie 10
2.3 Schema concettuale della fase di abbattimento delle paratoie . . . 11

6.1 48
6.2 48
6.3 49
6.4 50
6.5 50
6.6 52
6.7 54
6.8 56
6.9 57

Capitolo 1

Introduzione

1.1 Lo scopo

Lo scopo di questa tesi è quello di analizzare l'impianto elettrico del sistema di protezione della laguna di Venezia (MOSE).
A tal fine si è fatto uso di un software, precisamente Neplan versione 5.4., che ha permesso di simulare il comportamento dell'impianto in tutte le diverse configurazioni topologiche previste dal progettista.

Fin dalle prime simulazioni, però, si è potuto notare, spece nelle configurazioni più critiche, che la rete non era in grado di garantire la minima qualità del servizio, ragion per cui è parso molto interessante ipotizzare qualche diversa modalità di gestione che potesse assicurare un miglioramento del servizio e di conseguenza il buon funzionamento di ogni utenza connessa.

Un confronto finale tra tutte le possibili gestioni prese in considerazione e tra i vari valori dei principali parametri ottenuti dalla simulazione, ha quindi permesso di giungere alle conclusioni del nostro studio.

Durante tutto questo lavoro, il nostro interesse si è concentrato soprattutto su tre aspetti di particolare rilevanza nello studio di una rete elettrica: il primo riguarda l'andamento dei flussi di potenza e la determinazione delle massime cadute di tensione ai vari nodi, parametro quest' ultimo che indica il buon funzionamento di un impianto. Il secondo riguarda il calcolo dei valori delle correnti di corto circuito dovute a vari tipi di guasto che potrebbero avvenire; valori che risultano di notevole interesse nel dimensionare le protezioni da utilizzare e nel dimensionare le strutture meccaniche soggette a sforzi elettrodinamici. Infine il terzo aspetto, sicuramente non di minor importanza, si focalizza sullo studio dell'avviamento dei motori, analizzando l'andamento temporale dei principali parametri di macchina e di rete.

La parte descrittiva dell' impianto e nel complesso quella dell' intero sistema del Mose è stata ridotta volutamente ai minimi termini poichè una trattazione dettagliata prevedeva un enorme quantità di informazioni da esporre la qual cosa si sarebbe discostata completamente dallo scopo principale di questa tesi.

1.2 Le motivazioni della costruzione del Mose

La città di Venezia sorge all'interno di una vasta zona lagunare situata nel nord-est del mar Adriatico. La sua particolare localizzazione ha portato questa splendida città a legare, fin dalle sue origini, tutta la sua vita al mare traendo dallo stesso tutta la sua fortuna economica, artistica e culturale; infatti dal crollo dell'impero romano fino alla discesa di Napoleone Venezia fu la capitale indiscussa di tutti i traffici marittimi verso l'Europa settentrionale e il Mediterraneo. Tuttavia Il mare, pur assicurando ai veneziani vita e ricchezza, presentava per altri aspetti enormi problemi che influivano pesantemente sulla vita quotidiana, il principale era legato agli allagamenti dovuti al rialzamento delle acque della laguna a causa di una serie di coincidenze naturali; ragion per cui la repubblica che governava la città mise all' opera, fin da tempi remotissimi, i migliori ingegni per tentare di limitare questo problema.
Infatti non appena i commerci cominciarono a fruttare a Venezia ingenti guadagni, la Serenissima diede vita ad un' opera di ingegneria idraulica che per l'epoca si può definire grandiosa: decise di deviare il corso del fiume Piave, che gettava le sue acque in laguna, portandolo a sfociare direttamente in mare aperto. Ciò al fine di evitare che il suo tipico carattere torrentizio riempisse la laguna di detriti, limitando così le casse di espansione di cui necessitavano le acque per non crescere oltre il livello di guardia durante particolari coincidenze climatiche come per esempio la concomitanza di grosse portate dei fiumi affluenti alla laguna (dovute a lunghi periodi di pioggia), del normale fenomeno dell'alta marea astrale e del vento di Scirocco che preme l'Adriatico contro le coste settemtrionali. Questa immensa opera idraulica unita alla costante manutenzione delle coste e delle piane di marea della laguna di cui la reppubblica di Venezia si fece costantemente carico fino alla sua caduta, permise ai veneziani di controllare o quanto meno limitare i fenomeni di acqua alta e relativi danneggiamenti.

In epoca recente soprattutto dopo l' avvento della rivoluzione industriale il clima globale si è progressivamente surriscaldato e il fenomeno dell'eustatismo ha cominciato a delinearsi in modo sempre più chiaro, a causa dell'effetto serra che sta provocando un progressivo scioglimento delle calotte polari; come si può ben vedere nel grafico di figura 1.1 che mette in luce il livello medio del mare negli ultimi cento anni. Si è recentemente notato, inoltre, che anche il maltempo perdura per periodi molto più prolungati sulle regioni padane determinando spesso un notevole incremento di portata dei fiumi e dei canali che sfociano in laguna. Per di più, anche il fenomeno naturale della subsidenza risulta particolarmente marcato nella laguna veneta tanto che nell'ultimo secolo ha causato un inabissamento del fondale di ben 23 cm.
Tutti questi fattori, uniti al fatto che buona parte della laguna di Venezia è stata ceduta a coltivatori ittici, la cui presenza rende impossibile il restauro delle barene, delle velme e dei canali che garantirebbero una maggiore espansione della massa d'acqua in caso di alta marea, ha contribuito ad incrementare considerevolmente gli eventi di acqua alta oltre i livelli di guardia posti a $90 \div 100\,cm$ sullo zero mareografico di Punta Salute.

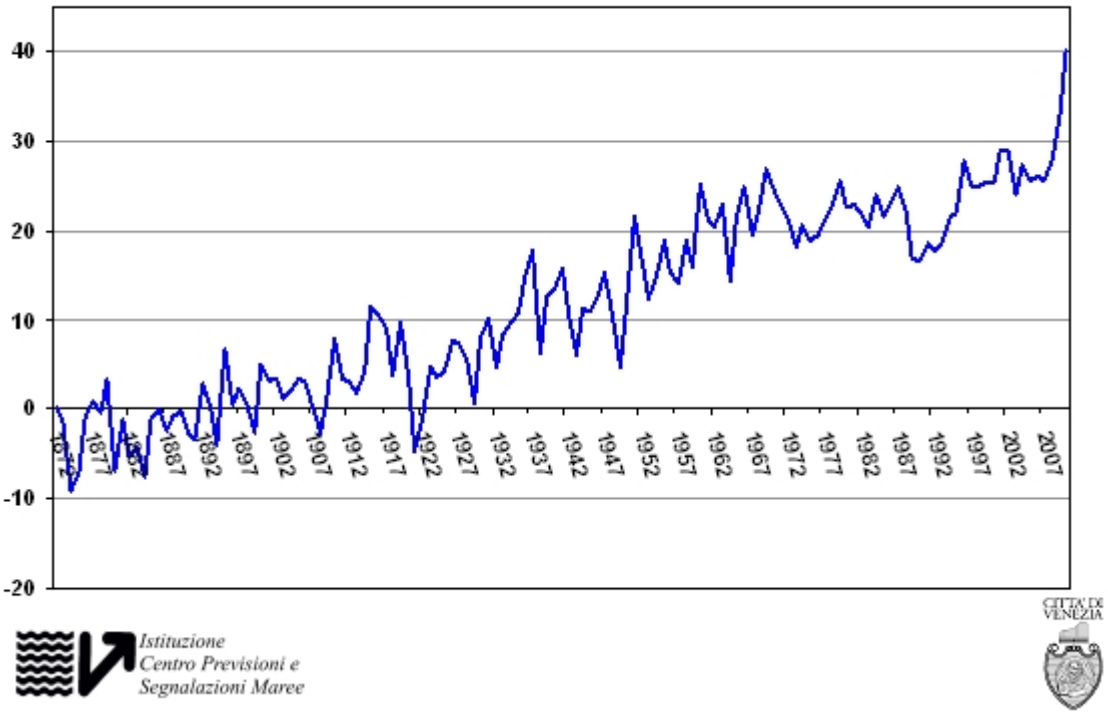


Figura 1.1: Livello medio del mar Mediterraneo dati Istituzione Centro Prevvisioni e Segnalazioni Maree

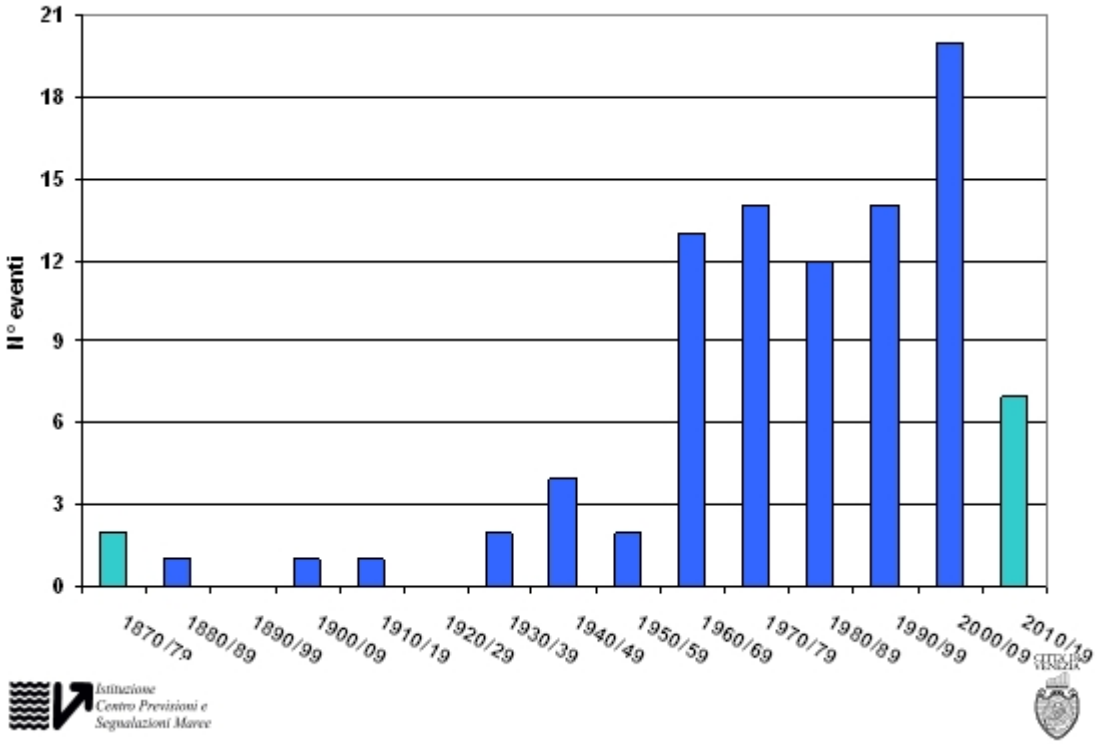


Figura 1.2: Distribuzione decennale delle alte maree >120 cm sullo zero mareografico di Punta Salute
Dati dell' Istituzione Centro Prevvisioni e Segnalazioni Maree

Negli ultimi sessant'anni con lo sviluppo industriale del nord-est e la creazione di uno dei maggiori poli industriali d' Italia: Porto Marghera, sono stati sottratti alla laguna ulteriori volumi d'acqua; inoltre, l'opera di dragatura del canale dei petroli che a dato vita ad alcuni isolotti artificiali (casse di colma), ha modificato le correnti interne alla laguna, riducendo ulteriormente la velocità di deflusso della marea e contribuendo ad elevare gli eventi di acqua alta,$\geq 120\,cm$ sullo zero idrografico, ad un numero che oscilla tra le sette e le venti volte all'anno rispetto ai primi anni del secolo quando un fenomeno di questa entità avveniva di rado, come si può apprendere nel grafico di figura 1.2.

Eventi di acqua alta di questa portata creano ingenti danni al patrimonio artistico ed architettonico di Venezia, poichè oltre il trenta percento della città viene completamente allagata compresi importanti musei, chiese e palazzi storici; pertanto lo Stato italiano, per porre definitivamente fine ad problema ormai insopportabile, ha deciso di dar vita, con la legge N. 798 del 29-11-1984, ad un ambizioso progetto idraulico di riqualificazione della laguna e di sbarramento, in caso di acqua alta, delle tre aperture che la congiungono con l' Adriatico. Il progetto è stato denominato MO.S.E. ed ormai è giunto ad un discreto stato di avanzamento lavori, sono completate infatti più del 40% delle opere civili previste nelle bocche mentre ormai sono ultimati i lavori di restauro di tutte le coste. La parte del piano che riguarda lo sbarramento delle tre bocche ha rappresentato e

in parte presenta ancora un importante sfida scientifico-tecnologica che ha visto impegnate contemporaneamente molteplici discipline dell'ingegneria tra cui anche l'ingegneria elettrica materia di nostro principale interesse.

Capitolo 2

Descrizione generale

2.1 Descrizione generale opere civili

Il MO.S.E., diversamente da quanto sostenuto da molti, rientra in un vasto piano di interventi volti a garantire la ristrutturazione e la salvaguardia della laguna. Tutte le coste dei due principali lidi, infatti, sono state sede di importanti lavori di rifacimento dei moli foranei al fine di impedire una rapida erosione della costa da parte delle correnti marine di intensità sempre crescente negli ultimi anni, che stava portando ad un rapido deterioramento dei lidi Sono state anche predisposte ingenti opere di dragatura e pulizia dei principali canali lagunari per poter garantire un miglior flusso e deflusso delle maree e il rifacimento delle velme e delle barene messe a dura prova negli ultimi anni dai fenomeni della subsidenza, dell'eustatismo e del moto ondoso provocato dal gran numero di navi, anche di grossa stazza, che percorrono la laguna.

Il MO.S.E., acronimo di MOdulo Sperimentale Elettromeccanico, è quindi solo un aspetto di un progetto più vasto, tuttavia esso ricopre un ruolo di notevole importanza ovvero interrompere il flusso di marea alle tre bocche nel caso in cui sia prevista acqua alta superiore a 110 cm sullo zero mareografico di Punta Salute.

Lo sbarramento è costitutito da una serie di paratoie mobili che normalmente sono adagiate sul fondale a totale scomparsa e che in caso di necessità vengono fatte emergere garantendo l'isolamento tra mare e laguna per un dislivello massimo pari a due metri.
Le paratoie sono previste in numero ed in dimensioni diverse per le varie bocche di porto e precisamente: 18 paratoie alla bocca di Chioggia, 19 a quella di Malamocco, mentre alla bocca di Lido, larga il doppio, due schiere di 20 (Lido-Treporti) e 21 (Lido-S. Nicolò) paratoie, al cui centro è stata creata un' isola artificiale.
Nel presente capitolo si descriverà la sola bocca di Lido-S.Nicolò poichè la logica con cui sono state progettate le altre due è identica.

La barriera è costituita da una serie di cassoni detti "di soglia" in calcestruzzo armato prefabbricati e successivamente affondati e fissati ad un basamento creato sul fondale marino composto da una elevato numero di pali troncoconici, anch'essi in cemento armato, conficcati per una quarantina di metri nel terreno che assicurano staticità e solidità al cassone, come si può osservare in figura 2.1.

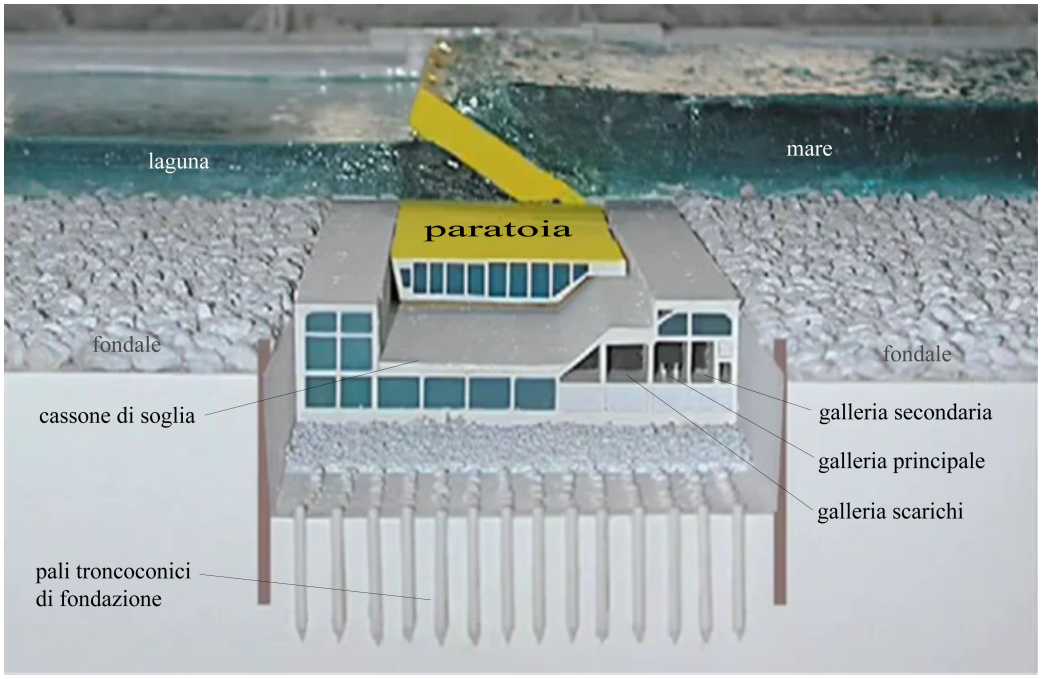


Figura 2.1: Sezione concettuale di una delle bocche di Lido

I cassoni alti $12\,m$ e lunghi $60\,m$ presentano un recesso entro cui stanno le paratoie, tre per ogni cassone, quando il sistema non è in funzione. Le paratoie sono costituite da una struttura modulare cava in acciaio opportunamente trattato contro l'aggressione dell' ambiente marino, presentano una larghezza pari a $20\,m$, un spessore pari a $5\,m$ e un' altezza dipendente dalla profondità della bocca di porto su cui sono installate. Ogni paratoia è connessa al cassone tramite un gruppo cerniera-connettore attraverso cui fluisce l'aria necessaria al suo funzionamento e i cavi necessari al controllo di posizione della stessa. I cassoni di soglia sono tutti affiancati, uniti tra loro ed attestati a due edifici detti di "spalla", inoltre al loro interno sono ricavate tre gallerie due delle quali sono adibite alla posa di tutte le tubazioni idrauliche, essenzialmente duplicate, che alimentano le paratoie e di tutti i cavi necessari al loro controllo e all' alimentazione dei sistemi di ventilazione delle gallerie, la terza, invece, è dedicata allo scarico dell' acqua proveniente dalle paratoie durante l'ultima fase del loro abbattimento.

L' area principale dove sono presenti tutti gli impianti che garantiscono il funzionamento dell'intero sistema è situata in una zona semicircolare al centro dell' isola artificiale. Al suo interno sono presenti tre edifici affiancati costruiti in buona parte sotto il livello del mare. Ogni edificio dà alloggio a diverse porzioni dell'impianto: uno serve ad ospitare tutti i sei gruppi motore-compressore dediti alla produzione di aria, divisi però da un muro in cemento armato che rende di fatto segregati i gruppi della sezione "A" dai gruppi della sezione "B", un altro, invece, ospita i quattro gruppi di produzione autonoma di energia elettrica anch'essi divisi nelle due sezioni. Infine il terzo edificio, posto tra i due precedenti e denominato edificio elettrico, contiene, in ambienti separati, entrambi i trasformatori MT/MT, i quadri a 6 kV dove sono attestati i generatori e i motori della

rispettiva sezione tramite linee in cavo di qualche decina di metri e i trasformatori MT/BT che garantiscono l'alimentazione di tutti i principali servizi usiliari di bocca. Le linee in cavo che vanno da un edificio all' altro e verso i cassoni di soglia scorrono in passerella entro tunnel sotteranei che interconnettono tutti gli edifici con i cassoni di spalla e quindi tramite quest'ultimi con quelli di soglia. All' interno dei medesimi tunnel scorrono anche le tubazioni di aria compressa che alimentano le paratoie ed i cavi e le fibre ottiche dedite al controllo e alla gestione dell' impianto.

2.2 Funzionamento

La gestione del sistema per la protezione dall' acqua alta prevede che avvenga lo sbarramento delle tre bocche di porto non appena il livello dell' acqua raggiunge i +110 cm sullo zero mareografico di Punta Salute; in quel preciso istante, verrà dato inizio alla prima fase di emersione delle paratoie.

Le paratoie, in condizioni di non operatività, sono adagiate entro gli appositi recessi ricavati nei cassoni al fine di non ostacolare il normale flusso di marea che permette il ricambio d' acqua della laguna. Grazie al loro peso e al fatto che sono interamente riempite d' acqua, riescono a resistere in posizione orizzontale anche in presenza di forti correnti o moti ondosi rilevanti, assicurando quindi che non avvenga alcun tipo di interferenza con le masse d'acqua in movimento sopra di loro.

Nel momento in cui verrà data l' autorizzazione all' avvio della fase di emersione i compressori azionati da motori elettrici cominceranno a produrre aria alla pressione di 4 bar assoluti che verrà inviata a gruppi di quattro paratoie alla volta a cominciare da quelle più adiacenti ai cassoni di spalla. L'aria, attraverso i condotti provenienti dall'edificio compressori, viene convogliata all'interno delle paratoie entro un apposito setto situato nel lato opposto alle cerniere che permette di rendere massimo il momento dovuto alla spinta idrostatica creata dalla bolla d'aria in pressione, garantendo così una rapida e più facile emersione della paratoia stessa.

In tutta questa fase sarà richiesta una considerevole portata d'aria che chiaramente dovrà mantenere valori di pressione non inferiori ai 4 bar, in quanto vi è la necessità, per poter garantire lo svuotamento della paratoia dall'acqua, di esercitare sulla massa di fluido contenuta al suo interno una pressione superiore a quella dovuta al battente d'acqua che insiste sulla valvola d'espulsione.

Man mano che la paratoia si svuota la spinta idrostatica aumenta facendo si che la stessa, vincolata al cassone dalle cerniere, si inclini fino ad emergere, isolando il mare dalla laguna. La posizione di lavoro è considerata pari a 45° di inclinazione nel verso concorde al flusso di marea crescente e prevede di poter far fronte, riempiendo d'aria i tre quarti dei volumi interni alla paratoia, ad un dislivello mare-laguna pari ad un massimo di $2\,m$. Chiaramente una volta portata la paratoia alla condizione di lavoro, i volumi d'aria per mantenerla in tale condizione sono notevolmente minori tanto da non richiedere più l'utilizzo di tutti i compressori in parallelo; dovrà pertanto essere prevista una certa flessibilità

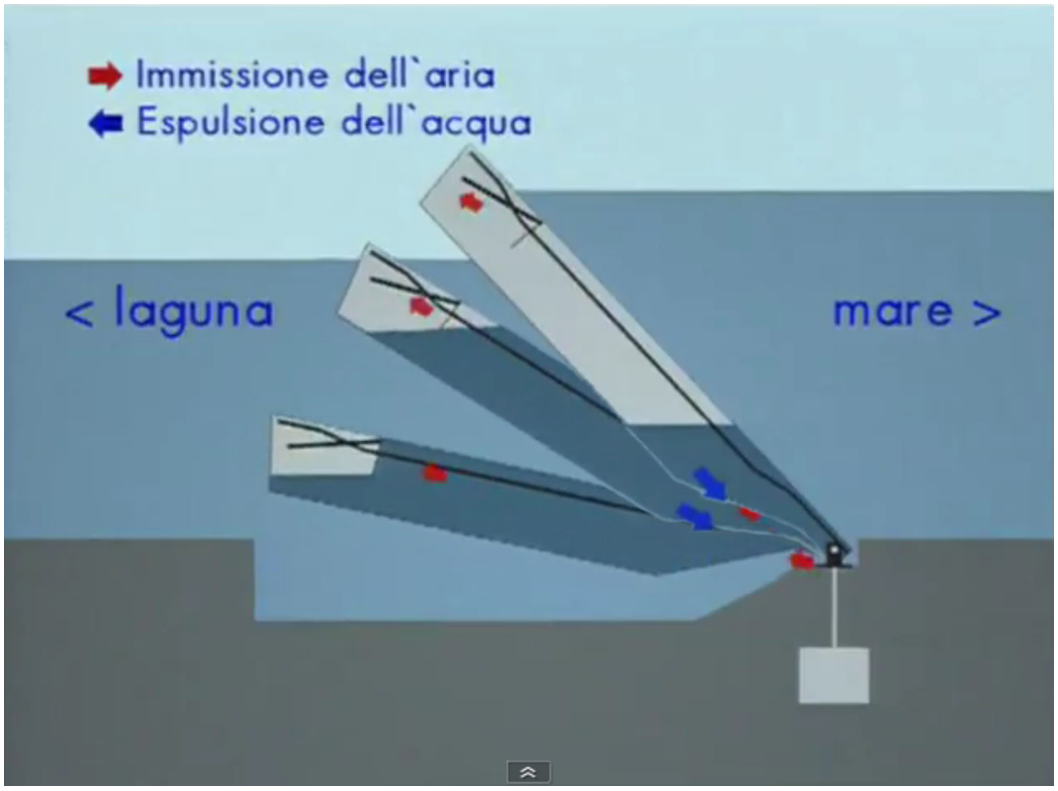


Figura 2.2: Schema concettuale della fase di emersione delle paratoie

di inserzione e dinserzione dei compressori al fine di seguire facilmente la marea. Per meglio comprendere come avviene la fase di emersione si può pensare di dividerla in tre parti ognuna caratterizzata da particolari operazioni e tempistiche di attuazione:

- 1° Parte: Decollo di tutte le paratoie dalla posizione di riposo entro i recessi dei cassoni all' emersione dell' intera schiera. Il tempo stimato per la bocca di Lido, se si considerano funzionanti due compressori per ogni sezione, è di circa 40 minuti; circa 4-5 minuti a gruppo di paratoie.

-2° Parte: Raggiungimento della posizione di lavoro da quella di emersione; in questa fase i compressori dovranno fornire la massima potenza poichè vi è la necessità di erogare contemporaneamente aria a tutte le paratoie e allo stesso tempo di ridurre i tempi per portare il sistema alla sua piena operattività, che sono dell'ordine di 40-50 minuti, se si considera una marea che determina un dislivello mare-laguna di partenza pari a $0,2\,m$.

-3° Parte: Mantenimento della posizione di lavoro al mutare del dislivello tra mare e laguna, questa è la fase in cui la paratoia insegue la marea con un gradiente di crescita massimo di quest'ultima pari a $0,4\,m/h$ di dislivello.

La figura 2.2 aiuta con uno schema concettuale a comprendere ancor meglio il funzionamento delle paratoie.

Quando il fenomeno di acqua alta scema e il dislivello mare laguna si riduce a zero, le paratoie vengono fatte rientrare nei recessi annegandole tramite lo scarico di tutta l'aria in pressione presente al loro interno. L' aria verrà fatta fuoriuscire

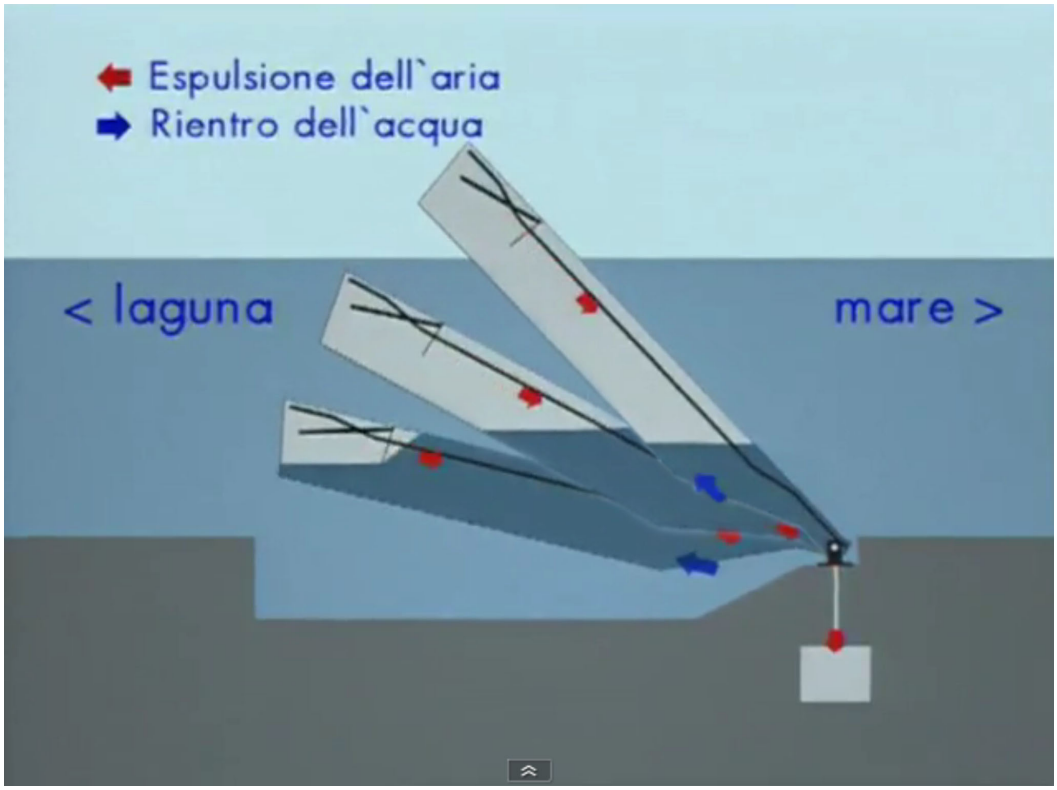


Figura 2.3: Schema concettuale della fase di abbattimento delle paratoie

dalle medesime tubature da cui era stata iniettata e attraverso la galleria scarichi verrà restituita all' atmosfera; la fase finale dell' abbassamento prevede che l'acqua in parte defluisca insieme all' aria nella galleria scarichi dove, soggetta alla forza di gravità, raggiungerà i pozzi posti nei cassoni di spalla da dove sarà restituita al mare tramite pompaggio. Nella figura 2.3 si possono distinguere i vari momenti della fase di abbattimento delle paratoie che dura circa 10-15 minuti.

2.3 Il compressore

E' di nostro particolare interesse porre qualche ulteriore accenno al compressore dal momento che rappresenta il carico meccanico connesso ai motori elettrici che saranno oggetto del nostro studio.

Il progetto prevede l'utilizzo di un compressore centrifugo bistadio in grado di garantire un servizio continuo, alternato però, da lunghi periodi di inattività. La scelta di utilizzare un compressore centrifugo è stata determinata principalmente da due esigenze: la prima è dovuta alla necessità che la macchina elabori portate molto diverse mantenendo un buon rendimento per ognuna di esse, la qual cosa risulterebbe notevolmente difficile da ottenere con un compressore di tipo assiale; la seconda, invece, riguarda il rischio di inquinamento dell'aria con olii di lubrificazione che nel compressore centrifugo è minore rispetto ad ogni altra tipologia di macchina.

Ogni compressore della bocca di Lido deve comprimere una portata massima di $8000\,m^3/h$ ad una pressione di 4 bar assoluti; generalmente, come si è già avuto modo di capire, i compressori lavorano in parallelo, pertanto ognuno di essi è controllato da un dispositivo centrale che distribuisce equamente il carico.

Nel compressore è prevista la presenza di due valvole, una in aspirazione in grado di parzializzare la portata, l' altra in mandata che permette di mantenere la pressione costante in modo tale da evitare che si creino carichi aereodinamici anomali sulle pale.

Le specifiche fornite dal costruttore del compressore indicano che lo stesso assorbe all'avviamento una coppia meccanica pari a circa il 10% della nominale a causa degli attriti statici dei cuscinetti e del moltiplicatore di giri, ed un ulteriore 10% dovuto al carico aerodinamico minimo che il compressore deve avere per scongiurare, al suo interno, la nascita di depressioni potenzialmente dannose per la macchina.

L' avviamento del compressore non può essere eseguito a pieno carico, in quanto, come si vedrà, il motore non è in grado di fornire coppia sufficiente a metterlo in rotazione, pertanto dovrà essere avviato a vuoto o per lo meno con una parzializzazione della portata. E' presente, infatti, nel compressore un quadro di controllo della valvola posta in aspirazione che permette di avviare il compressore, sia fornendo carico progressivamente all'aumentare della velocità fino al raggiungimento della piena portata, sia avviandolo con carico minimo (10% del nominale) e quindi, solo giunti alla velocità di rotazione nominale, fornirgli progressivamente il pieno carico.

Capitolo 3

Impianto elettrico

L'impianto elettrico si può definire il cuore pulsante dell'intero sistema di protezione della laguna di Venezia. Esso dovrà pertanto garantire assoluta affidabilità e continuità di servizio anche nell'ipotesi di comuni cause di guasto o di fuoriservizio di qualche suo elemento. A tale fine il progettista ha previsto la possibilità di alimentare tutte le utenze necessarie a garantire il sicuro funzionamento delle paratoie attraverso più vie distinte ed anche la possibilità di rendere, tramite generazione autonoma, l'intero impianto completamente indipendente dalla RTN.
La logica con cui è stato progettato l'impianto prevede tre punti di alimentazione, uno per bocca, dalla RTN. Le bocche di Chioggia, Malamocco e Lido saranno quindi alimentate dalle sottostazioni di proprietà di Enel Distribuzione rispettivamente di Brondolo, Sacca Fisola e Cavallino, tutte distanti non più di un chilometro dalla localizzazione dei principali impianti di bocca corrispondenti. La distanza che divide i tre impianti, invece, è quella della lunghezza dei due lidi veneziani di Pellestrina e di Lido corrispondente a circa una quindicina di chilometri.

I livelli di tensione utilizzati nell'impianto del Mose sono sostanzialmente quattro: un livello 20 kV a cui avviene il prelievo dell'energia dalle sottostazioni e, in caso di emergenza, l'eventuale distribuzione tramite linee in cavo alle altre due bocche di porto; un livello a 6 kV a cui avviene l'alimentazione dei motori utilizzati per la compressione dell'aria e la generazione di potenza in caso di indisponibilità totale o parziale della RTN; un livello a 0,4 kV a cui avviene l'alimentazione delle principali utenze ausiliarie in BT necessarie al funzionamento dell' intero sistema ed, infine, un livello a 0,23 kV derivato dal 0,4 kV che alimenta i banchi di batterie necessari a sostenere una minima capacità di continuità asssoluta e tutte le utenze monofasi presenti nei vari edifici quali ad esempio luci, pc, piccoli motori.

Ogni bocca si presenta divisa in due sezioni dette "A" e "B", in normale esercizio fisicamente distinte tra loro a tutti i livelli di tensione al fine di poter garantire parzialmente il servizio anche nell'ipotesi che una delle due sia completamente inutilizzabile.

Nel livello 20 kV per ogni bocca sono presenti tre quadri in MT blindati e isolati mediante gas SF_6 in pressione: uno situato in prossimità del punto di consegna Enel gli altri due situati, all'interno della stessa bocca, negli edifici

elettrici appartenenti a sezioni diverse dell'impianto.

Il quadro presente in sottostazione alimenta attraverso due terne di cavi distinte i rispettivi quadri di bocca delle sezioni "A" e "B" che, a loro volta, alimenteranno il trasformatore che permette di abbassare la tensione a 6 kV. La linea è formata da cavi unipolari in alluminio da $240\,mm^2$, con caratteristiche consultabili in Appendice E, posati per alcuni tratti in terra, per altri in mare ed per i restanti in passerella entro cavedotti. Sono state predisposte, inoltre, delle linee di interconnessione tra le varie bocche che formano un anello unendo il quadro appartenente alla sezione "A" di Chioggia con il quadro presente in sottostazione a Malamocco, il quadro presente nella sezione B di Lido con il quadro presente in sottostazione a Malamocco, il quadro presente nella sezione "B" di Chioggia con il quadro presente nella sezione "A" di Malamocco ed infine il quadro presente nella sezione "B" di Malamocco con il quadro presente nella sezione "A" di Lido; il progetto, tuttavia, prevede che quest' anello venga utilizzato per veicolare energia da una sottostazione ad un' altra ma sempre in modalità aperta, cioè utilizzando le linee per controalimentare a sbalzo una bocca la cui sottostazione non è più in grado di erogare potenza. Particolarmente utile per comprendere ancor meglio la topologia di rete è la figura di pagina 14 che rappresenta lo schema unifilare del livello di tensione 20 kV e che mette in luce la denominazione, utilizzata nel nostro studio, per identificare ogni singolo elemento dell' impianto.

La descrizione dei successivi livelli di tensione verrà effettuata con riferimento alla sola bocca di Lido sia perchè di maggiore interesse nei successivi paragrafi, sia perchè non è scopo di questo lavoro fornire ogni più piccolo dettaglio descritttivo inerente ad ogni bocca, ma soprattutto perchè la struttura e la logica di progettazione è la medesima per tutte e tre.

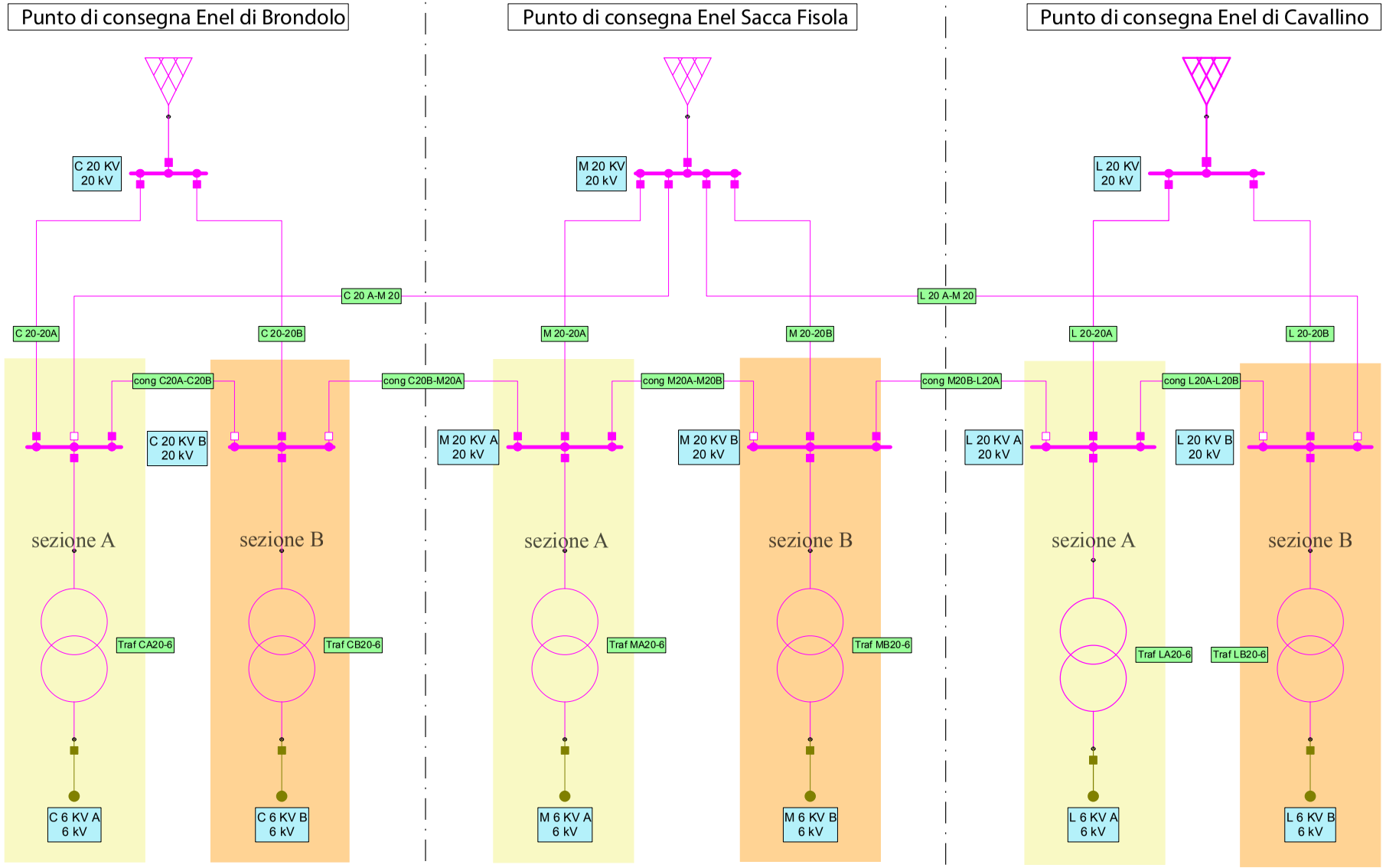
Come già detto ogni bocca prevede due sezioni che normalmente sono completamente indipendenti per i livelli di tensione inferiori ai 20 kV. Ogni sezione è alimentata dal quadro a 20 kV su cui è attestata l'alimentazione del traformatore le cui caratteristiche principali sono riportate in Appendice D. Il secondario di tale trasformatore, invece, alimenta un quadro, anch'esso di tipo blindato isolato in SF_6 e a tenuta d'arco interno, formato da due sbarre dotate di congiuntore su cui sono attestati, mediante una forchetta e relativo interruttore, i tre motori asincroni adibiti al pompaggio d'aria, i due generatori d'emergenza, le linee che vanno ad alimentare i trasformatori di bassa tensione, i due reattori a zig-zag che permettono il rientro delle correnti omopolari nel caso di guasto disimmetrico ed infine il congiuntore con il medesimo quadro della sezione adiacente che permette, chiudendolo, l'alimentazione dell'intera bocca anche con la disponibilità di un solo trasformatore 20/6 kV.

Il livello di tensione 0,4 kV assicura l'alimentazione a tutti i servizi ausiliari necessari al funzionamento del Mose. Pertanto per l' impianto di bassa tensione sono previsti due trasformatori di taglia standard 3,15 MVA, con caratteristiche consultabili in Appendice D, che alimentano tutte le utenze presenti nei principali edifici di bocca e un trasformatore da 0,8 MVA in ogni cassone di spalla riservato alle utenze relative alla "spalla" stessa e ad alcune di quelle presenti nei cassoni dall' alloggio delle paratoie.

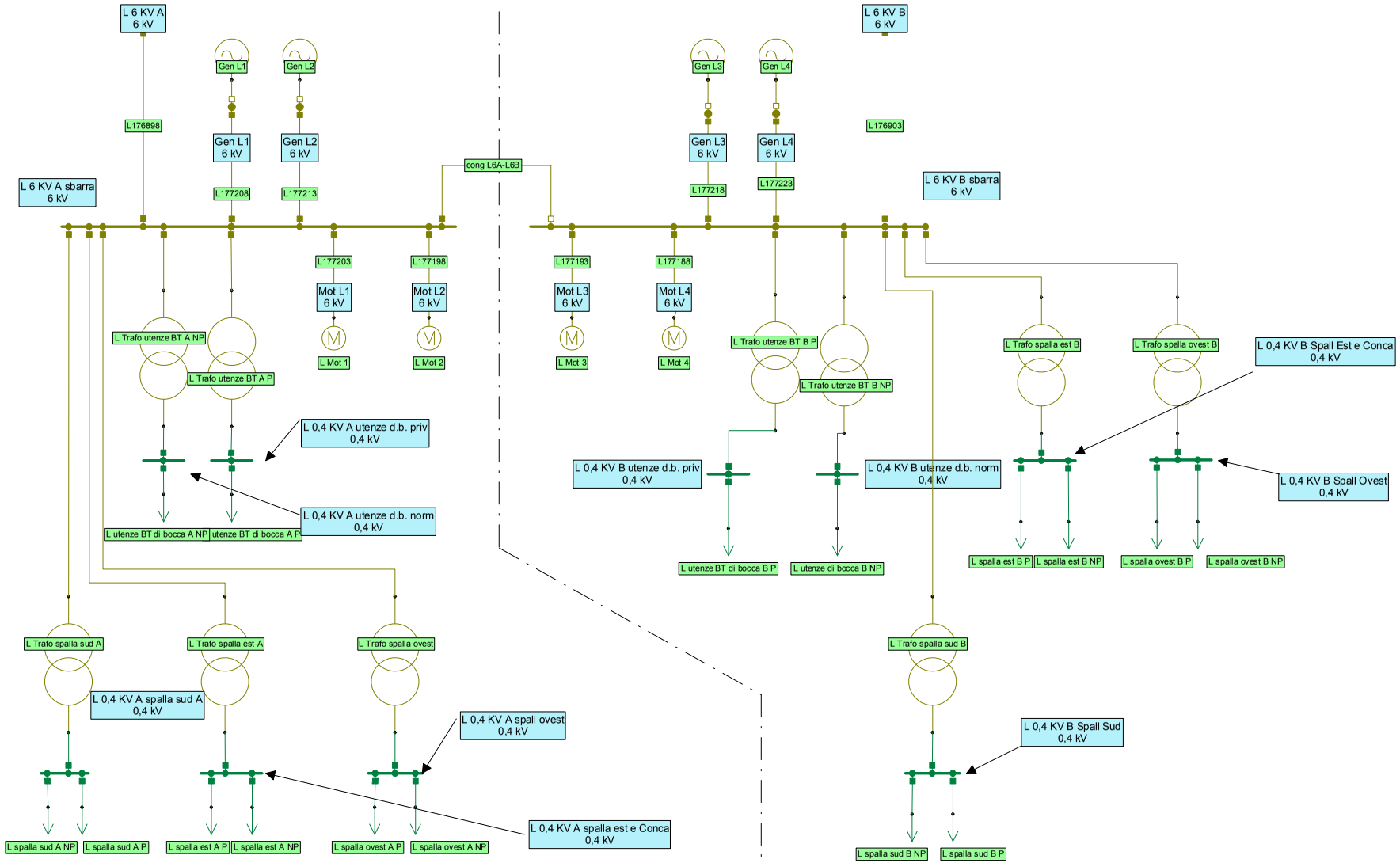
I due trasformatori da 3,15 MVA alimentano due quadri generali di distribuzione in bassa tensione detti *Power Center*: uno dedicato ai carichi privilegiati ritenuti cioè esseziali per le operazioni di sollevamento delle paratoie, l'altro riservato ai carichi non privilegiati ovvero carichi che normalmente sono connessi alla rete, ma che in caso di emergenza possono esssere senza alcun problema disalimentati. I tre trasformatori da 0,8 MVA si trovano, invece, nei locali elettrici di ogni cassone di spalla, poichè sarebbe stato troppo gravoso, in termini di cadute di tensione, veicolar loro l'energia in bassa tensione dall'edificio elettrico principale di bocca ove si trova il quadro a 6 kV. Tutti i secondari dei trasformatori di bassa che si trovano nei cassoni di spalla alimentano anch' essi dei *Power Center* che prevedono l'utilizzo di un'unica sbarra suddivisa in due parti unite da un interruttore normalmente chiuso. Su una delle due sono attestati tutti i carichi privilegiati presenti nell'edificio del cassone di spalla e la conca di navigazione nel caso della spalla ovest, sull'altra tutti i carichi non privilegiati; in caso di emergenza sarà sufficente aprire l'interruttore di congiunzione delle due semi sbarre per disalimentare i carichi non privilegiati.
Come nel caso del livello di tensione 20 kV, è disponibile nella figura di pagina 15 lo schema unifilare della bocca di Lido che permette di rendere più chiara la breve descrizione appena effettuata.

Per concludere si può dire che l'impianto elettrico del Mose si presenta come una classica rete doppio radiale con la presenza di un anello, gestito aperto, al livello di tensione 20 kV; tale rete appare normalmente divisa in due sezioni segregate tra loro che possono essere unite mediante congiuntori longitudinali posti ad ogni livello di tensione, permettendo di garantire, insieme all' anello in MT, un elevato numero di possibili configurazioni di rete in grado di isolare anche più elementi guasti contemporaneamente.

Schema unifilare della rete di interconnessione a 20 kV



Schema unifilare della bocca di Lido



Capitolo 4

Flussi di potenza

Lo scopo di questo capitolo è di mettere in luce i flussi di potenza relativi all'intero sistema Mose. I parametri che più ci interessa analizzare sono due: il primo è la caduta di tensione relativa ai vari nodi (sbarra dei quadri) dell'impianto, in quanto tale valore, per poter garantire una minima qualità di servizio alle utenze connesse, dovrebbe rimanere entro un intervallo del $\pm 10\%$ della tensione nominale, il secondo è la percentuale di carico a cui sono sottoposti gli elementi (trasformatori, linee, sbarre) di rete. Nel contempo si potranno anche determinare i flussi di potenza attiva e reattiva espressa rispettivamente in MW ed in Mvar.

Essendo l'intero sistema rispondente a criteri di progettazione volti a garantire un'elevata affidabilità grazie ad una notevole ridondanza, si è deciso di analizzare più configurazioni topologiche di rete che potrebbero prospettarsi a causa di guasti o fuoriservizio per manutenzione di uno o più elementi dell'impianto (trasformatori, quadri, sottostazioni di alimentazione Enel), pertanto si definireanno successivamente diverse varianti alla rete in normale esercizio.

4.1 Descrizione della rete

E' parso opportuno, prima di iniziare lo studio dei flussi di potenza, illustrare in seguito ed in modo sintetico le motivazioni che ci hanno spinto ad attribuire ai vari elementi di rete determinate grandezze che sono fortemente influenzanti sui risultati successivamente ottenuti dalle varie implementazioni.

Carichi in BT

I carichi relativi ai quadri di BT Power Center sono stati dedotti dai documenti "elenco utenze" delle varie bocche di porto che riportano per ogni singola utenza connessa la potenza attiva e reattiva richieste ed il relativo fattore di trasferimento stabiliti in base al tipo di servizio che il carico è chiamato a svolgere (continuo, discontinuo, occasionale, riserva).

L'elenco, in un suo estratto essenziale, dei carichi in BT e delle relative potenze installate in tutti i quadri di distribuzione Power Center è consultabile in Appendice A suddiviso per le bocche rispettivamente di Chioggia Malamocco e Lido, quindi ulteriormente distinto per ogni bocca in sezione "A" e "B".

Nel reale utilizzo dell'impianto sono varie e variegate le funzioni da svolgere; per ognuna di esse si può determinare una particolare configurazione di carico dovuta alla diversa natura delle utenze connesse, in condizioni di normale funzionamento, però, non è difficile valutare che l'operazione più gravosa in assoluto, in termini di potenza impiegata, è l'avviamento dell' ultimo motore di bocca durante la prima fase di emersione delle paratoie. Infatti vi è la necessità al contempo di erogare la maggior quantità d'aria possibile (potenza a regime dei motori già avviati) alle paratoie per favorirne una veloce emersione e di alimentare il motore in avviamento che richiederà un impiego notevole di potenza reattiva. Questo implica che tale operazione sarà responsabile delle maggiori cadute di tensione a vari nodi dell'impianto quindi di particolare interesse nel nostro studio; si vuole, però, anche precisare che non in tutte le configurazioni di rete possibili è fattibile avviare un motore con gli altri già a regime, pertanto in quest'ultimo caso essi verranno tenuti ad un regime di minimo carico fino all'avvio di tutti i motori.

In assenza di elementi sufficienti per valutazioni più approfondite, si è creduto opportuno assumere come totale potenza assorbita dai carichi di BT, durante le normali operazioni di emersione, quella ricavabile dai dati forniti dal progettista nelle relazioni generali di ogni bocca. Di seguito sarà indicata la totale potenza attiva richiesta dai carichi divisa per le varie bocche e per le sbarre dei vari quadri Power Center.

Chioggia

- Carico Chioggia Sud-utenze d.b. tensione 1900 kW
- Carico Chioggia spalla nord 501 kW

Malamocco

- Carico Malamocco Sud-utenze d.b. tensione 1982 kW
- Carico Malamocco spalla nord 545 kW

Lido

- Carico S. Nicolò Nord-utenze d.b. tensione 2215 kW
- Carico S.Nicolò spalla sud 470 kW
- Carico Treporti spalla ovest 470 kW
- Carico Treporti spalla est 470 kW

Nel caso in cui si verifichi un emergenza, che obbliga la totale disconnessione dall'alimentazione della rete elettrica, verrà effettuato per ogni bocca un alleggerimento dei carichi delle utenze in BT aprendo gli interruttori che connettono la parte di sbarra non privilegiata a quella privilegiata dei quadri di distribuzione Power Center delle varie "Spalle" ed aprendo l'interruttore di connessione tra la sbarra a 6 kV e il trasformatore che alimenta le principali utenze in BT non privilegiate di bocca; in quest' ultima situazione la totale potenza impiegata, che coinciderà con quella richiesta da tutti i carichi privilegiati (P), sarà:

Chioggia

- Carico Chioggia Sud-utenze d.b. tensione 900 kW
- Carico Chioggia spalla nord 251 kW

Malamocco

- Carico Malamocco Sud-utenze d.b. tensione 900 kW
- Carico Malamocco spalla nord 251 kW

Lido

- Carico S. Nicolò Nord-utenze d.b. tensione 800 kW
- Carico S.Nicolò spalla sud 70 kW
- Carico Treporti spalla ovest 70 kW
- Carico Treporti spalla est 70 kW

.

I dati sulla potenza realmente assorbita e su quella installata, deducibile, come già detto, dal "documento elenco utenze", hanno permesso di valutare il fattore di utilizzazione dell' insieme dei carichi afferenti alle sbarre di natura privilegiata e non privilegiata dei vari Power Center da introdurre nel software per ottenere una corretta implementazione.

Premesso che si è deciso di assumere, per ogni singola sbarra, il medesimo fattore di utilizzazione sia per la potenza attiva che per quella reattiva, essendo le utenze di BT assimilabili a carichi con $\cos\varphi$ costante, e considerando che i carichi degli omonimi quadri della sezione "A" e "B" di ogni singola bocca (es. Lido-Spalla Ovest A e Lido-Spalla Ovest B) non risultano nella loro "composizione" di natura molto diversa, si può pensare di porre lo stesso fattore su entrambe le sbarre dei due quadri; pertanto la seguente formula permetterà di determinare il fattore di utilizzazione distinto in sezione privilegiata e non di ogni Power Center:

$$f(i) = \frac{Pr(i)}{(Pa(i) + Pb(i))}$$

$f(i)$ =fattore di utilizzazione della sbarra P o NP dell' i-esimo Power Center.

$Pr(i)$ =sommatoria della totale potenza attiva assorbita dagli omonimi quadri della sezione "A" e "B".

$Pa(i)$ =potenza attiva installata nella sbarra P o NP della sezione "A" dell'i-esimo Power Center.

$Pb(i)$ =potenza attiva installata nella sbarra P o NP della sezione "B" dell'i-esimo Power Center

Di seguito si riporta a titolo esplicativo il caso dei quadri di Lido-Spalla Ovest "A" e Lido Spalla Ovest "B" per la sbarra non privilegiata, l'elenco completo è disponibile in Appendice B.

$Pr(i)$ =400 kW

$Pa(i)$ =275 kW

$Pb(i)$ =307 kW

$f(i)$ =0,687 fattore di utilizzazione da attribuire ai carichi delle sbarre NP dei Power Center di Lido-Spalla Ovest "A" e Lido-Spalla Ovest "B"

Motori

Nel capitolo precedente si è vista una descrizione di massima dei motori che alimentano i compressori di bocca per produrre l'aria necessaria al funzionamento delle paratoie, tuttavia in questa fase è necessario porre qualche considerazione ulteriore per delineare in modo più chiaro il loro funzionamento e quindi la relativa richiesta di potenza alla rete.

Si premette innanzitutto che tutti i dati forniti al programma sono stati ricavati dai *datasheets* di motori in MT per turbocompressori della società ABB che sono consultabili in Appendice C. La prima considerazione che preme fare è che la potenza nominale dei motori varia da bocca a bocca in base alla diverse quantità d'aria che deve essere fornita e sarà: 750 kW meccanici per i motori situati alla bocca di Lido, 550 kW per Malamocco e 430 kW per i motori presenti a Chioggia. E' necessario, però, puntualizzare che tali motori non lavorano a potenza nominale bensì ad una potenza di regime inferiore pari a circa: 610 kW meccanici per i motori di Lido, 470 kW per Malamocco e 380 kW per Chioggia.

Dai *datasheets* delle tre tipologie di motore si è potuto ricavare il rendimento (η) ed il $\cos\varphi$ a regime di ogni taglia di macchina e quindi si sono potute valutare la potenza elettrica attiva (Pe) e reattiva (Qe) assorbite dai motori a regime di lavoro permanente:

$$Pe = Pm/\eta$$

$$Qe = Pe \tan\varphi$$

LIDO-S.NICOLO' TRE PORTI

$\eta = 0,952 \quad \cos\varphi = 0,9 \quad Pe = 0,638\,MW \quad Qe = 0,290\,Mvar$

MALAMOCCO

$\eta = 0,949 \quad \cos\varphi = 0,9 \quad Pe = 0,495\,MW \quad Qe = 0,240\,Mvar$

CHIOGGIA

$\eta = 0,944 \quad \cos\varphi = 0,9 \quad Pe = 0,405\,MW \quad Qe = 0,196\,Mvar$

Questi, pertanto, saranno i valori di potenza inseriti in Neplan nel caso il motore si trovi a regime di lavoro permanente. Il software considererà il motore come un carico che assorbe una determinata potenza attiva e reattiva costante nel tempo (*PQ point*).

D'ora in avanti verrano considerati regimi diversi solo per i motori della bocca di Lido in quanto come si vedrà risulterà la più interessante nel nostro studio.

Per le primissime fasi di avviamento il motore può essere rappresentato come un carico che assorbe una determinata corrente ad un $\cos\varphi$ imposto (*IC point*), grazie quindi alla conoscenza del $\cos\varphi$ d'avviamento pari a 0,13 ed alla corrente di spunto pari a 4,4 volte il valore nominale, è stato possibile calcolare la potenza attiva (Pa) e reattiva (Qa) richieste dal motore non appena viene chiuso l'interruttore e saranno pari a:

$Pa = \sqrt{3}\,V\,4,4\,In\,0,13 = 0,492\,MW$

$Qa = \sqrt{3}\,V\,4,4\,In\,0,99 = 3,752\,Mvar$

Si vuole subito far chiarezza a scanso di fraintendimenti, che in tutte le varianti in cui è presente un motore in avviamento, pur essendo analizzate come fossero situazioni di regime permanente in realtà rappresentano la fase iniziale del transitorio, pertanto non forniranno indicazioni utilissime in termini di flusso continuo

di potenza, ma risulteranno comunque estremamente interessanti per analizzare le cadute di tensione ai principali nodi del nostro impianto nelle situazioni più critiche

Nelle successive trattazioni risulterà di notevole interesse anche il funzionamento del motore a carico minimo, cioè con una coppia resistente applicata all'albero del motore pari a circa un terzo (800 Nm) della nominale corrispondente di fatto alla coppia di carico dovuta agli attriti dei cuscinetti e del moltiplicatore di giri e alla coppia di carico dovuta compressore con la valvola di aspirazione in condizioni di minima apertura. In Neplan è possibile definire il punto di lavoro di un motore attraverso la coppia di carico richiesta al suo albero (*Mload point*), la qual cosa permette di conoscere, una volta scelta la coppia a cui si deve lavorare, lo scorrimento quindi la corrente assorbita con relativocos φ e dunque per ovvia conseguenza la potenza attiva e reattiva richieste dalla macchina che nel nostro caso risulteranno, considerata imposta all'alimentazione la tensione nominale, pari a:

$Pmin = 0,262\,MW$
$Qmin = 0,144\,Mvar$

Generatori

I generatori presenti a Lido sono connessi alla sbarra 6 kV e sono in grado di erogare una potenza pari a 3,15 MVA/cad con cos φ= 0,8 pertanto anch'essi, similmente al caso dei motori a regime permanente, si comporteranno nel software come dei *PQ point* negativi, ovvero che erogano potenza. Essendoci inoltre l'opportunità di connetterli in parallelo alla rete sarà possibile studiare i notevoli benefici che ne derivano in termini di cadute di tensione. Ricapitolando quindi la potenza attiva e reattiva che un generatore a regime di lavoro permanente erogherà sarà pari a:

$Pgen = 2,52\,MW$
$Qgen = 0,189\,Mvar$

Trasformatori

Come si è avuto modo di apprendere dalla descrizione generale, nell'impianto vi è la necessità di abbassare la tensione da 20 kV a 6 kV e da 6 kV a 0,4 kV; verranno pertanto utilizzati trasformatori di varie taglie in base alla potenza da alimentare le cui caratteristiche principali sono state riportate in Appendice D.
E' necessario puntualizzare, per il successivo studio dei flussi di potenza, che tutti i trasformatori non sono provvisti di commutatori sottocarico, ma di commutatori a vuoto che permettono di variare il valore della tensione al secondario di ± 2 intervalli, ognuno dei quali pari al 2,5% della tensione nominale. Bisognerà inoltre tener presente che il rapporto spire nominale dei trasformatori eleva già di qualche punto percentuale la tensione a vuoto essendo: 20/6,3 per quelli MT/MT e 6/0,415 per quelli MT/BT. Si è scelto quindi di imporre una regolazione fissa del commutatore per tutte le varianti topologiche cercando di individuare la posizione dello stesso che riduca al minimo lo scostamento della tensione del secondario dal suo valore nominale, sia che il trasformatore funzioni con grado di

carico minimo, sia che il trasformatore funzioni con grado di carico massimo.
I valori ritenuti più appropriati e pertanto assunti in tutti i calcoli sono:

Per i trasformatori MT/MT di Chioggia e Malamocco:
Presa commut. = 0 corrispondente al rapporto di trasformazione nominale.
Tensione a vuoto del secondario pari a 105% della nominale.

Per i traformatori MT/MT di Lido:
Presa commut.= -1
Tensione a vuoto del secondario pari a 107,5% della nominale.

Per tutti i trasformatori MT/BT di tutte le bocche.
Presa commut.= 1
Tensione a vuoto del secondario pari a 101.2% della nominale.

Alimentazione

Per le sottostazioni Enel di alimentazione, non sapendo se i trasformatori che alimentano le varie bocche siano dedicati o meno e quindi se sia possibile o meno richiedere ad Enel di erogare potenza ad una tensione superiore alla nominale, si è deciso di assumere la tensione nel punto di alimentazione pari al 100% della nominale per qualsiasi variante, pur essendo consapevoli che dal punto di vista normativo questo valore è garantito con un scarto del $\pm 10\%$.
La potenza di corto circuito trifase, anche in questo caso in assenza di informazioni più dettagliate, è stata supposta pari a 433 MVA con $\cos\varphi$ pari a zero, valore abbastanza usuale nelle sottostazioni. La corrente di corto circuito fase-terra invece è stata considerata pari a 250 A.

Dati di ingresso

Per non appesantire ulteriormente questo studio non verranno forniti ulteriori dati degli elementi di rete introdotti in Neplan. Tuttavia si possono consultare nella sezione appendice nei vari *datasheets* dei motori e dei generatori e nei documenti relativi alle utenze, alle linee di interconnessione, ecc..

4.2 Flussi di potenza in condizioni di normale esercizio

Il sistema elettrico del Mose è gestito, in condizioni di normale esercizio, come una rete doppio radiale con l'anello di interconnessione tra le bocche aperto. La sottostazione Enel di Cavallino alimenta la bocca di Lido attraverso le due sezioni di impianto "A" e "B" segregate fisicamente tra loro; la sottostazione Enel di Sacca Fisola alimenta la bocca di Malamocco sempre attraverso due sezioni di impianto "A" e "B" ed infine la sottostazione Enel di Brondolo alimenta, anch'essa attraverso due sezioni distinte "A" e "B", la bocca di Chioggia.
In questa fase si vuole porre in evidenza i flussi di potenza verso i vari carichi delle bocche e verso i motori in funzionamento a regime durante l'emersione delle paratoie dai recessi dei cassoni.
Sono stati pertanto considerati per ogni bocca:

- tutti i motori già avviati e a funzionamento di regime permanente;

- tutti i carichi in BT necessari per la fase di emersione connessi e valutati con i rispettivi fattori di contemporaneità;

- tutti i generatori spenti e sconnessi dalla sbarra 6 kV e le sezioni "A" e "B" di tutte le bocche completamente indipendenti l'una dall'altra.

L'analisi, che viene riportata in Appendice F in una sintesi grafica, ha messo in evidenza che la bocca di Lido richiede maggior potenza rispetto a tutte le altre, come già si poteva intuitire vista la sua maggior grandezza. Si sono potute valutare anche le cadute di tensione in tutti i nodi dell' impianto nel suo funzionamento a regime ed il livello di carico degli elementi di rete; decidendo, però, di riportare qui di seguito solo i risultati più significativi per ogni livello di tensione e di rimandare ad una consultazione grafica per tutti i rimanenti.

Cadute di tensione massime [1] [2]:

Lido livello 20 kV: nodo di alimentazione del trasformatore sez. A
L 20KV A = 0,14%

Lido livello 6 kV: sbarra a 6KV di Lido sez B
L 6KV Bsbarra = -5,35%

Lido livello 0,4 kV: sbarra di alimentazione dei carichi delle utenze in BT P di bocca sez B
L 0,4KV B utenze d.b.priv= -6,10%

Malamocco 20 kV: nodo di alimentazione del trasformatore sez A
M 20KV A = 0,08%

Malamocco 6 KV: sbarra a 6 kV di Malamocco sez B
M 6KV Bsbarra= -2,89%

Malamocco 0,4 kV: sbarra di alimentazione dei carichi delle utenze in BT P sez B
M 0,4KV utenze d.b. B priv= -3,56%

Chioggia 20 kV: nodo di alimentazione del trasformatore
C 20 KV sez B = 0,09%

Chioggia 6 kV: sbarra a 6KV di Chioggia sez B
C 6KV Asbarra= -2,80%

Chioggia 0,4 kV: sbarra di alimentazione dei carichi delle utenze in BT P sez B
C 0,4KV utenze d.b.B priv= -3,51%

Elemento più caricato: Trasformatore MT/MT di Lido sezione A carico=61,51%.

Vista la maggior richiesta di potenza e il maggior carico a cui sono sottoposti i trasformatori MT/MT di Lido, è lecito pensare che tale bocca sarà sempre sede delle maggiori cadute di tensione, perciò si è deciso d'ora in avanti di focalizzare l' attenzione solo sul comportamento della rete a 20 kV e sul comportamento della bocca di Lido al fine di redere il lavoro più snello e veloce, pur non trascurando su

[1] regola generale, se le cadute sono indicate con il segno meno significa che la tensione è superiore alla nominale

[2] per facilitare la corrispondenza tra il testo e le notazioni del codice Neplan relative ai nodi si utilizzerà talvolta la notazione KV anzichè kVquale unità di misura della tensione

quest'ultima gli eventuali effetti dovuti alle altre bocche (Chioggia e Malamocco) in particolari assetti di rete.
Come già precedentemente detto, vista l'esigenza dell'impianto di garantire il servizio anche in caso di comuni cause di guasto o di manutenzione ordinaria di qualche elemento, si sono volute analizzare nel successivo paragrafo diverse configurazioni topologiche-tipologiche che tra l'altro rendono maggiormente evidente il problema delle cadute di tensione.

4.3 Variazioni topologiche-tipologiche

In questo paragrafo si sono volute prendere in considerazione alcune situazioni di funzionamento anomalo prospettate dal progettista. C'è parso tuttavia interessante valutare l'ipotesi di analizzare, vista la presenza nella rete a 20 kV di un anello, una gestione magliata della stessa anche se non prevista nei progetti dell'impianto, poichè sicuramente in grado di portare notevoli benefici in termini di qualità del servizio, specie nelle configurazioni più critiche. Si deve inoltre evidenziare che in tutte le successive varianti uno dei tre-quattro compressori viene considerato sempre in avviamento, quindi con caratteristiche precedentemente descritte.
Come per il paragrafo antecedente verranno riportati solo i risultati più significativi per i tre livelli di tensione, mentre una sintesi grafica per le configurazioni di maggior importanza verrà riportata in Appendice F.

4.3.1 Normale esercizio con motore in avviamento a Lido

In questa configurazione viene analizzato un assetto di rete completamente identico al precedente ad esclusione del quarto motore (L Mot 4) di Lido, situato nella sezione B, che verrà considerato in avviamento; questo tipo di configurazione, con tre motori a regime uno in avviamento e tutti i carichi in BT connessi, si può considerare la più impegnativa in assoluto in termini di potenza impiegata.
L'analisi ha rilevato che:

- Sulla rete a 20 kV la massima caduta di tensione si avrà nel quadro di alimentazione del trasformatore MT/MT della sezione B alimentante il motore in avviamento e sarà:
  L20KV B= 0,23%;

- Sulla rete a 6 kV la massima caduta di tensione si avrà sulla sbarra non alimentante il motore e sarà:
  L6KV Asbarra= -5,10%;

- Sulla rete a 0,4 kV la massima caduta di tensione si avrà alla sbarra di alimentazione delle utenze di bocca privilegiate in BT della sezione A e sarà:
  L0,4KV Autenze d.b.priv= -5,65%.

Come si può osservare i valori delle cadute di tensione sono ampiamente entro i limiti massimi, pertanto accettabili. Il trasformatore MT/MT e la linea di connessione del motore alla sbarra risultano gli elementi più caricati, tuttavia trattandosi rispettivamente del 98,68% e del 112% e considerando che tali valori si riferiscono ad un transitorio di durata relativamente breve, non dovrebbero nascere particolari problemi di carattere termico se non legati ad eventuali interventi intempestivi delle protezioni del motore.

Con un trasformatore fuori servizio

Il fuoriservizio di un trasformatore MT/MT per guasto o manutenzione non deve mandare fuori servizio l'intero impianto di bocca, quindi sarà oggetto di studio per ogni configurazione di rete un assetto che prevede l'esclusione di un trasformatore MT/MT.
In questa situazione ci si dovrà accontentare di alimentare solo tre motori in quanto il grado di carico dell'unico trasformatore disponibile con i tre motori a regime permanente è già del 100%. L'analisi in questa situazione ha rilevato che:

- Sulla rete a 20 kV la massima caduta di tensione si avrà nel quadro di alimentazione del trasformatore MT/MT della sezione A alimentante il motore in avviamento e sarà: L20KV A= 0,36%;
- Sulla rete a 6 kV la massima caduta di tensione si avrà sulla sbarra alimentante il motore e sarà: L6KV Bsbarra= 1,15%;
- Sulla rete a 0,4 kV la massima caduta di tensione si avrà alla sbarra di alimentazione delle utenze di BT di Spalla Sud e sarà:
  L0,4KV Bsbarra= 1,16%.

La caduta di tensione anche in questo caso rimane entro limiti più che accettabili, si vuole mettere in evidenza, però, che durante l'avviamento consecutivo dei tre motori, in un transitorio che nel suo complesso può durare circa 4-5 min, il trasformatore si troverà in condizioni di sovraccarico del 146% la qual cosa non dovrebbe rappresentare un problema vista la non insignificante inerzia termica di cui generalmente sono dotati i trasformatori seppur isolati in resina, tuttavia tale dato dovrà necessariamente essere preso in considerazione nella taratura delle protezioni del trasformatore che logicamente non dovranno aprire.

4.3.2 Controalimentazione di Lido da Malamocco

Supponendo che venga a mancare l'alimentazione dalla sottostazione Enel di Cavallino è possibile alimentare la bocca di Lido da Malamocco mediante chiusura degli interruttori della linea in MT che connette il quadro a 20 kV di Lido sez B con la sottostazione di Sacca Fisola.
L'analisi di questo particolare assetto di rete non verrà qui evidenziata, poiché di fatto rappresenta un caso intermedio tra quello più favorevole considerato negli ultimi due paragrafi descritti e quello più sfavorevole che ci si accinge a considerare.

4.3.3 Controalimentazione di Lido da Chioggia

In questa configurazione viene analizzato un assetto di rete estremamente critico dovuto alla mancanza di alimentazione sia alla sottostazione di Cavallino sia alla sottostazione di Sacca Fisola; si ha pertanto l'intero carico sia della bocca di Malamocco che di quella di Lido alimentati sostanzialmente da una linea a sbalzo attestata al quadro 20 kV sez A di Chioggia.
Sono state fatte inizialmente le seguenti supposizioni:

- tutti i motori delle bocche di Chioggia e Malamocco già avviati e a funzionamento di regime permanente, mentre nella bocca di Lido tre a regime permanente ed uno in avviamento;
- tutti i carichi in BT necessari nella fase di emersione delle paratoie connessi e valutati con i rispettivi fattori di contemporaneità;
- tutti i generatori spenti e sconnessi dalla sbarra 6 kV;
- le sezioni "A" e "B" di tutte le bocche completamente indipendenti l'una dall'altra al livello di tensione 6 kV, connesse per quanto riguarda Lido a livello di tensione 20 kV tramite chiusura del congiuntore (congL20A-L20B).

L'Implementazione in Neplan ha permesso di ottenere i seguenti risultati:

- Sulla rete a 20 kV la massima caduta di tensione si avrà nel quadro di alimentazione del trasformatore MT/MT della sezione B alimentante il motore in avviamento e sarà:
  L20KV B= 15,41%
- Sulla rete a 6 kV la massima caduta di tensione si avrà sulla sbarra alimentante il motore e sarà:
  L6KV Bsbarra= 16,23%
- Sulla rete a 0,4 kV la massima caduta di tensione si avrà alla sbarra di alimentazione delle utenze di BT di Spalla Sud e sarà:
  L0,4KV BSpallSud= 16,62%

Cadute così elevate non sono ammissibili in una logica di buon funzionamento dell'impianto equivalendo di fatto per molti carichi in BT ad una mancanza istantanea di alimentazione, inoltre nascono seri problemi nell'avvio dei motori in quanto, come è noto, la coppia di un motore asincrono dipende in modo quadratico dalla tensione applicata ai morsetti dello stesso, pertanto una situazione così grave rischia di prolungare il transitorio di avviamento, come si vedrà nel capitolo 6, per molti secondi con possibili gravi conseguenze per l' isolamento dell' indotto sottoposto a correnti decisamente superiori a quelle nominali. E' chiaro che l'ipotesi del fuoriservizio di un trasformatore MT/MT peggiora drasticamente una situazione già del tutto inaccettabile quindi non ha senso nemmeno analizzarla. Non ritenendo, però, del tutto irrealistica una configurazione che vede due sottostazioni fuoriservizio, si è pensato di porre qualche considerazione ulteriore

che potrebbe fornire una via d'uscita al problema.
Si potrebbero fare le seguenti ipotesi:

- tutti i motori delle bocche, ad esclusione di uno a Lido che sarà in fase di avviamento, verranno considerati a funzionamento di carico minimo ottenuto, come già detto, mediante chiusura quasi totale della valvola di aspirazione del compressore;

- quando i motori di tutte le bocche saranno avviati ed a regime di carico minimo si fornirà loro, uno ad uno, il carico nominale facendo attenzione che tale operazione venga eseguita in modo graduale al fine di evitare bruschi transitori meccanici che potrebbero dar luogo a forti sollecitazioni al giunto di accoppiamento tra motore e compressore.

Nell'analisi di questo tipo di gestione è emerso che a fronte di un delicato controllo sulle varie valvole di aspirazione dei compressori che deve essere necessariamente centralizzato e automatizzato, i benefici in termini di riduzione delle cadute di tensione massime sono molto modesti. Infatti l'implementazione ha permesso di evidenziare che:

- Sulla rete a 20 kV la massima caduta di tensione si avrà nel quadro di alimentazione del trasformatore MT/MT della sezione B alimentante il motore in avviamento e sarà: L20KV B= 13,23%;

- Sulla rete a 6 kV la massima caduta di tensione si avrà sulla sbarra alimentante il motore e sarà: L6KV Sbarra= 13,36%;

- Sulla rete a 0,4 kV la massima caduta di tensione si avrà alla sbarra di alimentazione delle utenze di BT di Spalla Sud e sarà:
  L0,4KV BSpallSud= 13,46%.

E' chiaro che tale espediente pur riducendo di circa tre punti percentuali le massime cadute di tensione non risolve completamente il problema di limitarle al 10%.

I benefici di un eventuale rifasamento centralizzato nei quadri di bassa Power Center

Nei progetti dell'impianto non è previsto il rifasamento delle utenze in BT, pertanto i vari Power Center sono sprovvisti di uscite su cui applicare ad esempio dei condensatori variabili in grado di mantenere un $\cos\varphi$=0,95. Si potuto comunque ipotizzarne l'esistenza al fine di valutare eventuali benefici che un rifasamento centralizzato in ogni Power Center può fornire in termini di riduzione delle cadute di tensione.

Sono state fatte pertanto le seguenti ipotesi:

- tutti i Power Center vengono rifasati a $\cos\varphi$=0,95 tramite condensatori a capacità variabile;

- l'assetto di rete è identico a quello precedente, ma con i motori a regime permanente e non a carico minimo.

L'analisi ha messo in luce che:

- Sulla rete a 20 kV la massima caduta di tensione si avrà nel quadro di alimentazione del trasformatore MT/MT della sezione B alimentante il motore in avviamento e sarà: L20KV B= 14,1%;

- Sulla rete a 6 kV la massima caduta di tensione si avrà sulla sbarra alimentante il motore e sarà: L6KV Bsbarra= 13,86%;

- Sulla rete a 0,4 kV la massima caduta di tensione si avrà alla sbarra di alimentazione delle utenze di BT di Spalla Sud e sarà:
  L0,4KV BSpallSud= 13,6%.

E' fatto noto che in un impianto industriale l'impedenza propria di ogni elemento di rete è generalmente caratterizzata da una parte prepoderante di induttanza e che perciò le cadute di tensione sono particolarmente sensibili alla componente reattiva della corrente. Un rifasamento dei carichi, quindi, poteva far suppore una notevole riduzione delle cadute stesse; tuttavia l'ultima analisi riportata ha messo in evidenza che esse permangono comunque troppo elevate a causa soprattutto dell'elevata potenza reattiva, non rifasabile, richiesta dal motore durante il transitorio di avviamento.

Vista l'impossibilità di gestire l'impianto anche ipotizzando il rifasamento dei carichi, si è voluto valutare un assetto di rete che prevede sia il rifasamento che una gestione di avviamento motori con controllo centralizzato delle valvole di aspirazione dei compressori già descritto nel paragrafo precedente.

L'implementazione ha fornito i seguenti risultati:

- Sulla rete a 20 kV la massima caduta di tensione si avrà nel quadro di alimentazione del trasformatore MT/MT della sezione B alimentante il motore in avviamento e sarà: L20KV B= 12,04%

- Sulla rete a 6 kV la massima caduta di tensione si avrà sulla sbarra alimentante il motore e sarà: L6KV Bsbarra= 11,21%

- Sulla rete a 0,4 kV la massima caduta di tensione si avrà alla sbarra di alimentazione delle utenze di BT di Spalla Sud e sarà:
  L0,4KV BSpallSud= 10,87%

Adottando questa particolare configurazione le cadute di tensione risultano comunque elevate ma entro un limite che si può ritenere forse accettabile. Ciononostante è chiaro che, pur trascurando l'investimento ulteriore dei banchi di condensatori variabili ammortizzabile comunque in un breve periodo, i tempi per portare l'impianto da uno stato di inattività alla piena operatività (erogazione di aria compressa alle paratoie) si dilatano notevolmente rispetto al normale funzionamento, in quanto bisognerà aspettare di avviare un per volta tutti i motori di

tutte le bocche a carico minimo e quindi, sempre uno per volta, fornire loro carico in modo progressivo e graduale. Ricapitolando si può dire che quest'ultima configurazione, pur determinando cadute che risultano più accettabili, prevede un preciso controllo in grado di gestire e coordinare contemporaneamente e con elevata affidabilità tutte le valvole delle macchine presenti nell'impianto. Si dovrà perciò far uso di un unico software centralizzato e non più di un semplice controllo locale di macchina.

Caso con un trasformatore fuori servizio ed un generatore in parallelo

Prevedere, in una situazione già grave di mancanza di alimentazione di due sottostazioni su tre, un ulteriore guasto o fuoriservizio di uno dei due trasformatori MT/MT rientra tra l'eventualità assai remote ed improbabili; comunque in un caso del genere sarà praticamente impossibile avviare un motore anche prevedendo che solo due degli altri motori siano in condizioni di carico a regime minimo in quanto nel transitorio di avviamento, a causa delle elevate cadute di tensione, la coppia disponibile sarebbe del tutto insufficente. Se si volesse gestire una condizione così drastica vi è l'assoluta necessità di mettere in parallelo alla rete almeno un generatore funzionante a pieno regime e connesso alla medesima sbarra del motore in avviamento che permetterebbe di ridurre le cadute di tensione ai nodi.
In quest'ultima situazione ipotizzata, l'analisi fornisce i seguenti risultati:

- Sulla rete a 20 kV la massima caduta di tensione si avrà nel quadro di alimentazione del trasformatore MT/MT della sezione A alimentante il motore in avviamento e sarà:
  L20KV A= 8,29%;

- Sulla rete a 6 kV la massima caduta di tensione si avrà sulla sbarra alimentante il motore e sarà:
  L6KV Bsbarra= 8,36%;

- Sulla rete a 0,4 kV la massima caduta di tensione si avrà alla sbarra di alimentazione delle utenze di BT di Spalla Sud e sarà:
  L0,4KV BSpallSud= 8,53%.

4.3.4 Controalimentazione di Lido da Chioggia con gestione magliata della rete a 20 kV

Si è potuto apprendere nei paragrafi precedenti che nel caso sia necessaria la controalimentazione, soprattutto se eseguita da Brondolo ma anche da Sacca Fisola, le cadute di tensione che vengono a determinarsi sulle sbarre a 6 kV e a 0,4 kV possono essere decisamente rilevanti ed in alcuni casi inaccettabili per un buon funzionamento dell'impianto. Sostanzialmente la causa principale risiede nel fatto che, attuando la controalimentazione, la rete a monte del livello 6 kV si "indebolisce" notevolmente; infatti, durante la fase di avviamento di un motore, vi è la necessità di veicolare allo stesso un elevata quantità di potenza reattiva, circa

4 Mvar rispetto ai 0,2 Mvar di regime permanente, che influisce pesantemente in una linea a sbalzo dotata di caratteristiche tali da non essere in grado di garantire, su distanze così lunghe e per potenze così elevate, cadute di tensione limitate a qualche percento.
Osservando attentamente la parte dell'impianto a 20 kV del Mose ci si rende immediatamente conto che essa presenta di fatto un anello ottenibile mediante la connessione dei quadri a 20 kV con suffisso B di una bocca a quelli con suffisso A della bocca adiacente e da due linee, la prima che connette il quadro a 20 kV sez A di Chioggia con il quadro a 20 kV di Sacca Fisola e la seconda che connette il quadro 20 kV sez B di Lido con il quadro 20 kV di Sacca Fisola. Proprio in quest'ultima osservazione si può individuare una possibile soluzione nell'ottica di "rinforzare" la rete in MT; soluzione che consiste nell'ipotizzare una gestione magliata del livello 20 kV in modo da poter ridurre il carico sulle linee di interconnessione tra bocche e le conseguenti cadute di tensione lungo le stesse.
C'è parso quindi molto interessante, seppur questo particolare assetto di rete non sia stato preso in considerazione dai progettisti, analizzare i potenziali benefici ottenibili. L'analisi verrà eseguita con le seguenti condizioni anche per avere un termine di paragone tra una gestione radiale ed una magliata della rete a 20 kV:

- alimentazioni dalle sottostazioni di Cavallino e Sacca Fisola fuoriservizio;
- tutti i carichi in BT necessari per la fase di emersione connessi e valutati con i rispettivi fattori di contemporaneità;
- tutti i generatori spenti e sconnessi dalla sbarra 6 kV;
- le sezioni "A" e "B" di tutte le bocche completamente indipendenti l'una dall'altra per i livelli di tensione minori o uguali a 6 kV;
- tutti i motori di tutte le bocche a regime permanete, ad esclusione di uno a Lido in avviamento;
- la rete in mt 20 kV gestita ad anello chiuso;
- entrambe le linee di connessione tra Sacca Fisola e i quadri M20KVA e M20KVB chiuse.

Con questo particolare assetto di rete si sono ottenuti i seguenti risultati:

- Sulla rete a 20 kV la massima caduta di tensione si avrà nel quadro di alimentazione del trasformatore MT/MT della sezione B alimentante il motore in avviamento e sarà: L20KV B= 7,51%;
- Sulla rete a 6 kV la massima caduta di tensione si avrà sulla sbarra alimentante il motore e sarà: L6KV Bsbarra= 7%;
- Sulla rete a 0,4 kV la massima caduta di tensione si avrà alla sbarra di alimentazione delle utenze di BT di Spalla Sud e sarà
L0,4KV BSpallSud= 7,15%;

- Nessun elemento ad esclusione della linea di alimentazione del motore in avviamento risulterà sovraccaricato.

Una gestione di questo tipo è estremamente favorevole nel limitare le cadute di tensione che si riducono di quasi dieci punti percentuali rispetto al caso della gestione puramente radiale rientrando, nella situazione più gravosa in assoluto, entro i limiti che garantiscono una discreta qualità del servizio a tutte le utenze connesse. Va inoltre specificato che in questa situazione non è nemmeno necessario un controllo coordinato delle valvole in aspirazione dei compressori in quanto si può facilmente avviare l' ultimo motore anche con tutti i restanti già a regime di lavoro permanente. Anche nell'ipotesi di fuoriservizio di un trasformatore MT/MT se si considera di alimentare al più tre motori, due a regime ed uno in avviamento, le cadute non eccedono il valore del dieci percento. Risultano pertanto evidenti i benefici di avere una rete di magliata al contempo, però, vi sarà la necessità di una maggiore accuratezza e precisione nella scelta e nella taratura delle protezioni da utilizzare sulla stessa, come si vedrà meglio nel capitolo 5.

4.3.5 Funzionamento in isola delle bocche

I generatori di ogni bocca sono stati dimensionati per rendere possibile il funzionamento "in isola" cioè in caso di totale mancanza di alimentazione da parte di Enel e con i soli generatori connessi alle sbarre 6 kV. Sarà necessaria, però, la preventiva disconnessione di tutti i carichi in BT attestati alle sbarre non privilegiate e l'apertura degli interruttori posti al secondario di entrambi i trasformatori MT/MT. La bocca presa in considerazione per l'ennesima volta nel valutare le cadute di tensione ed i flussi di potenza è Lido connessa, però, nelle sue due sezioni "A" e "B", che, pur disponendo dei generatori di potenza più elevata rispetto all'altre bocche, rappresenta comunque il caso più critico. Se si ipotizza di disporre di quattro generatori che devono sostenere oltre ai carichi BT delle sbarre privilegiate tre motori a regime permanente ed il quarto in avviamento le cadute di tensione saranno:

- Sulla rete a 6 kV la massima caduta di tensione si avrà sulla sbarra alimentante il motore in avviamento e sarà:
  L6KV Bsbarra= 0%;

- Sulla rete a 0,4 kV la massima caduta di tensione si avrà alla sbarra di alimentazione delle utenze di BT di Spalla Sud e sarà:
  L0,4KV BSpallSud= -1,12%;

- Ogni generatore dovrà essere in grado di erogare una potenza pari a:
  $Pgen \backsimeq 1\,MW \quad Qgen \backsimeq 1,5\,Mvar.$

4.4 Conclusioni sui flussi di potenza

In tutto lo studio del load flow si è potuto notare che le cadute di tensione in alcune configurazioni, soprattutto ove è prevista una gestione puramente radiale

dell'impianto, raggiungono valori limiti, alle sbarre di alimentazione delle utenze BT e dei motori, non accettabili, leggermente ridimensionabili solo prevedendo di agire sul commutatore a vuoto dei trasformatori MT/MT in modo da fornire un ulteriore incremento della tensione al secondario (ed esempio portare la tensione a vuoto del secondario a 6,6 kV). Tuttavia ipotizzare di intervenire manualmente sulla morsettiera del commutatore a vuoto al presentarsi di un evento di guasto o fuoriservizio che determini la necessità di usfruire della controalimentazione implica determinare rilevanti ritardi nel sollevamento delle paratoie perciò non sembra una strada percorribile specie se si considera che le bocche non sono presidiate costantemente da personale abilitato.

Inoltre sarà impensabile credere, vista l'elevata inerzia dei motori ed una coppia all'avviamento del 50% rispetto alla nominale, che il transitorio d' avviamento degli stessi seppur caricati a carico minimo, perduri solo per alcuni secondi; infatti, come si avrà modo di vedere nel capitolo 6, i transitori saranno caratterizzati, in base alle particolari configurazioni di rete, da tempi dell'ordine di più decine di secondi. Di conseguenza è evidente che anche le relative cadute di tensione non potranno essere considerate fenomeni di brevissima ed irrilevante importanza e che uno studio serio dovrà necessariamente tenerne conto.

Anche l'ipotesi, fatta dai progettisti, di richiedere ad Enel di settare il proprio commutatore sotto carico dei trasformatori 132/20 kV presenti nelle sottostazioni ad una tensione superiore alla nominale ad esempio 102% al fine di limare le cadute troppo elevate, non si può ritenere valida poiché non si ha ancora modo di sapere se il trasformatore di alimentazione sarà dedicato esclusivamente o meno all'impianto del Mose.

Se infine si considera di prevedere l'avvio dei quattro motori consecutivamente l'uno all'altro ci si dovrà aspettare, specie ai nodi di rete più vicini al motore in avviamento, continue fluttuazioni nella tensione che, in una configurazione di controalimentazione gestita con un assetto di rete puramente radiale, possono dar luogo ad oscillazioni di ampiezze importanti fino a 13-15 punti percentuali; oscillazioni che perdureranno per il tempo necessario all'avvio di tutti i motori determinando una situazione sicuramente non ideale per gli utilizzatori, specie di tipo elettronico, connessi alle "vicine" sbarre BT.

Visto e considerato quanto appena detto e quanto emerso dai risultati delle simulazioni effettuate con Neplan, la gestione radiale della rete si può considerare accettabile e conveniente solo ed esclusivamente in un normale funzionamento dell'impianto; qualora vi dovesse essere la necessità di controalimentare una o più bocche a cui viene meno l'alimentazione da parte di Enel, è praticamente necessario ed anche più proficuo adottare una gestione magliata della rete a 20 kV che renda possibile contenere le cadute di tensione entro limiti che determinino un buon funzionamento dell'impianto e che possano garantire l'avvio di un motore anche se tutti gli altri sono già a piena operatività. Un' ulteriore soluzione, per mantenere un assetto di rete radiale, potrebbe essere rappresentata, come si è potuto vedere, da una gestione che preveda il sostegno di più gruppi elettrogeni connessi in parallelo alla RTN durante tutta la fase di avviamento dei motori o in alternativa l'applicazione di booster elevatori interposti tra i morsetti del motore

e la sbarra d' alimentazione dello stesso.

Capitolo 5

Corti Circuiti

Nel presente capitolo ci si è posti l'obbiettivo di fornire utili informazioni riguardo le correnti di corto circuito nei vari nodi dell'impianto elettrico del Mose.
Si è ritenuto tuttavia interessante valutare anche l'eventualità di un possibile guasto lungo le linee di interconnessione 20 kV dato che le stesse sono mantenute sempre in tensione anche se non utilizzate.

La quasi totalità dei dati forniti al software sono stati ricavati dei *datasheets* dei vari componeti di rete consultabili in appendice mentre per i rimanenti si è fatto riferimento alla norma CEI 11-25.

Tutto il lavoro di valutazione dei corto circuiti che ci si appresta ad analizzare ha particolare interesse sia nel determinare la tipologia di protezioni da utilizzare sull'impianto sia nel determinare i principali parametri meccanici a cui dovranno sottostare i vari elementi di rete soggetti a sforzi elettrodinamici che ovviamente nel dimensionamento dell'impianto di terra. Purtroppo questa tesi, per mancanza di tempo, pur ritenendo tali argomenti di estremo interesse, non riesce a trattarli; ci si auspica comunque che quersto lavoro possa essere completato in futuro.

Prima di iniziare lo studio dei corto circuiti nei vari assetti di rete già descritti nel capitolo del *load flow* serve porre qualche importante considerazione: com'è ormai noto l'intero impianto elettrico del Mose è sviluppato su tre livelli di tensione differenti, ognuno di essi presenta, però, uno stato del neutro diverso.

Nel livello 20 kV il neutro è isolato, perciò l'impedenza alla sequenza omopolare sarà determinata solo dalle capacità verso terra della rete di interconnessione a 20 kV che, essendo composta in cavo ed estendendosi, in particolari assetti, fino ad una quarantina di km elettricamente connessi, può dar luogo a valori di capacità importanti e quindi a valori di impedenza alla sequenza omopolare limitati e calcolabili con la seguente formula:

$$Z_0 = -j\frac{1}{wCl}$$

con
w: pulsazione di rete;
C: capacità chilometrica omopolare di linea;
l: lunghezza della rete a 20kV elettricamente connessa.

Nel livello 6 kV, invece, il progettista ha preso la decisione di fissare il valore della corrente direzionale di terra per renderla più facilmente rilevabile dalle protezioni; si ha pertanto il neutro messo a terra tramite impedenza (sostanzialmente una resistenza) così da poter imporre alla corrente un valore fisso pari a 50 A. Per far ciò è stato necessario dotare l'impianto di ogni bocca di reattori a zig-zag connessi alle sbarre di alimentazione dei motori e dei generatori, poichè una semplice messa a terra del secondario del trasformatore MT/MT non sarebbe stata in grado di garantire il rientro delle correnti omopolari in caso di fuoriservizio dello stesso.
Si vuole precisare in tal punto che nell'implementazione con Neplan, invece, non si sono utilizzati i reattori bensì si è messo a terra tramite impedenza il secondario del trasformatore MT/MT poiché il software connette gli elementi di rete tramite interruttori logici pertanto anche in una eventuale simulazione di guasto monofase in funzionamento ad isola della bocca è più che sufficiente sconnettere il trasformatore tramite l'interruttore logico dell'alimentazione.

La norma CEI 11-25 prevede il calcolo della corrente di corto circuito fase-terra (I_{1f}) attraverso la seguente formula:

$$I_{1f} = \frac{3\,V}{\sqrt{3}(Z_0 + Z_d + Z_i)}$$

ove:
V : tensione nominale concatenata;
Z_0 : impedenza equivalente di rete alla sequenza omopolare;
Z_d: impedenza equivalente di rete alla sequenza diretta;
Z_i: impedenza equivalente di rete alla sequenza inversa.

Posta $I_{1f} = 50\,A$ si ottiene:

$$(Z_0 + Z_d + Z_i) = \frac{3\,6000}{\sqrt{3}\,50} \simeq 70\,\Omega$$

Neplan ha permesso di confermare che il valore da dare alla resistenza di messa a terra del centro stella artificiale dei reattori a zig-zag, tenendo presente anche l'impedenza capacitiva dovuta ai tronchi di linea a 6kV, è pari a 77Ω.

Infine nel livello 0,4 kV il neutro è messo direttamente a terra mediante collegamento in corda di rame del centro stella del secondario di ogni trasformatore con la rete di terra.

Può risultare interessante ma soprattutto necessario se si vuole ottenere una certa riproducibilità dei risultati, illustrare sinteticamente alcuni aspetti della teoria del calcolo dei corti circuiti utilizzata in Neplan ed i parametri settati nel nostro studio. Il software simula il comportamento della rete in caso di guasto attraverso la teoria delle componenti simmetriche, che non tratteremo perché supposta più che nota, tuttavia c'è da chiarire come vengano introdotti i parametri in base al metodo di calcolo scelto dall'operatore. Neplan prevede più possibilità, di cui tre sono le più interessanti: la prima permette di eseguire l'implementazione nel rispetto della norma IEC60909 2001, in questo caso il software calcola in maniere autonoma sia il fattore c da attribuire al generatore equivalente in base

alla localizzazione del guasto, sia il rapporto R/X da utilizzare nel calcolo di χ ($\chi = 1,02 + 0,98\, e^{-3\frac{R}{X}}$) per la determinazione della corrente di picco ed infine anche la corrente termicamente equivalente nei primi istanti di guasto. Nella seconda, corrispondente al metodo delle sovrapposizioni, viene calcolata l'intesità delle correnti di corto considerando la tensione del generatore equivalente identicamente uguale alla tensione nominale del nodo ove è avvenuto il guasto; il fattore c viene settato di default pari a 1,1 e sarà compito dell'operatore modificarne il valore in base alla localizzazione del guasto; χcome nel caso precedente viene calcolato dal software. Se si dovesse essere in presenza di reti magliate o di reti con presenza distribuita di motori e generatori, sfruttando il principio di sovrapposizione degli effetti, viene di fatto calcolato il contributo di ogni elemento (alimentazione, generatori, motori) che incrementa la corrente di guasto e successivamente ne vengono sommati gli effetti.
La terza possibilità, metodo delle sovrapposizioni considerando i *load flow*, è di fatto analoga alla seconda con l'unica differenza che la tensione del generatore equivalente viene posta uguale a quella ottenuta dal calcolo dei flussi di potenza nel nodo soggetto al guasto.

Infine, appare opportuno, per dovere di completezza, specificare che l'impedenza associata agli eventuali generatori sincroni connessi alla sbarra viene calcolata, per la sequenza diretta, inversa ed omopolare secondo norma, ovvero percentualmente rispetto alla nominale; percentuale che sarà ovviamente diversa per le varie fasi (subtransitoria, transitoria e permanente) del guasto. Per quanto riguarda i motori invece la loro impedenza viene considerata per le primissime fasi di guasto uguale a quella di avviamento come prescritto dalle norme, il che comporta nel nostro caso di avere un contributo dovuto ad ogni motore, per esempio di Lido, pari a circa 458 A. Tutti i carichi se pur connessi non vengono considerati dal software nell'analisi delle correnti di corto.

I risultati, nei tre diversi metodi di calcolo precedentemente descritti, differiscono al più del 5% tra loro, nel nostro studio si è deciso di simulare tutti i corti nelle diverse varianti topologiche di rete secondo il metodo in accordo con la norma IEC60909 2001. I due parametri ritenuti di particolare interesse che verranno analizzati sono:

Ik", valore efficace iniziale della componente simmetrica della corrente di corto (subtransitoria);

ip, valore di cresta della corrente nei primissimi istanti di corto.

Come fatto per il capitolo sul *load flow*, per non appesantire questo lavoro, verranno discussi nei paragrafi successivi solo i risultati più rappresentativi delle varie configurazioni di rete.

5.1 Correnti di corto in normale esercizio dell'impianto

Si sono volute analizzare, pur non rappresentando la situazione più gravosa, le correnti di corto in normale funzionamento dell'impianto in quanto la probabilità

di un possibile guasto con questo assetto di rete è maggiore rispetto ad ogni altra configurazione dal momento che l'impianto dovrebbe lavorare, per la maggior parte del tempo, proprio con questa topologia.

L'analisi ha rilevato che:

- Nel livello di tensione 20 kV la massima corrente di corto trifase si avrà nel punto di consegna Enel e sarà pari a:
  Ik"=13 kA, ip=36,58 kA;

- Nel livello di tensione 6 kV la massima corrente di corto trifase si avrà nel quadro L6KV A e sarà pari a:
  Ik"=8,78 kA, ip=21,33 kA;

- Nel livello di tensione 0,4 kV si avrà:
  Ik"=50 kA, ip=119 kA per i Power Center alimentati da trafi di potenza 3,15 MVA
  Ik"=24,8 kA, ip=54,9 kA per i Power Center alimentati da trafi di potenza 0,8 MVA

Per eseguire una corretta valutazione dei corti monofase-terra, bisogna considerare, in condizioni di normale esercizio, che la porzione di rete a 20kV di Chioggia è formata oltre che dalle due linee che connettono la sottostazione di Brondolo ai quadri di alimentazione dei trasformatori MT/MT dal cavo di interconnessione tra bocche L20B-M20A attestato nel quadro C20KV B che viene mantenuto in tensione, secondo il progettista, anche in condizione di normale funzionamento.
Analogo discorso si può fare per la bocca di Malamocco dove, però, le linee di interconnessione attestate e mantenute in tensione sono: M20-C20A, M20-L20B e M20B-L20A oltre ovviamente alle linee di connessione dei quadri di alimentazione con il punto di consegna di Sacca Fisola, per un totale di una quarantina di chilometri.
A Lido, invece, non risulta connessa e mantenuta in tensione alcuna linea ad esclusione di quelle di collegamento tra i quadri di alimentazione dei trasformatori MT/MT e il punto di consegna Enel di Cavallino.
L'analisi con Neplan ha fornito i seguenti risultati:

- Nel livello 20 kV si avranno diverse intensità delle correnti di corto monofase per le tre bocche in quanto esse presentano estensioni di linee elettricamente connesse estremamente diverse e quindi anche diverse impedenze alla sequenza omopolare; si avrà rispettivamente per le bocca di Chioggia: Ik"(L1)=81 A ip(L1)=227 A, per la bocca di Malamocco: Ik"(L1)=251 A ip(L1)=704 A e per Lido: Ik"(L1)=9 A ip(L1)=22 A.

- Nel livello 6kV, come già detto, il progettista ha voluto vincolare la corrente di corto monofase a 50 A.

- Nel livello di tensione 0,4 kV si avrà:
  Ik"=57,5 kA, ip=136 kA per i Power Center alimentati da trafi di potenza 3,15 MVA

Ik"=26,7 kA, ip=59 kA per i Power Center alimentati da trafi di potenza 0,8 MVA

Osservando i risultati degli ultimi calcoli effettuati non si comprende per quale ragione sia stato deciso di mantenere così tante linee in tensione a vuoto connesse alla sola bocca di Malamocco che inevitabilmente in caso di corto monofase, data la loro notevole estensione e considerando che il neutro non è compensato, danno luogo a correnti rilevanti contro ogni buona prassi di gestione di una rete a neutro isolato.

5.2 Correnti di corto circuito massime

L'assetto di rete che darà luogo alla maggiore intensità delle correnti di corto sarà sicuramente dato dal funzionamento dell'impianto in normale esercizio con caratteristiche analoghe al paragrafo precedentemente descritto e con tutti i generatori connessi alla sbarra 6kV di ogni bocca in parallelo alla rete. Infatti ogni generatore connesso in parallelo alla rete fornirà un incremento della corrente di guasto della sbarra che alimenta di circa il 15-20%.
Dall'analisi è emerso che:

- Nel livello di tensione 20 kV le massime correnti di corto si avranno nel punto di consegna Enel di Cavallino e saranno pari a:
  Ik"=14,39 kA ip=39,98 kA;
- Nel livello di tensione 6kV le massime correnti di corto saranno sulla sbarra ove sono connessi i generatori ed i motori e risultano pari a:
  Ik"=11,72 kA ip=29,2 kA;
- Nel livello di tensione 0,4 kV si avrà:
  Ik"=52,3 kA, ip=125 kA per i Power Center alimentati da trafi di potenza 3,15 MVA
  Ik"=24,57 kA, ip=54 kA per i Power Center alimentati da trafi di potenza 0,8 MVA

Le correnti di corto monofase, chiaramente, saranno identicamente uguali a quelle già definite nel capitolo precedente per i livelli di tensione 20KV e 6 KV, mentre per quanto riguarda la BT si avrà:

- Ik"(L1)=61,87 kA ip(L1)=147 kA sulla sbarra del secondario dei trasformatori con potenza 3,15MVA;
- Ik"(L1)=27,5 kA ip(L1)=60 kA sulla sbarra del secondario dei trasformatori con potenza 0,8MVA.

I valori delle correnti di cortocircuito riportati in questo paragrafo sono di estrema importanza poiché definiranno la scelta delle protezioni da utilizzare ed il dimensionamento degli isolatori di sbarra che dovranno essere in grado di sostenere sforzi impulsivi con frequenza 100Hz e intensità proporzionale al quadrato della corrente di picco.

5.3 Correnti di corto circuito minime

La situazione che determina la minima corrente di corto è un assetto topologico di rete che interponga la massima impedenza tra l'alimentazione ed i probabili nodi guasti oltre ovviamente a considerare sia i motori che i generatori di tutte le bocche sconnessi dalle rispettive sbarre. Nell' impianto del Mose si avrà questa condizione quando la bocca di Lido, per esempio, viene alimentata completamente a sbalzo dalla sottostazione di Brondolo.
L'analisi in questo determinato assetto di rete a dato i seguenti risultati:

- Nel livello di tensione 20kV la minima corrente di corto trifase si avrà nel quadro di alimentazione del trasformatore MT/MT della sezione A della bocca di Lido e sarà pari a:
  Ik"=2,2 kA ip=3,68 kA;
- Nel livello di tensione 6kV la minima corrente di corto trifase si avrà alle sbarre principali:
  L6KV A, L6KV B e sarà pari a Ik"=4,1 kA e ip=7,6 kA;
- Nel livello di tensione 0,4 kV si avrà:
  Ik"=33 kA, ip=67,3 kA per i Power Center alimentati da trafi di potenza 3,15 MVA
  Ik"=19,27 kA, ip=39,54 kA per i Power Center alimentati da trafi di potenza 0,8 MVA

Per quanto concerne i corti fase-terra il valore della corrente di guasto nella rete a 20 kV risulterà uguale per le tre bocche in quanto tutte conesse elettricamente tra loro ed anche ulteriormente incrementato, rispetto al normale funzionamento dell'impianto, fino ad un valore pari a: Ik"(L1)=378 A. E' chiaro, quindi, che la garanzia dell'erogazione del servizio anche a causa di un guasto ad una delle fasi, motivo principale per cui si utilizza il neutro isolato, salta completamente poiché è completamente impensabile alimentare per un tempo anche breve un guasto che determini, nel luogo dove avviene, correnti così elevate che risulterebbero sicuramente distruttive non solo per il cavo stesso, ma anche per l'isolamento delle altre due fasi specie se guasto avviene in un tratto di linea ove è prevista una posa in passerella; pertanto non ci si capacita del motivo per cui non sia stata prevista almeno la compensazione del neutro tramite bobina Petersen da applicare ad ogni bocca.
Il calcolo delle minime correnti di corto fase-terra ha fornito i seguenti risultati:

- Ik"(L1)=41,83 kA ip(L1)=000 kA sulla sbarra del secondario dei trasformatori con potenza 3,15MVA;
- Ik"(L1)=22,13 kA ip(L1)=000 kA sulla sbarra del secondario dei trasformatori con potenza 0,8MVA.

Tutti i valori delle correnti di corto riportati nel paragrafo appena descritto sono da tenere in particolare considerazione nel tarare le protezioni che dovranno essere

in grado di riconoscere tali valori come effetti di un reale evento di guasto da eliminare immediatamente. Tuttavia uno studio accurato sulle protezioni non dovrà limitarsi ad assumerli come assoluti, dato che per la BT rappresentano in realtà il corto di massima intensità e che potrebbero essere anche sensibilmente minori se il corto stesso avvenisse all'interno dell'utilizzatore, spesso connesso alla propria sbarra di alimentazione con tratti di cavo di lunghezza superiore a cento metri.

5.4 Correnti di corto con rete in MT magliata

Nel capitolo riguardante i flussi di potenza si sono potuti apprezzare i particolari pregi, nel caso sia necessaria la controalimentazione della bocca di Lido da Sacca Fisola o Bradolo, di una gestione magliata della rete a 20kV. E' necessario, però, valutare cosa comporti, in una situazione di guasto, una gestione di questo tipo.

Innanzitutto ogni nodo di rete a 20kV avrà più vie di alimentazione che, in caso di guasto, dovranno assolutamente essere interrotte simultaneamente; pertanto alle protezioni dovrà essere richiesto di "dialogare" tra loro e di localizzare il guasto (direzionali) per isolarlo e ridurre il rischio di mandar fuori servizio anche altre porzioni di rete sane. Discorso analogo si può fare per le linee di interconnessione tra le tre bocche dove sarà necessario, in caso di guasto in linea, eseguire l'apertura di entrambi gli interruttori posti ai capi della stessa. Per far ciò vi è la necessità, anche in questo caso, che le protezioni dialoghino tra loro, magari mediante fibra ottica già prevista nel medesimo scavo dei cavi, in modo che se si verifica l'apertura di uno dei due interruttori anche l'altro venga aperto per trascinamento.

Dall'analisi in questa particolare configurazione di rete è emerso che:

- Nel livello di tensione 20kV la massima corrente di corto trifase si avrà nel quadro di alimentazione del trasformatore MT/MT della sezione A della bocca di Lido e sarà pari a:
  Ik"=4,9 kA ip=8,13 kA;

- Nel livello di tensione 6kV la massima corrente di corto trifase si avrà alle sbarre principali L6KV A e L6KV B e sarà pari a:
  Ik"=6,5 kA e ip=13,8 kA;

- Nel livello di tensione 0,4 kV si avrà:
  Ik"=41,7 kA, ip=93,7 kA per i Power Center alimentati da trafi di potenza 3,15 MVA
  Ik"=21,9 kA, ip=46,4 kA per i Power Center alimentati da trafi di potenza 0,8 MVA

Già da una prima lettura dei risultati sopra esposti risulta evidente che una gestione della rete magliata in caso di controalimentazione non determina nessun onere ulteriore in termini di dimensionamento delle protezioni o dei supporti degli

isolatori delle sbarre dei Power Center, tuttavia sarà compito di particolare delicatezza determinare i tempi di intervento e la coordinazione di tutte le protezioni, che risultrà più difficoltosa.

5.5 Guasti in linea

C'è infine parso opportuno analizzare, sempre con un assetto di rete magliato, l'eventualità che si verifichi un guasto trifase lungo le linee di interconnessione a 20kV ipotizzando, in un primo momento che questo avvenga in testa alla linea quindi a metà della stessa e poi alla fine. Tutti i risultati non verranno riportati qui di seguito pertanto si invita il lettore interessato a consultarne il riepilogo grafico presente in Appendice G, tenendo presente che come inizio della linea è stato posto il quadro riportante la stessa sigla con cui inizia la denominazione della linea stessa (ad esempio per la linea M20B-L20A verrà considerato come inizio il quadro M20KV B e come fine il quadro L20KV A).
I valori che si sono ottenuti assumeranno particolare importanza solo al fine di conoscere l'entità della corrente di guasto che si potrà avere a causa di un accidentale tranciamento dei cavi o del cedimento di un testalinea, incidenti quest'ultimi percentualmente molto probabili in un impianto che preveda un elevata presenza di linee in cavo.

Capitolo 6

Avviamento Motori

Nel seguente capitolo verrà analizzato il comportamento dei motori all'avviamento e gli effetti che tale transitorio genera nei nodi della rete a cui sono connessi ed a quelli elettricamente vicini. I parametri che considereremo sono: l'andamento temporale delle tensioni alla sbarra dove è connesso il motore in avviamento, la caratteristica meccanica del motore e del carico, l'andamento della potenza attiva e reattiva e della corrente richiesta dal motore ed infine l'andamento della sua velocità relativa sempre in funzione del tempo.
Si vuole, prima di iniziare l'analisi delle varie simulazioni effettuate, illustrare brevemente come il software implementa i calcoli. Neplan sostanzialmente fa un elevato numero di *load flow* consecutivi per scorrimenti via via decrescenti finché non si riesce a trovare un punto di lavoro, intersezione della curva di carico con la caratteristica meccanica del motore, oltre il quale lo scorrimento verrà mantenuto costante indefinitamente. Chiaramente per ogni *load flow* vengono calcolati tutti i parametri di interesse attraverso l'utilizzo delle equazioni caratteristiche della macchina asincrona, mentre la relazione tra il tempo e lo scorrimento sarà determinata dalla seguente equazione meccanica:

$$Me - Mc = \frac{-2\pi n_0}{p} J \frac{ds}{dt}$$

dove
Me : coppia fornita dal motore all' albero
Mc : coppia resistente del carico applicata all' albero
n_0 : velocità di sincronismo
p : numero di coppie polari nel nostro caso uguale a 1
J : momento d'inerzia
s : scorrimento
t : tempo

Grazie, quindi, alla conoscenza della relazione tempo scorrimento e dei vari valori calcolati nei diversi *load flow*, il software potrà tracciare un grafico, per interpolazione, che permette di visualizzare l'evoluzione temporale dei parametri di macchina e di rete che più ci interessano.

Nel capitolo riguardante il *load flow* sono state valutate due condizioni di funzionamento dei compressori e quindi dei motori: la prima prevedeva il fun-

zionamento a regime permanente, la seconda il funzionamento a regime minimo. Visto, però, il principio con cui Neplan simula l'avviamento sarà necessario ipotizzare una curva di carico del compressore per entrambe le situazioni.
Sicuramente si dovrà tener conto, come previsto dalle specifiche del progettista del compressore, che solo gli attriti dovuti al moltiplicatore di giri ed ai cuscinetti di supporto dell'albero richiedono una coppia nelle primissime fasi di avviamento pari al 15-20% della nominale, quindi, a scorrimento prossimo ad uno, il carico eserciterà una coppia resistente di circa 500 Nm dovuti solo ed esclusivamente a perdite di tipo meccanico. E' chiaro che a tale coppia resistente va sommata quella prodotta dal carico utile ovvero il pompaggio d' aria che dovrà essere assolutamente modulato da valvole parzializzatrici di portata poste all'aspirazione del compressore in quanto il motore nelle prime fasi di avviamento è in grado di fornire una coppia nettamente inferiore alla nominale.

A questo punto si sono supposte due gestioni per l' avviamento del compressore: la prima, più facile da ottenere ma meno vantaggiosa, è di realizzare un controllo meccanico sulla valvola di aspirazione che ne permetta la completa chiusura a compressore fermo e quindi una graduale apertura all'aumentare dell' effettiva velocità di rotazione fino al raggiungimento della condizione di lavoro corrispondente alla apertura totale della valvola stessa. Il controllo di fatto agisce sulla portata che il compressore deve elaborare e di conseguenza in modo quadratico sulla potenza e chiaramente sulla coppia richiesta all'albero. Ciò giustifica la nostra scelta di ipotizzare una curva di carico (coppia-scorrimento) con andamento parabolico i cui parametri sono stati settati supponendo un incremento lineare della portata all'aumentare della velocità. La curva introdotta nel software, in questa particolare gestione, sarà la seguente:

$$Mc = M_0 + M_1(1-s)^2 = 500 + 1508\,(1-0,00198)^2$$

s: scorrimento in condizioni di regime permanente;
M_0 :coppia richiesta all'avviamento.

Una seconda possibilità di gestire il transitorio dei motori prevede di avviarli a regime minimo e successivamente fornir loro progressivamente il carico fino ad ottenere la condizione di lavoro permanente necessario ad alimentare le paratoie. Questo tipo di gestione, più complicata della precedente, prevederà sicuramente l'utilizzo di un software di controllo in grado di parzializzare la valvola in aspirazione e quindi limitare al minimo il carico senza, però, eliminarlo completamente, onde evitare particolari fenomeni di depressione all'interno del compressore. Come si può già immaginare quest'ultima tipologia di controllo è nettamente migliore della precedente, tant' è vero che molto probabilmente l'avvio delle macchine sarà gestito, tramite quadro locale, proprio in questo modo, riservando l'utilizzo del controllo meccanico solo ai casi di emergenza.

Si è ipotizzata pertanto una curva che valuti oltre alla coppia frenante dovuta al carico anche quella dovuta agli attriti ed esprimibile dalle seguente relazione:

$$Mc = M_0 + M_1(1-s)^2 = 500 + 320\,(1-0,00198)^2$$

s: scorrimento in condizioni di regime permanente a carico minimo
M_0 :coppia richiesta all'avviamento

Come nei tanti casi visti precedentemente tutto lo studio sull'avviamento dei motori verrà condotto solo sulla bocca di Lido che presenta, come ormai noto, le maggiori criticità.
L'avviamento dei motori viene effettuato senza alcun dispositivo elettronico, un segnale, proveniente dal sistema di controllo, provvederà semplicemente a chiudere l'interruttore di sbarra mettendo in tensione il motore e decretando l'inizio del transitorio di avviamento che chiaramente assumerà, nei suoi parametri essenziali, particolari valori per ogni assetto di rete.

6.1 Avviamento con rete in normale esercizio

Si consideri ora il caso più impegnativo con la rete in normale esercizio: l'ultimo motore di Lido è in avviamento con il semplice utilizzo della valvola parzializzatrice di portata del compressore, poichè supposto fuoriservizio il quadro lacale di controllo della valvola di aspirazione. La curva di carico attribuita al motore sarà quindi la prima delle sopra esposte.

Nel grafico di Figura 6.1 sono tracciati gli andamenti della coppia del motore (in rosso) e della coppia del carico (in blu) in funzione del tempo. L'andamento della coppia del motore è quella classica di un motore asincrono, tuttavia si può porre in evidenza una particolarità: la curva della coppia, nella zona del funzionamento instabile del motore, cresce molto lentamente per poi raggiungere con una derivata temporale molto ripida la coppia massima e ridiscendere repentinamente verso il punto di lavoro stabile. Questo andamento è sintomo che il gruppo motore-compressore è dotato di inerzie molto elevate fattore che determina, per coppie disponibili basse come sono quelle presenti nelle prime fasi d' avviamento, modeste accelerazioni.

Il grafico di Figura 6.2 pone in evidenza l'andamento della velocità e della corrente assorbita dal motore durante l'avviamento. Si può notare immediatamente come la corrente permanga a valori decisamente superiori a quelli nominali durante tutto il transitorio che quindi dovrà assolutamente essere il più breve possibile, l'andamento riportato nel grafico può fornire utili informazioni anche nella determinazione della curva di intervento termico delle protezioni aspetto di cui, però, non ci occuperemo. Per quanto riguarda la velocità, invece, essa cresce linearmente nelle prime fasi di avviamento per poi assumere, nel momento in cui la coppia ragggiunge il massimo, carattere parabolico in virtù della maggior accelerazione disponibile. Come si può notare la curva non presenta tratti semiorizzontali prima di giungere al punto di lavoro, ciò permette di avere una certa tranquilità che il motore non smetta di accelerare prima di arrivare alla velocità di regime, situazione quest'ultima, viste le correnti in gioco, rapidamente distruttiva per l'isolamento del motore stesso.

Si vuole evidenziare con i tre grafici di figura 6.3,6.4e6.5 la fondatezza di alcune nostre ipotesi formulate nel capitolo riguardante il *load flow*, ovvero che le cadute di tensione non sono fenomeni di durata limitata a qualche secondo, come

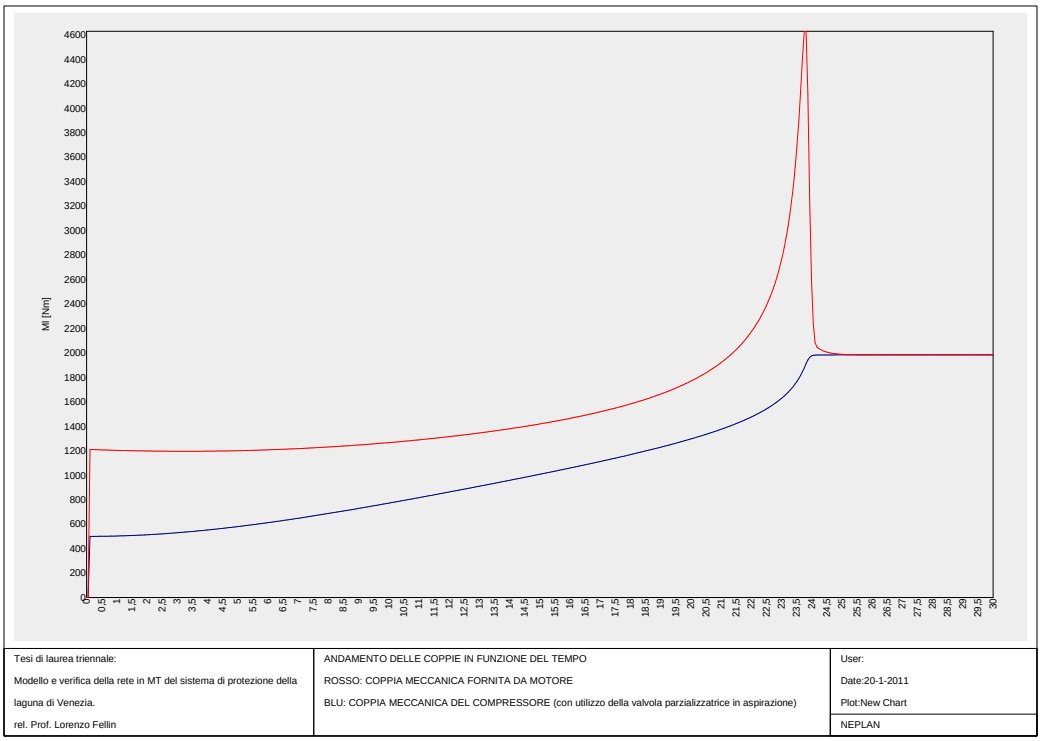


Figura 6.1:

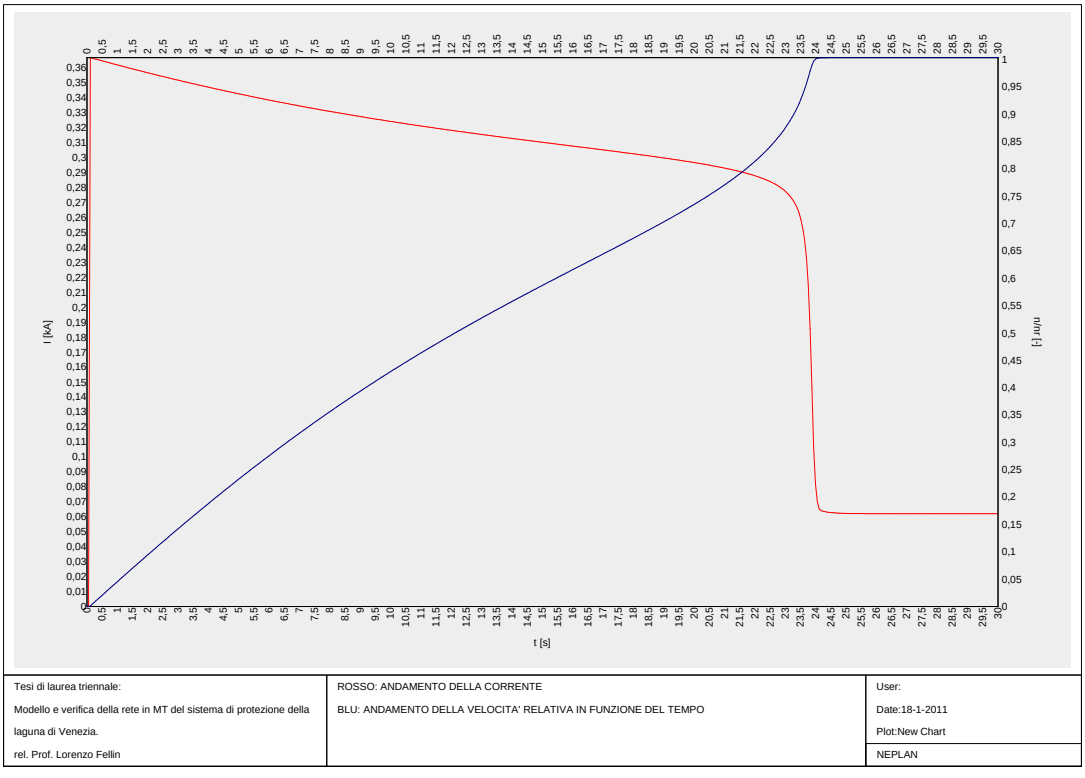


Figura 6.2:

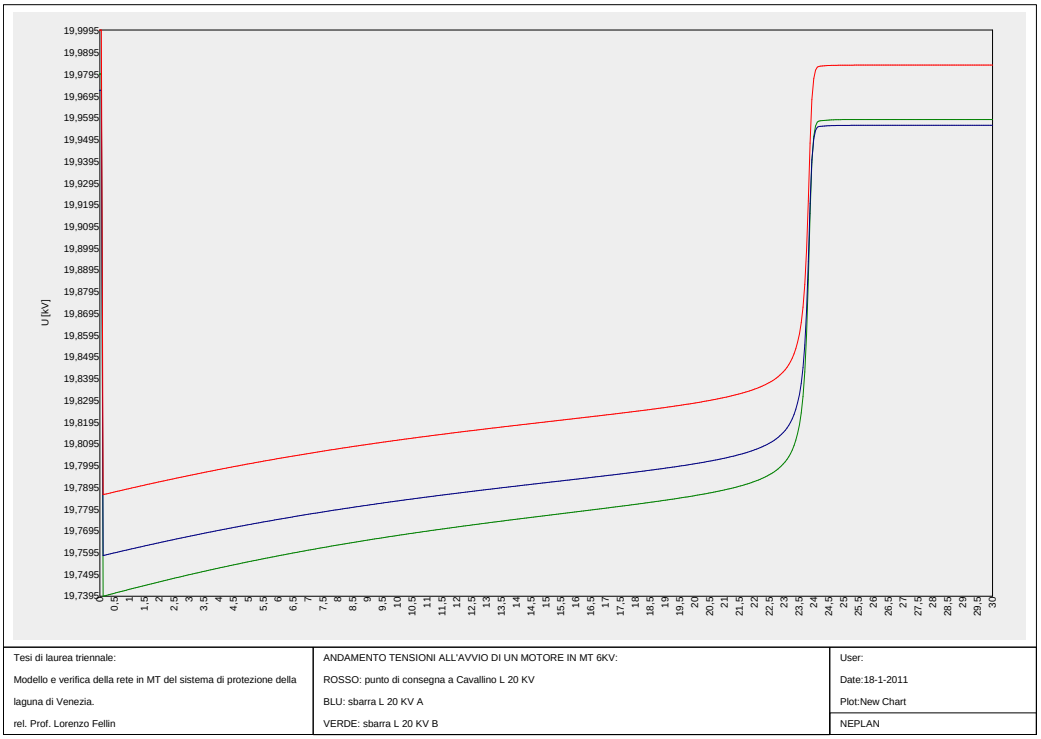


Figura 6.3:

riportato nei progetti del Mose, e che l' avviamento consecutivo di più motori crea, nei principali nodi dell'impianto, fluttuazioni della tensione dell'ordine del 10-15% in alcune particolari configurazioni topologiche di rete. I grafici di figura 6.3 e di figura 6.4 permettono, inoltre, di porre ancor più in risalto quanto sia gravoso l'avviamento di un motore di taglia così elevata; infatti, seppur le due sezioni dell'impianto siano connesse tra loro solo in sottostazione ad una sbarra con elevato potere di corto, l'avviamento di un motore, che avviene ad esempio nella sezione "B", influisce nettamente anche sull'altra sezione di bocca, in questo caso nella sezione "A". Infine il grafico di figura 6.5 risulta particolarmente interessante poichè rappresenta l'andamento delle tensioni sulle sbarre di bassa ove sono connessi anche carichi per loro natura particolarmente sensibili alle variazioni di tensione.

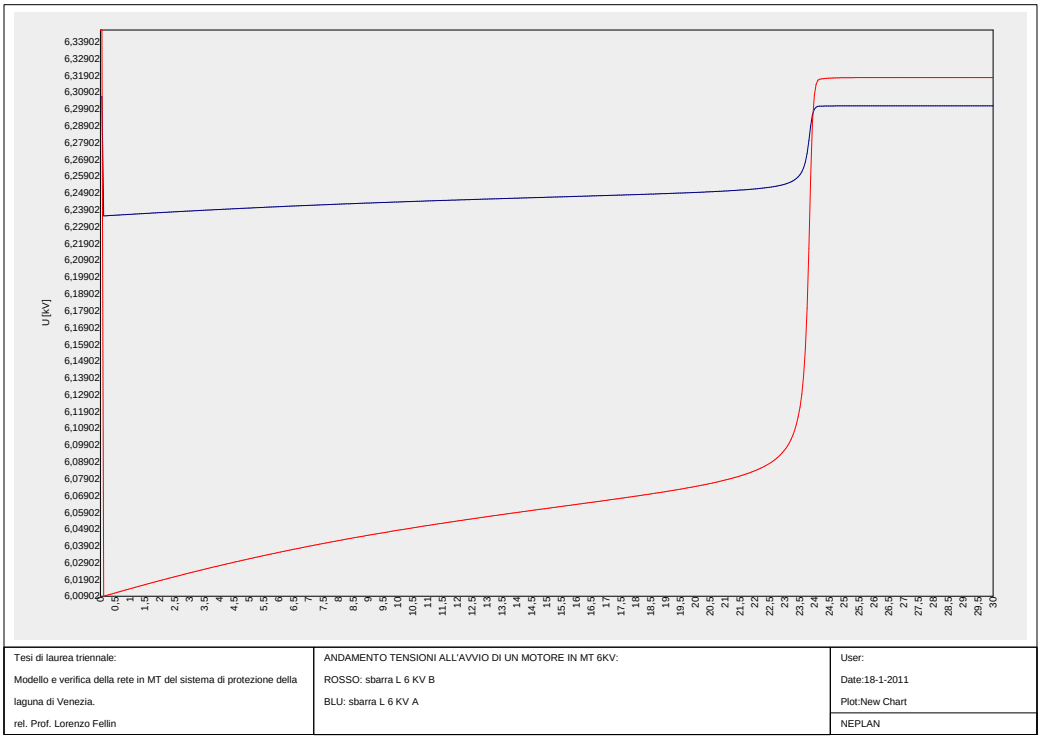


Figura 6.4:

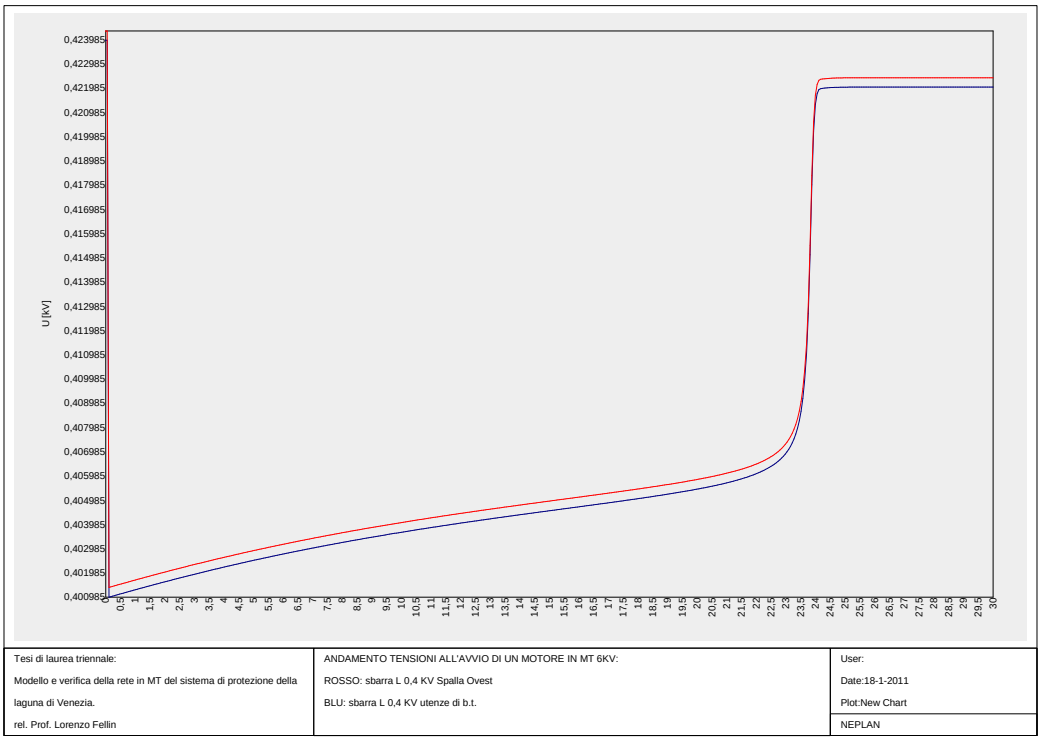


Figura 6.5:

6.2 Avviamento con la bocca di Lido alimentata a sbalzo da Brondolo

Come già messo in luce nel capitolo riguardate il *load flow*, l'alimentazione a sbalzo da Brondolo ed in misura lievemente minore anche da Malamocco determinano cadute di tensione alle sbarre di alimentazione di oltre il dieci percento influendo pesantemente sulla coppia erogata dal motore che subisce decrementi che possono arrivare facilmente oltre i venti punti percentuali. Nei grafici di figura 6.6 si può osservare come il margine tra la coppia erogata dal motore e quella richiesta dal carico sia molto ridotto e, vista l'elevata inerzia, come i tempi teorici di avviamento si dilatino notevolmente. Se, però, si analizza per un attimo la curva della velocità ci si rende immediatamente conto che il motore di fatto permane ad una velocità di rotazione pari a circa il 70% di quella di lavoro per un periodo di tempo di oltre 60 secondi con una corrente tre volte e mezza superiore alla nominale. Il *datasheet* del motore riporta che lo stesso possa resistere in una condizione di stallo, cioè con riscaldamento completamente adiabatico dell'avvolgimento in rame sottoposto alla corrente di avviamento, per non più di 28 secondi se il motore viene avviato a freddo 16 secondi se viene avviato a caldo, pena gravi danneggiamenti all' isolamento. Ora, pur considerando che il regime di riscaldamento non è adiabatico ad una velocità del rotore pari al 70% di quella a regime ma che la corrente permane tre volte e mezza superiore alla nominale, è completamente impensabile che il motore superi indenne un avviamento con questo assetto di rete specie se lo si deve eseguire senza attendere il raffreddamento della macchina. Si può quindi affermare che alle suddette condizioni non dovrà avvenire alcun avviamento e che anzì sarà proprio compito delle protezioni impedire che questo si possa verificare.

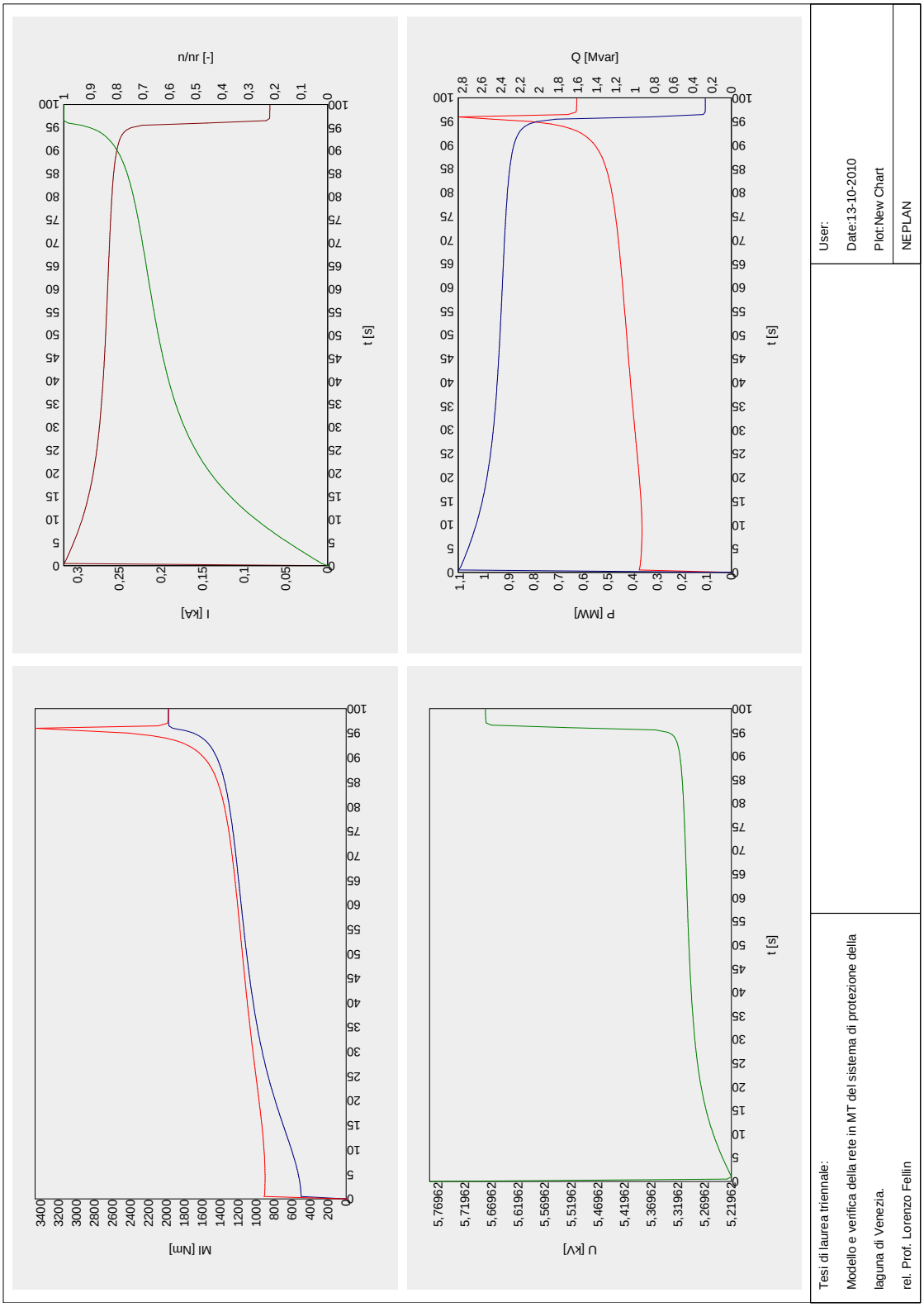


Figura 6.6:

Prevedendo invece una diversa tipologia di gestione, ad esempio quella già presa in considerazione nel *load flow* di rifasare i carichi in BT e di avviare l'ultimo

motore con i restanti funzionanti a carico minimo, si possono ottenere notevoli miglioramenti come è apprezzabile dai grafici di figura 6.7 nella pagina seguente che sono stati ottenuti introducendo nella simulazione la seconda tipologia di curva di carico meccanico considerata in questo capitolo. Chiaramente bisognerà provvedere ad un preciso controllo delle valvole di aspirazione dei compressori sicuramente centralizzato e gestito da un unico server.
Nonostante questi accorgimenti il tempo di avviamento, solo per portare il motore al regime minimo, risulta comunque triplicato rispetto al funzionamento in normale esercizio. Vi è, inoltre, da sommare al tempo di avviamento quello necessario a dare progressivamente carico al compressore che dovrà essere sufficentemente lungo in modo da evitare bruschi transitori meccanici che potrebbero danneggiare il giunto di accoppiamento. Si può quindi affermare che una gestione di questo tiponecessit per l'avviamento di tempi molto prolungati, almeno dell'ordine di una decina di minuti, per portare l'impianto alla piena operatività.
Fatto più grave è che non si riesce, anche una gestione di questo tipo, ad eliminare completamente il problema del surriscaldamento eccessivo del motore, in quanto la corrente, che permane elevata per tutto il transitorio di avviamento, implica l'esigenza di dissipare un'energia in questo arco di tempo addirittura maggiore di quella sviluppata dal motore che permane in una condizione di stallo per tutto il tempo di sopportabilità indicato nei *datasheets*. E' logico, come già tra l'altro anch detto, che una situazione di avviamento non equivale ad una di stallo per quanto riguarda lo smaltimento del calore e che la ventilazione seppur funzionante a regime ridotto aiuta a limitare l'incrementarsi della temperatura. Tuttavia si può affermare che il margine di sicurezza della macchina è molto limitato, la qual cosa non rappresenta sicuramente una situazione gradevole soprattutto considerando che eventuali danni che si possono verificare sono natura distruttiva per l'isolamento delle spire.

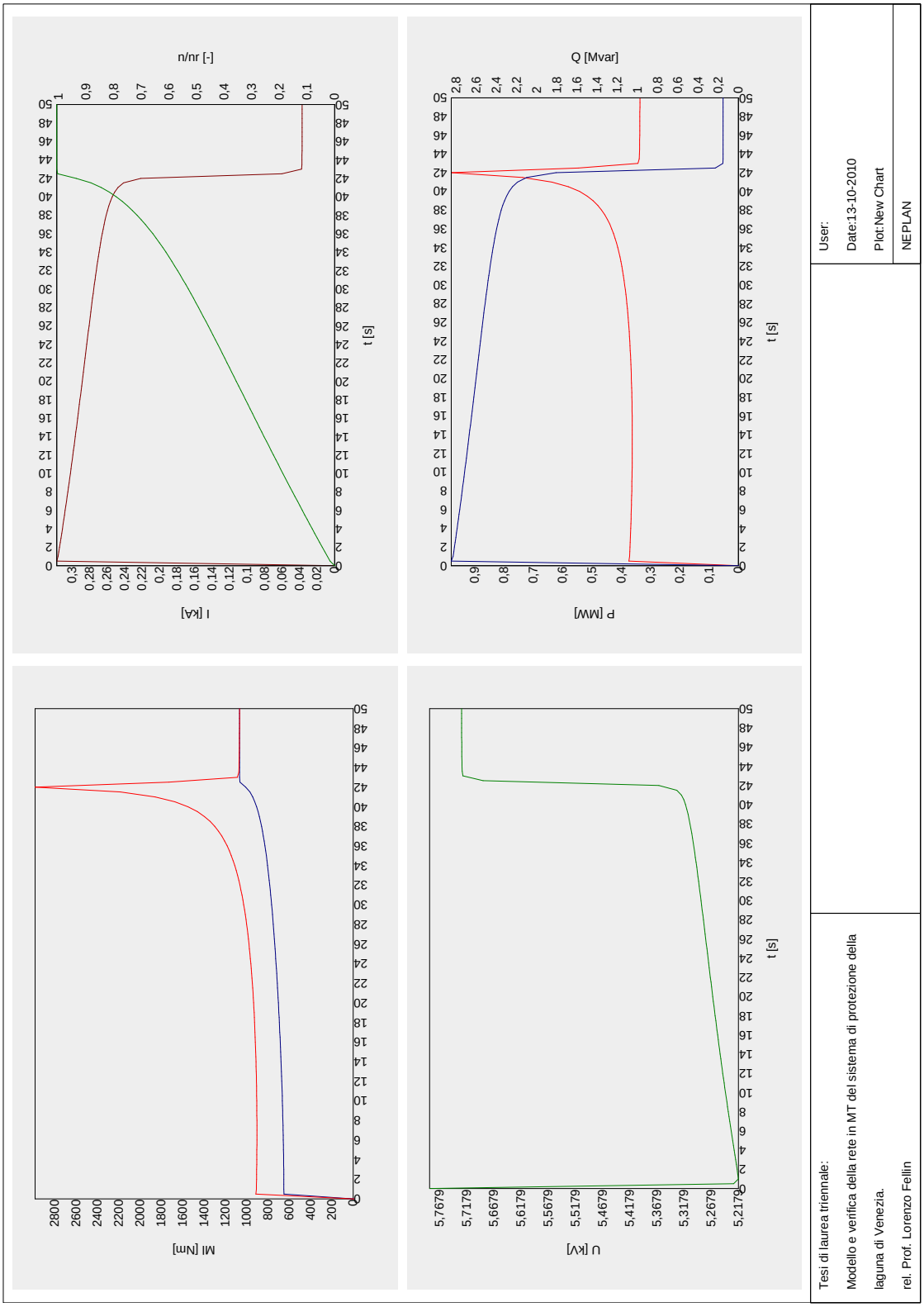

n/nr [-]
I [kA]
t [s]
Q [Mvar]
P [MW]
t [s]
MI [Nm]
U [kV]
t [s]
User:
Date:13-10-2010
Plot:New Chart
NEPLAN
Tesi di laurea triennale:
Modello e verifica della rete in MT del sistema di protezione della laguna di Venezia.
rel. Prof. Lorenzo Fellin

Figura 6.7:

6.3 Avviamento con gestione magliata della rete a 20kV e la sola sottostazione di Brondolo disponibile

Si erano già visti, nel capitolo riguardante i flussi di potenza, i particolari benefici che una gestione magliata della rete a 20 kV comportava nel limitare le cadute di tensione nei principali nodi ai livelli di tensione 6 kV e 0,4 kV. Si vuole ora valutare l'andamento dei principali parametri di macchina e di rete sia nell' ipotesi di gestire l'avviamento del motore a carico minimo, sia mediante valvola parzializzatrice di portata. Si sono riportati a tal proposito entrambi i grafici degli andamenti temporali di tutte le pricipali grandezze, ottenuti mediante l'applicazione, al motore in avviamento, della prima curva di carico ipotizzata in questo capitolo per la figura 6.8 nella pagina successiva, la seconda curva di carico, cioè quella che rispecchia una gestione di avviamento a carico minimo del motore, per la figura 6.9 a pagina 57.
Come era lecito immaginare si può notare, viste le cadute di tensione alla sbarra di alimentazione del motore molto più limitate, una riduzione dei tempi di avviamento rispetto alla configurazione che prevedeva l'alimentazione a sbalzo da Brondolo; riduzione di circa 5 secondi nel caso non sia disponibile il controllo elettronico della valvola parzializzatrice posta in aspirazione del compressore, di circa un ventina di secondi nel caso si preveda di avviare il motore a carico minimo. Tutto ciò a ulteriore conferma del fatto che la gestione magliata del livello 20 kV, in caso di controalimentazione, ha enormi benefici rispetto ad ogni altra soluzione volta a garantire un buon servizio.

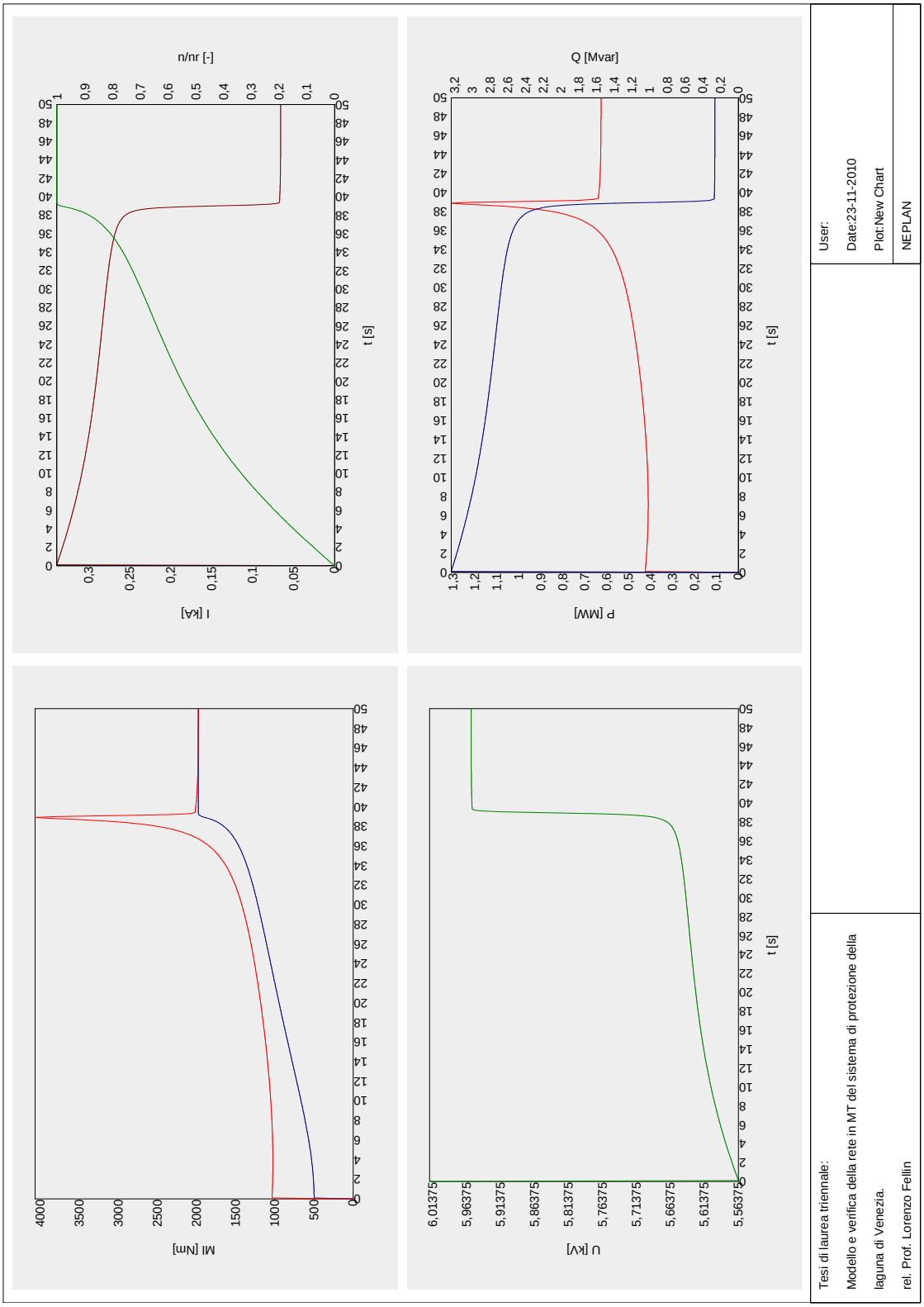

n/nr [-]
I [kA]
t [s]
Q [Mvar]
P [MW]
t [s]
MI [Nm]
t [s]
U [kV]
t [s]
User:
Date:23-11-2010
Plot:New Chart
NEPLAN
Tesi di laurea triennale:
Modello e verifica della rete in MT del sistema di protezione della laguna di Venezia.
rel. Prof. Lorenzo Fellin

Figura 6.8:

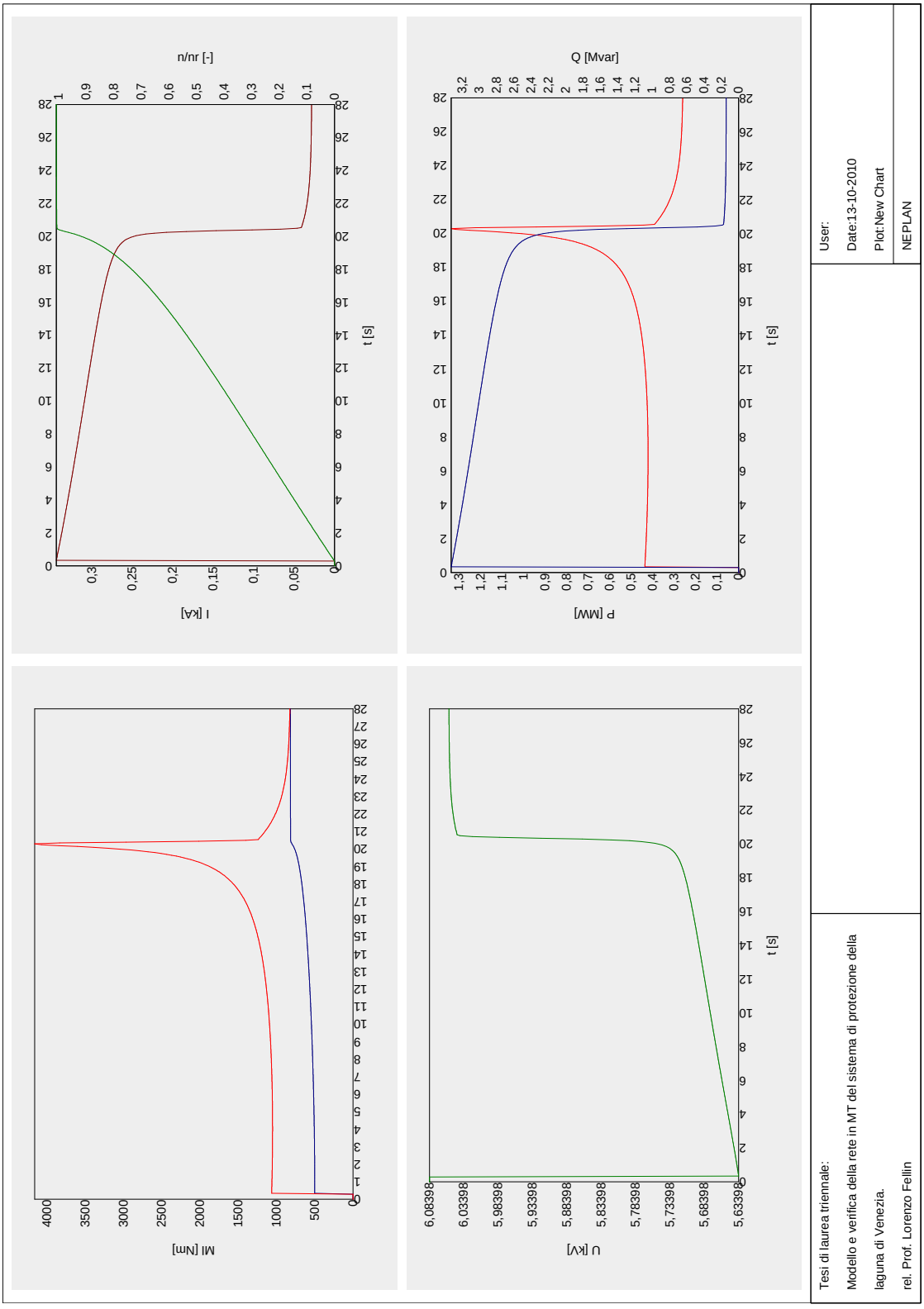

n/nr [-]
I [kA]
t [s]
Q [Mvar]
P [MW]
t [s]
Ml [Nm]
U [kV]
t [s]
User:
Date:13-10-2010
Plot:New Chart
NEPLAN
Tesi di laurea triennale:
Modello e verifica della rete in MT del sistema di protezione della laguna di Venezia.
rel. Prof. Lorenzo Fellin

Figura 6.9:

Capitolo 7

Conclusioni

Dal nostro studio è emerso che l'impianto, nel suo normale funzionamento, garantisce una discreta qualità del servizio per qualsiasi tipo di operazione che è chiamato a svolgere.
Qualora, però, dovesse presentarsi un evento anomalo come ad esempio un guasto o il fuoriservizio di una o più sottostazioni, l'impianto potrebbe in alcuni casi non garantire più la sua completa funzionalità. In particolar modo si è visto che una eventuale controalimentazione della bocca di Lido e Malamocco dalla sottostazione di Brondolo, eseguita completamente a sbalzo, non permette di fatto l'avviamento dei motori connessi alla sbarra di Lido neanche prevedendo di avviarli a carico minimo. La macchina, infatti, sarà soggetta a correnti 3-4 volte superiori alla nominale per un periodo di tempo troppo prolungato per poter garantire con una certa sicurezza la tenuta dell' isolamento d'indotto alla sollecitazione termica.
Una delle possibili soluzioni, se si vuole necessariamente mantenere una gestione radiale della rete, è di utilizzare per l'avviamento dei motori degli autotrasformatori (booster) interposti tra la sbarra di alimentazione del motore e i morsetti dello stesso, che siano in grado di elevare la tensione di sbarra fino al valore nominale e che, una volta avviati i motori, possano essere esclusi per evitare inutili perdite. Un'altra possibile soluzione, certamente più facile da realizzare ed anche decisamente più conveniente, consiste nel connettere in parallelo alla RTN uno o più generatori alla stessa sbarra dove avviene l'avviamento del motore.

Tuttavia la miglior soluzione in assoluto, se non si vuole far uso dei generatori, è quella di gestire la rete in un assetto ad anello chiuso; in tal modo la rete a livello 20 kV risulta notevolmente rinforzata e l'avviamento dei motori sarà molto meno critico. E' comunque consigliabile, chiaramente, prevedere un controllo che avvii il motore a carico minimo e che fornisca successivamente il pieno carico al fine di ridurre ulteriormente uno stress termico prolungato all'avvolgimento del motore dovuto alle elevate correnti presenti all' avviamento. C'è inoltre da considerare che tutti gli studi fin qui condotti hanno supposto pari al 100% il valore della tensione nei punti di consegna Enel delle tre bocche anche se dal punto di vista normativo è previsto un intervallo di tolleranza del $\pm 10\%$ entro cui il distributore è tenuto ad erogare potenza. A maggior ragione quindi si avvalora, in caso di

controalimentazione, la scelta di avere una rete forte a livello 20 kV, cioè con gestione magliata, la qual cosa eviterebbe, in caso di erogazione da parte di Enel di potenza a tensione inferiore alla nominale, di trasformare situazioni già di per sè precarie in termini di cadute alle sbarre dei motori e dei carichi in situazioni del tutto inaccettabili.

Appendice A

Sintesi elenco utenze

Dati acquisiti per gentile concessione di Technital

Chioggia

Sigla carico	P installata [kW]	Q installata [kvar]
C spalla A nord P	106	55
C spalla A nord NP	207	152
C spalla B nord P	114	70
C spalla B nord NP	68	49
C utenze BT di bocca A P	542	318
C utenze BT di bocca A NP	564	401
C utenze BT di bocca B P	374	217
C utenze BT di bocca B NP	570	438

Malamocco

Sigla carico	P installata [kW]	Q installata [kvar]
M spalla A nord P	151	81
M spalla A nord NP	184	134
M spalla B nord P	100	51
M spalla B nord NP	110	80
M utenze BT di bocca A P	533	349
M utenze BT di bocca A NP	558	400
M utenze BT di bocca B P	367	237
M utenze BT di bocca B NP	524	374

Lido

Sigla carico	P installata [kW]	Q installata [kvar]
L spalla A sud P	37	27
L spalla A sud NP	199	148
L spalla B sud P	33	24
L spalla B sud NP	201	150
L utenze BT di bocca A P	467	306
L utenze BT di bocca A NP	756	543
L utenze BT di bocca B P	333	223
L utenze BT di bocca B NP	639	457
L spalla A ovest P	39	22
L spalla A ovest NP	189	109
L spalla B ovest P	35	20
L spalla B ovest NP	211	120
L spalla A est P	35	19
L spalla A est NP	212	127
L spalla B est P	35	19
L spalla B est NP	189	109

Appendice B

Fattori di contemporaneità

Denominzione carico	sezione	fattore di contemp.
C spalla Nord P	A	0,751
C spalla Nord P	B	0,751
C spalla Nord NP	A	0,48
C spalla Nord NP	B	0,48
C utenze BT di bocca P	A	0,592
C utenze BT di bocca P	B	0,592
C utenze BT di bocca NP	A	0,497
C utenze BT di bocca NP	B	0,497

Denominzione carico	sezione	fattore di contemp.
M spalla Nord P	A	0,601
M spalla Nord P	B	0,601
M spalla Nord NP	A	0,626
M spalla Nord NP	B	0,626
M utenze BT di bocca P	A	0,592
M utenze BT di bocca P	B	0,592
M utenze BT di bocca NP	A	0,516
M utenze BT di bocca NP	B	0,516

Denominzione carico	sezione	fattore di contemp.
L spalla Sud P	A	0,169
L spalla Sud P	B	0,169
L spalla Sud NP	A	0,509
L spalla Sud NP	B	0,509
L spalla Est P	A	0,123
L spalla Est P	B	0,123
L spalla Est NP	A	0,7
L spalla Est NP	B	0,7
L spalla Ovest P	A	0,189
L spalla Ovest P	B	0,189
L spalla Ovest NP	A	0,687
L spalla Ovest NP	B	0,687
L utenze BT di bocca P	A	0,498
L utenze BT di bocca P	B	0,498
L utenze BT di bocca NP	A	0,532
L utenze BT di bocca NP	B	0,532

Appendice C

Fogli-dati motori

RISPETTIVAMENTE CHIOGGIA, MALAMOCCO E LIDO

ABB SACE MV Induction Machines	Classifying code or document type PERFORMANCE DATA OF MOTOR	ABB

Department/Author	Date of issue	Lang.	Rev. date	Our ref.	
DMPA/ Desana	20/07/2005	En			
Customer		**Plant**		**Rev./Changed by**	**Pages**
Cooper Turbocompressor					1/13

Driven machine:Centrifugal compressor TA3000

Motor type code		AMA 400L2A BAM		
Motor type		Squirrel cage motor		
Mounting designation		IM 1001		
Protected by enclosure		IP 55		
Method of cooling		IC611		
Insulation		Class F		
Standards		IEC		
Ambient temperature, max.		40 °C		
Altitude, max.		1000 m.a.s.l.		
Duty type		S1		
Temp. rise		Class B		
Connection of stator winding		Star		
Rated output		430 kW		
Voltage		6000 V ±5 %		
Frequency		50 Hz		
Speed		2966 rpm		
Current		49 A		
Relat. starting current		4.0 **(max 4.4) (1)**		
Relat. starting torque		0.5		
Relat. maximum torque		1.9		
No load current / cos φ o / cos φ cc		8 A / 0.14 / 0.13		
Rated torque		1384 Nm		
Load characteristics	Load %	Current A	Efficiency %	Power Factor
	100	49	94.4	0.90
	75	36	94.3	0.91
	50	25	93.4	0.90
Direction of rotation		Uni-directional		
Sound pressure level: (sinus supply, no load)		83 dB(A), tol. + 2 dB(A), 1 m		
Weight of rotor		660 kg		
Total weight of motor		3250 kg		
Inertia rotor / load		9.9 kgm² / **23 kgm²**		
Bearings		Antifriction		
Maximum stalling time		43 / 29 s (cold/warm) (U=Un)		
Starting time		15 / 14.5 s (cold/warm) (U=Un)		
		30 / 29 s (cold/warm) (U=0.80 Un)		
Number of consec. starts		3 / 2 (cold/warm)		
Maximum number of starts		1000 / year		
Warm-up time constant		30 min		
Cool-down time constant		180 min		

This performance data is PRELIMINARY
All motor data is subject to tolerances in accordance with IEC (except (1))
(2) option for sleeve bearings

ABB SACE

MV Induction Machines
Visiting Address
.
Postal Address
V.le dell'industria 18
20010 Vittuone (MI)
Italy
Telephone
+390290341
Telefax
+390290347272

ABB SACE MV Induction Machines	Classifying code or document type PERFORMANCE DATA OF MOTOR	

Department/Author	Date of issue	Lang.	Rev. date	Our ref.	
DMPA/ Desana	20/07/2005	En			
Customer		Plant		Rev./Changed by	Pages
Cooper Turbocompressor					1/13

Driven machine:Centrifugal compressor TA3000

Motor type code		AMA 400L2A BAM		
Motor type		Squirrel cage motor		
Mounting designation		IM 1001		
Protected by enclosure		IP 55		
Method of cooling		IC611		
Insulation		Class F		
Standards		IEC		
Ambient temperature, max.		40 °C		
Altitude, max.		1000 m.a.s.l.		
Duty type		S1		
Temp. rise		Class B		
Connection of stator winding		Star		
Rated output		→ 550 kW		
Voltage		6000 V ±5 %		
Frequency		50 Hz		
Speed		2966 rpm		
Current		62 A		
Relat. starting current		→ 4.0 **(max 4.4) (1)**		
Relat. starting torque		0.5		
Relat. maximum torque		1.9		
No load current / cos φ o / cos φ cc		10 A / 0.13 / 0.13		
Rated torque		1770 Nm		
Load characteristics	Load %	Current A	Efficiency %	Power Factor
	100	62	94.9	0.90
	75	46	95.0	0.91
	50	31	94.2	0.90
Direction of rotation		Uni-directional		
Sound pressure level: (sinus supply, no load)		83 dB(A), tol. + 2 dB(A), 1 m		
Weight of rotor		690 kg		
Total weight of motor		3390 kg		
Inertia rotor / load		10.5 kgm² / **23 kgm²**		
Bearings		Antifriction **(2)**		
Maximum stalling time		28 / 18 s (cold/warm) (U=Un)		
Starting time		13 / 12 s (cold/warm) (U=Un)		
		25 / 23 s (cold/warm) (U=0.80 Un)		
Number of consec. starts		3 / 2 (cold/warm)		
Maximum number of starts		1000 / year		
Warm-up time constant		30 min		
Cool-down time constant		180 min		

This performance data is PRELIMINARY.
All motor data is subject to tolerances in accordance with IEC (except (1))
(2) option for sleeve bearings

DA Compressore TA
Cooper.

ABB SACE

MV Induction Machines
Visiting Address
.
.
Postal Address
V.le dell'Industria 18
20010 Vittuone (MI)
Italy
Telephone
+390290341
Telefax
+390290347272

ABB SACE MV Induction Machines	Classifying code or document type PERFORMANCE DATA OF MOTOR	

Department/Author	Date of issue	Lang.	Rev. date	Our ref.	
DMPA/ Desana	20/07/2005	En			
Customer		Plant		Rev./Changed by	Pages
Cooper Turbocompressor					1/13

Driven machine:Centrifugal compressor TA6000

Motor type code		AMA 400L2A BAM		
Motor type		Squirrel cage motor		
Mounting designation		IM 1001		
Protected by enclosure		IP 55		
Method of cooling		IC611		
Insulation		Class F		
Standards		IEC		
Ambient temperature, max.		40 °C		
Altitude, max.		1000 m.a.s.l.		
Duty type		S1		
Temp. rise		Class B		
Connection of stator winding		Star		
Rated output		→ 750 kW		
Voltage		6000 V ± 5 %		
Frequency		50 Hz		
Speed		2965 rpm		
Current		83 A		
Relat. starting current		→ 4.0 **(max 4.4) (1)**		
Relat. starting torque		0.5		
Relat. maximum torque		1.8		
No load current / cos φ o / cos φ cc		12 A / 0.12 / 0.13		
Rated torque		2415 Nm		
Load characteristics	Load %	Current A	Efficiency %	Power Factor
	100	83	95.2	0.91
	75	62	95.4	0.92
	50	42	94.9	0.91
Direction of rotation		Uni-directional		
Sound pressure level: (sinus supply, no load)		83 dB(A), tol. + 2 dB(A), 1 m		
Weight of rotor		750 kg		
Total weight of motor		3620 kg		
Inertia rotor / load		11.7 kgm² / **41.3 kgm²**		
Bearings		Antifriction **(2)**		
Maximum stalling time		28 / 16 s (cold/warm) (U=Un)		
Starting time		15 / 14 s (cold/warm) (U=Un)		
		29 / 27 s (cold/warm) (U=0.80 Un)		
Number of consec. starts		3 / 2 (cold/warm)		
Maximum number of starts		1000 / year		
Warm-up time constant		30 min		
Cool-down time constant		180 min		

This performance data is PRELIMINARY.
All motor data is subject to tolerances in accordance with IEC (except (1))
(2) option for sleeve bearings

ABB SACE

MV Induction Machines
Visiting Address
.
.
Postal Address
V.le dell'Industria 18
20010 Vittuone (MI)
Italy
Telephone
+390290341
Telefax
+390290347272

Appendice D

Fogli-dati trasformatori

Dati acquisiti per gentile concessione di Technital

3 CARATTERISTICHE FUNZIONALI

TRASFORMATORI MT/MT 6,3 MVA

• potenza nominale in servizio continuo AN (Aria naturale)	6300	kVA
• rapporto di trasformazione	20 / 6,3	kV / kV
• regolazione minima di tensione a vuoto	±2 x 2,5	%
• collegamento	Dyn11	
• avvolgimenti	Inglobati in resina a isolamento uniforme	
• materiale conduttori avvolgimenti	alluminio	
• classi ambientali, climatiche, al fuoco	E2 C2 F1	
• classe isolamento primario e secondario	F	
• sovratemperature avvolgimenti	100	K
• livello di isolamento avvolgimento 20 kV	24 / 50 / 125	kV
• livello di isolamento avvolgimento 6,3 kV	7,2 / 20 / 60	kV
• perdite massime a vuoto a Un (Po)	10300	W
• perdite massime dovute al carico (75 °C) (Pcc)	49000	W
• perdite a vuoto al 110%Vn	1,5 Po	
• corrente a vuoto a Un (Io)	0,7	%
• corrente a vuoto al 110% della tensione nominale	2,5 Io	
• tensione di corto circuito (75°C)	8	%
• rumore: potenza sonora (CEI 14-12)	67	dB(A)
• livello scariche parziali	20	pC
• terminali MT 20 kV	In aria	
• terminali MT 6,3 kV	In aria	
• raffreddamento	Aria naturale	

TRASFORMATORI MT/BT 3150 kVA

• potenza nominale in servizio continuo AN	3150	kVA
• rapporto di trasformazione	6 / 0,415	kV / kV
• regolazione minima di tensione a vuoto	±2 x 2,5	%
• collegamento	Dyn11	
• avvolgimenti	Inglobati in resina a isolamento uniforme	
• materiale conduttori avvolgimenti	alluminio	
• classi ambientali, climatiche, al fuoco	E2 C2 F1	
• classe isolamento primario e secondario	F	
• sovratemperature avvolgimenti	100	K
• livello di isolamento avvolgimento 6 kV	7,2 / 20 / 60	kV
• livello di isolamento avvolgimento 0,415 kV	1,2 / 3	kV
• perdite a vuoto a Un (Po)	5300	W
• perdite dovute al carico (75 °C) (Pcc)	24700	W
• perdite a vuoto al 110%Vn	1,5 Po	
• corrente a vuoto a Un (Io)	0,7	%
• corrente a vuoto al 110% della tensione nominale	2,5 Io	
• tensione di corto circuito (75°C)	6	%
• rumore: potenza sonora (CEI 14-12)	67	dB(A)
• livello scariche parziali	20	pC
• terminali MT 6 kV	In aria	
• terminali BT 0,415 kV	In aria, con flangia per condotto sbarre	
• raffreddamento	Aria naturale	

TRASFORMATORI MT/BT 800 kVA

• potenza nominale in servizio continuo AN	800	kVA
• rapporto di trasformazione	6 / 0,415	kV / kV
• regolazione minima di tensione a vuoto	±2 x 2,5	%
• collegamento	Dyn11	
• avvolgimenti	Inglobati in resina a isolamento uniforme	
• materiale conduttori avvolgimenti	alluminio	
• classi ambientali, climatiche, al fuoco	E2 C2 F1	
• classe isolamento primario e secondario	F	
• sovratemperature avvolgimenti	100	K
• livello di isolamento avvolgimento 6 kV	7,2 / 20 / 60	kV
• livello di isolamento avvolgimento 0,415 kV	1,2 / 3	kV
• perdite a vuoto a Un (Po)	1300	W
• perdite dovute al carico (75 °C) (Pcc)	6700	W
• perdite a vuoto al 110%Vn	1,5 Po	
• corrente a vuoto a Un (Io)	0,7	%
• corrente a vuoto al 110% della tensione nominale	2,5 Io	
• tensione di corto circuito (75°C)	4	%
• rumore: potenza sonora (CEI 14-12)	67	dB(A)
• livello scariche parziali	20	pC
• terminali MT 6 kV	In aria	
• terminali BT 0,415 kV	In aria, con flangia per condotto sbarre	
• raffreddamento	Aria naturale	

Appendice E

Fogli-dati linee in cavo

Sigla cavo	lunghezza [m]	$r_{20^\circ}[\Omega/km]$	$x_L[\Omega/km]$	$C\,[\mu F/km]$
C20A-M20	14875	0,161	0,14	0,37
L20A-M20B	16222	0,161	0,14	0,37
cong M20B-M20A	18150	0,161	0,14	0,37
cong C20B-M20A	14775	0,161	0,14	0,37

Appendice F

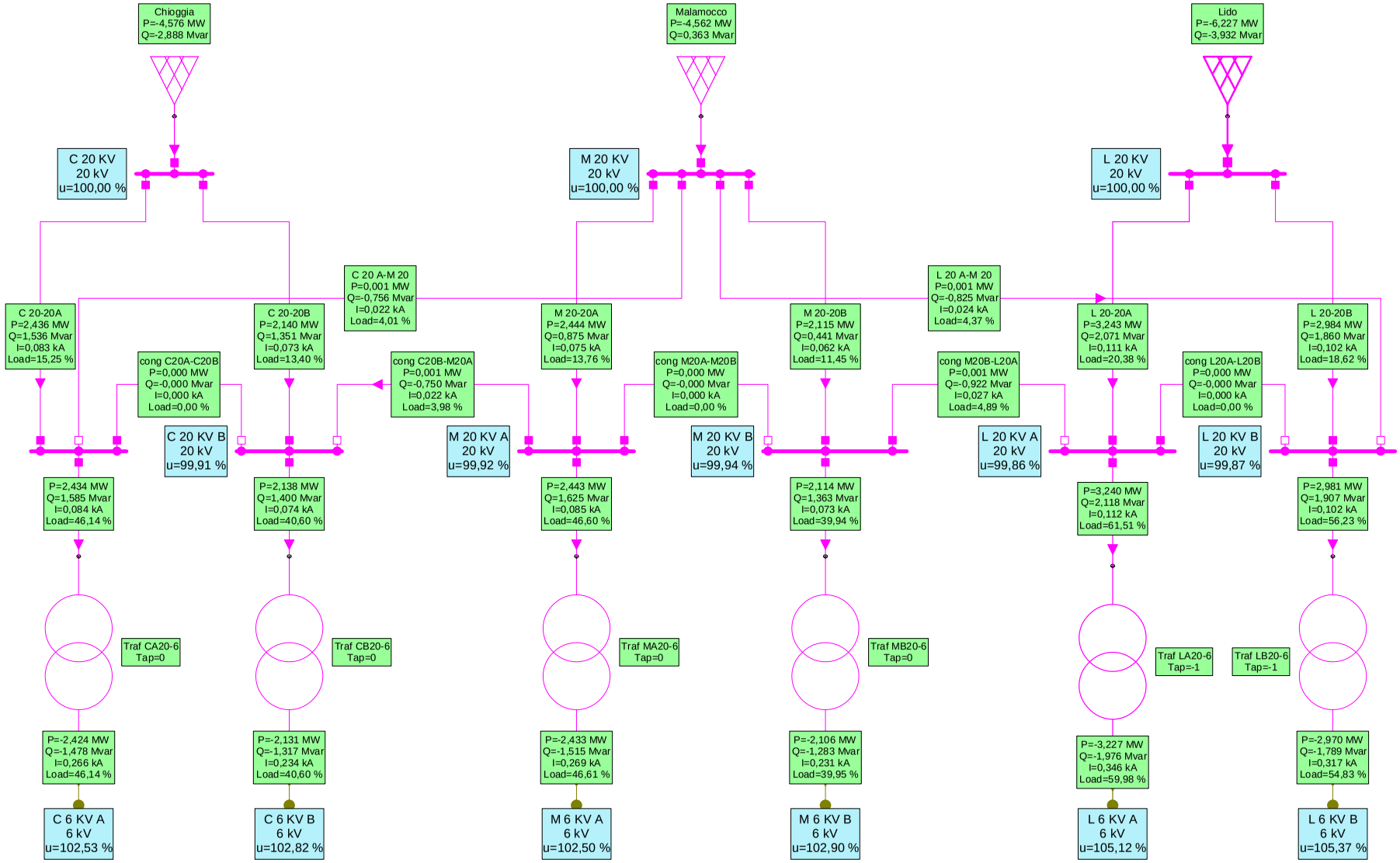
Riepilogo grafico flussi di potenza

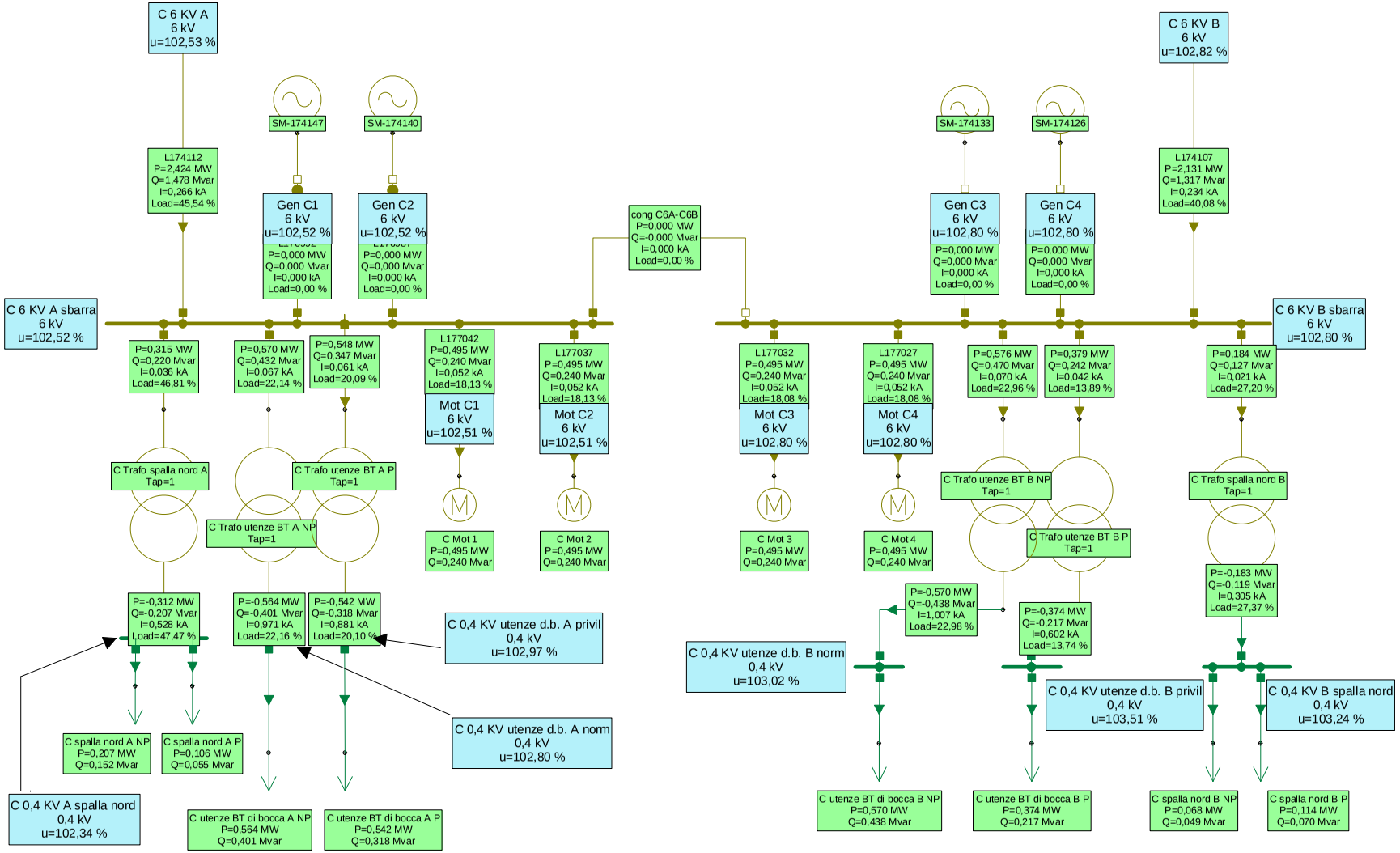
F.1 Flussi di potenza in condizioni di normale esercizio

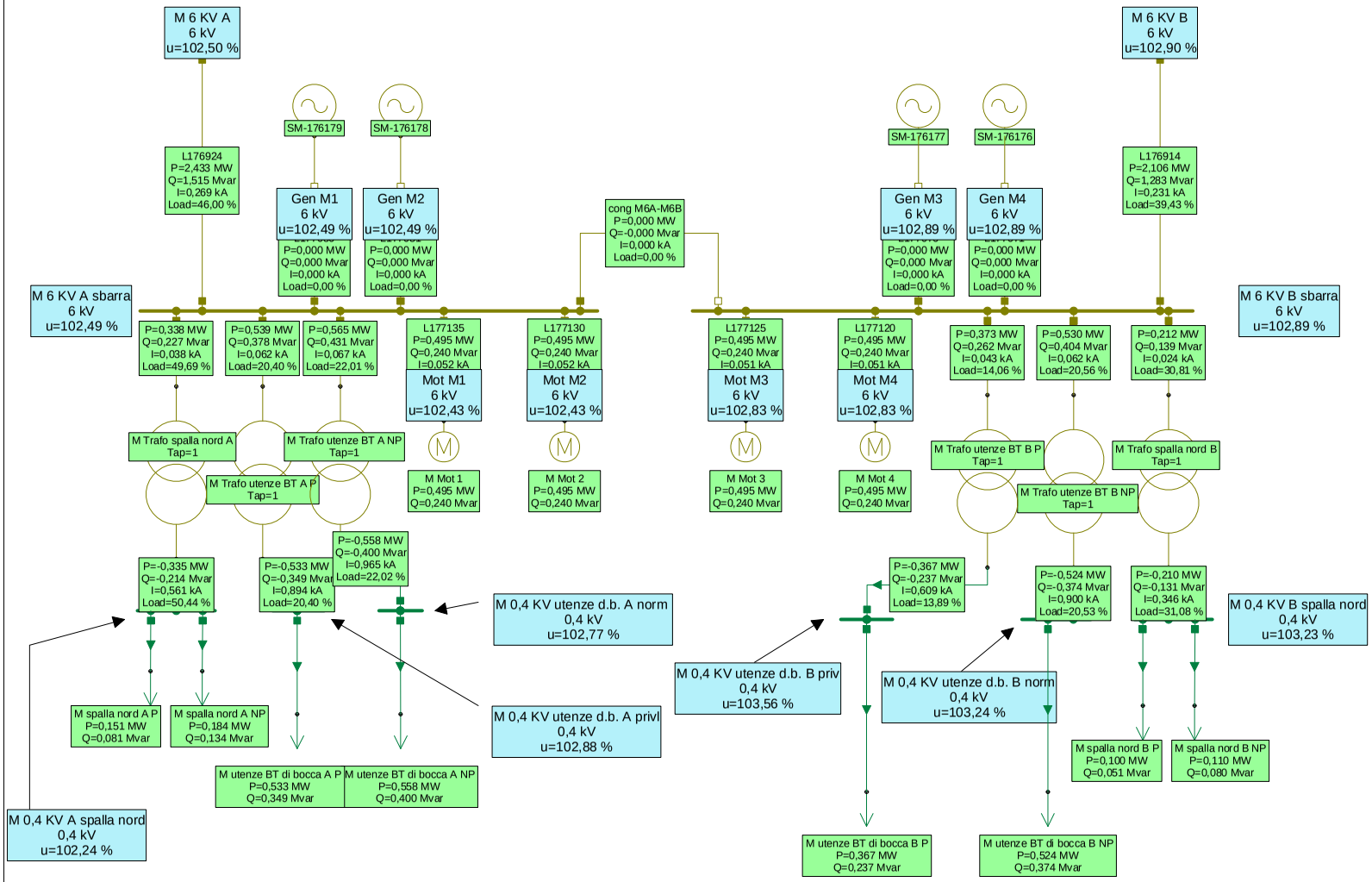
Punto di consegna Enel di Brandolo

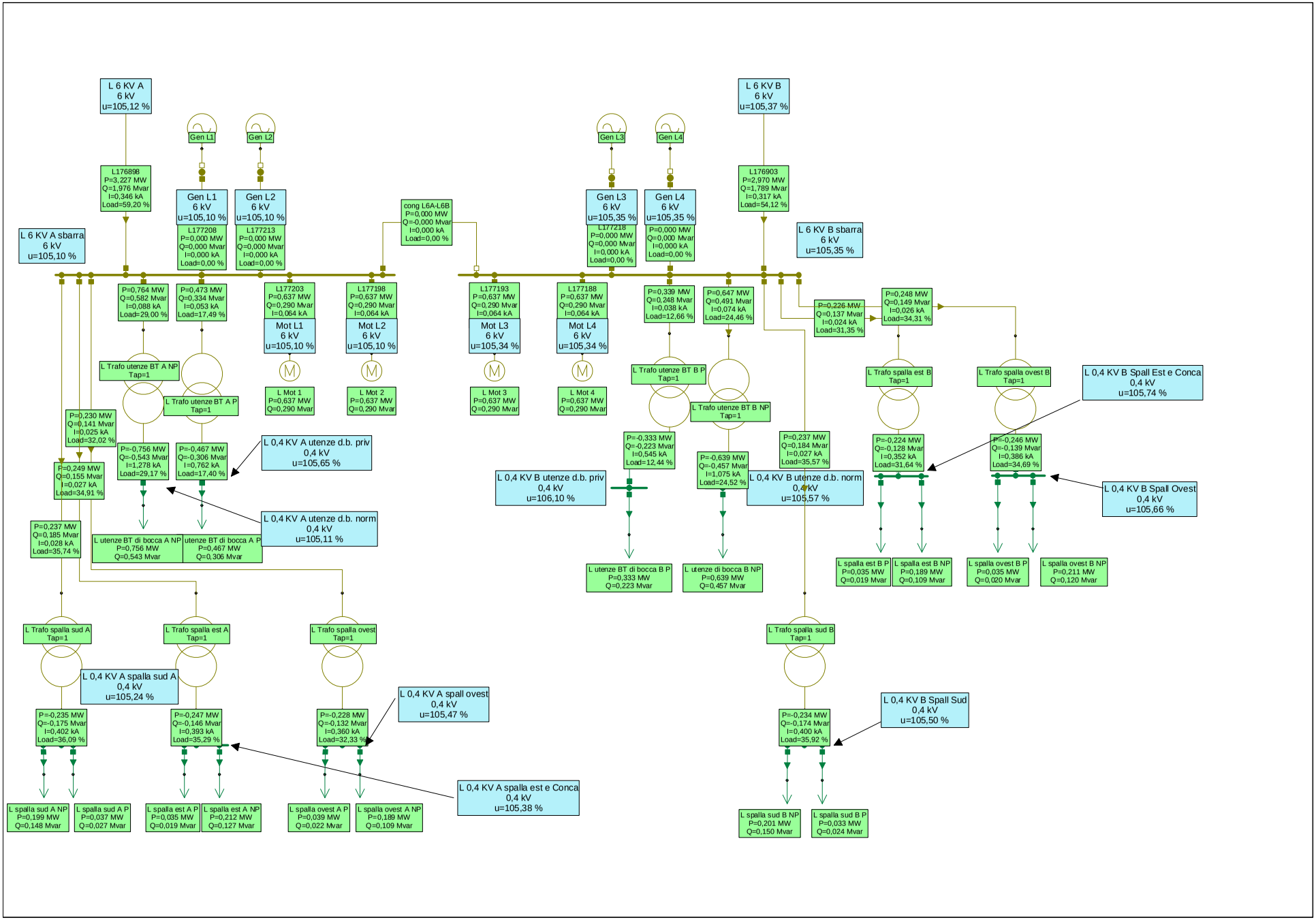
Punto di consegna Enel Sacca Fisola

Punto di consegna Enel di Cvallino




C 6 KV A
6 kV
u=102,53 %
L174112
P=2,424 MW
Q=1,478 Mvar
I=0,266 kA
Load=45,54 %
SM-174147
SM-174140
Gen C1
6 kV
u=102,52 %
Gen C2
6 kV
u=102,52 %
P=0,000 MW
Q=0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
cong C6A-C6B
P=0,000 MW
Q=-0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
C 6 KV A sbarra
6 kV
u=102,52 %
P=0,315 MW
Q=0,220 Mvar
I=0,036 kA
Load=46,81 %
P=0,570 MW
Q=0,432 Mvar
I=0,067 kA
Load=22,14 %
P=0,548 MW
Q=0,347 Mvar
I=0,061 kA
Load=20,09 %
L177042
P=0,495 MW
Q=0,240 Mvar
I=0,052 kA
Load=18,13 %
Mot C1
6 kV
u=102,51 %
L177037
P=0,495 MW
Q=0,240 Mvar
I=0,052 kA
Load=18,13 %
Mot C2
6 kV
u=102,51 %
C Trafo spalla nord A
Tap=1
C Trafo utenze BT A P
Tap=1
C Trafo utenze BT A NP
Tap=1
C Mot 1
P=0,495 MW
Q=0,240 Mvar
C Mot 2
P=0,495 MW
Q=0,240 Mvar
P=-0,312 MW
Q=-0,207 Mvar
I=0,528 kA
Load=47,47 %
P=-0,564 MW
Q=-0,401 Mvar
I=0,971 kA
Load=22,16 %
P=-0,542 MW
Q=-0,318 Mvar
I=0,881 kA
Load=20,10 %
C 0,4 KV utenze d.b. A privil
0,4 kV
u=102,97 %
C 0,4 KV utenze d.b. A norm
0,4 kV
u=102,80 %
C spalla nord A NP
P=0,207 MW
Q=0,152 Mvar
C spalla nord A P
P=0,106 MW
Q=0,055 Mvar
C 0,4 KV A spalla nord
0,4 kV
u=102,34 %
C utenze BT di bocca A NP
P=0,564 MW
Q=0,401 Mvar
C utenze BT di bocca A P
P=0,542 MW
Q=0,318 Mvar
C 6 KV B
6 kV
u=102,82 %
L174107
P=2,131 MW
Q=1,317 Mvar
I=0,234 kA
Load=40,08 %
SM-174133
SM-174126
Gen C3
6 kV
u=102,80 %
Gen C4
6 kV
u=102,80 %
P=0,000 MW
Q=0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
C 6 KV B sbarra
6 kV
u=102,80 %
L177032
P=0,495 MW
Q=0,240 Mvar
I=0,052 kA
Load=18,08 %
Mot C3
6 kV
u=102,80 %
L177027
P=0,495 MW
Q=0,240 Mvar
I=0,052 kA
Load=18,08 %
Mot C4
6 kV
u=102,80 %
P=0,576 MW
Q=0,470 Mvar
I=0,070 kA
Load=22,96 %
P=0,379 MW
Q=0,242 Mvar
I=0,042 kA
Load=13,89 %
P=0,184 MW
Q=0,127 Mvar
I=0,021 kA
Load=27,20 %
C Trafo utenze BT B NP
Tap=1
C Trafo utenze BT B P
Tap=1
C Trafo spalla nord B
Tap=1
C Mot 3
P=0,495 MW
Q=0,240 Mvar
C Mot 4
P=0,495 MW
Q=0,240 Mvar
P=-0,570 MW
Q=-0,438 Mvar
I=1,007 kA
Load=22,98 %
P=-0,374 MW
Q=-0,217 Mvar
I=0,602 kA
Load=13,74 %
P=-0,183 MW
Q=-0,119 Mvar
I=0,305 kA
Load=27,37 %
C 0,4 KV utenze d.b. B norm
0,4 kV
u=103,02 %
C 0,4 KV utenze d.b. B privil
0,4 kV
u=103,51 %
C 0,4 KV B spalla nord
0,4 kV
u=103,24 %
C utenze BT di bocca B NP
P=0,570 MW
Q=0,438 Mvar
C utenze BT di bocca B P
P=0,374 MW
Q=0,217 Mvar
C spalla nord B NP
P=0,068 MW
Q=0,049 Mvar
C spalla nord B P
P=0,114 MW
Q=0,070 Mvar


M 6 KV A
6 kV
u=102,50 %
L176924
P=2,433 MW
Q=1,515 Mvar
I=0,269 kA
Load=46,00 %
SM-176179
SM-176178
Gen M1
6 kV
u=102,49 %
P=0,000 MW
Q=0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
Gen M2
6 kV
u=102,49 %
P=0,000 MW
Q=0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
cong M6A-M6B
P=0,000 MW
Q=-0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
M 6 KV A sbarra
6 kV
u=102,49 %
P=0,338 MW
Q=0,227 Mvar
I=0,038 kA
Load=49,69 %
P=0,539 MW
Q=0,378 Mvar
I=0,062 kA
Load=20,40 %
P=0,565 MW
Q=0,431 Mvar
I=0,067 kA
Load=22,01 %
L177135
P=0,495 MW
Q=0,240 Mvar
I=0,052 kA
L177130
P=0,495 MW
Q=0,240 Mvar
I=0,052 kA
Mot M1
6 kV
u=102,43 %
Mot M2
6 kV
u=102,43 %
M Trafo spalla nord A
Tap=1
M Trafo utenze BT A NP
Tap=1
M Trafo utenze BT A P
Tap=1
M Mot 1
P=0,495 MW
Q=0,240 Mvar
M Mot 2
P=0,495 MW
Q=0,240 Mvar
P=-0,335 MW
Q=-0,214 Mvar
I=0,561 kA
Load=50,44 %
P=-0,533 MW
Q=-0,349 Mvar
I=0,894 kA
Load=20,40 %
P=-0,558 MW
Q=-0,400 Mvar
I=0,965 kA
Load=22,02 %
M 0,4 KV utenze d.b. A norm
0,4 kV
u=102,77 %
M 0,4 KV utenze d.b. A privl
0,4 kV
u=102,88 %
M spalla nord A P
P=0,151 MW
Q=0,081 Mvar
M spalla nord A NP
P=0,184 MW
Q=0,134 Mvar
M utenze BT di bocca A P
P=0,533 MW
Q=0,349 Mvar
M utenze BT di bocca A NP
P=0,558 MW
Q=0,400 Mvar
M 0,4 KV A spalla nord
0,4 kV
u=102,24 %
M 6 KV B
6 kV
u=102,90 %
L176914
P=2,106 MW
Q=1,283 Mvar
I=0,231 kA
Load=39,43 %
SM-176177
SM-176176
Gen M3
6 kV
u=102,89 %
P=0,000 MW
Q=0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
Gen M4
6 kV
u=102,89 %
P=0,000 MW
Q=0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
M 6 KV B sbarra
6 kV
u=102,89 %
L177125
P=0,495 MW
Q=0,240 Mvar
I=0,051 kA
L177120
P=0,495 MW
Q=0,240 Mvar
I=0,051 kA
P=0,373 MW
Q=0,262 Mvar
I=0,043 kA
Load=14,06 %
P=0,530 MW
Q=0,404 Mvar
I=0,062 kA
Load=20,56 %
P=0,212 MW
Q=0,139 Mvar
I=0,024 kA
Load=30,81 %
Mot M3
6 kV
u=102,83 %
Mot M4
6 kV
u=102,83 %
M Trafo utenze BT B P
Tap=1
M Trafo spalla nord B
Tap=1
M Trafo utenze BT B NP
Tap=1
M Mot 3
P=0,495 MW
Q=0,240 Mvar
M Mot 4
P=0,495 MW
Q=0,240 Mvar
P=-0,367 MW
Q=-0,237 Mvar
I=0,609 kA
Load=13,89 %
P=-0,524 MW
Q=-0,374 Mvar
I=0,900 kA
Load=20,53 %
P=-0,210 MW
Q=-0,131 Mvar
I=0,346 kA
Load=31,08 %
M 0,4 KV B spalla nord
0,4 kV
u=103,23 %
M 0,4 KV utenze d.b. B priv
0,4 kV
u=103,56 %
M 0,4 KV utenze d.b. B norm
0,4 kV
u=103,24 %
M spalla nord B P
P=0,100 MW
Q=0,051 Mvar
M spalla nord B NP
P=0,110 MW
Q=0,080 Mvar
M utenze BT di bocca B P
P=0,367 MW
Q=0,237 Mvar
M utenze BT di bocca B NP
P=0,524 MW
Q=0,374 Mvar

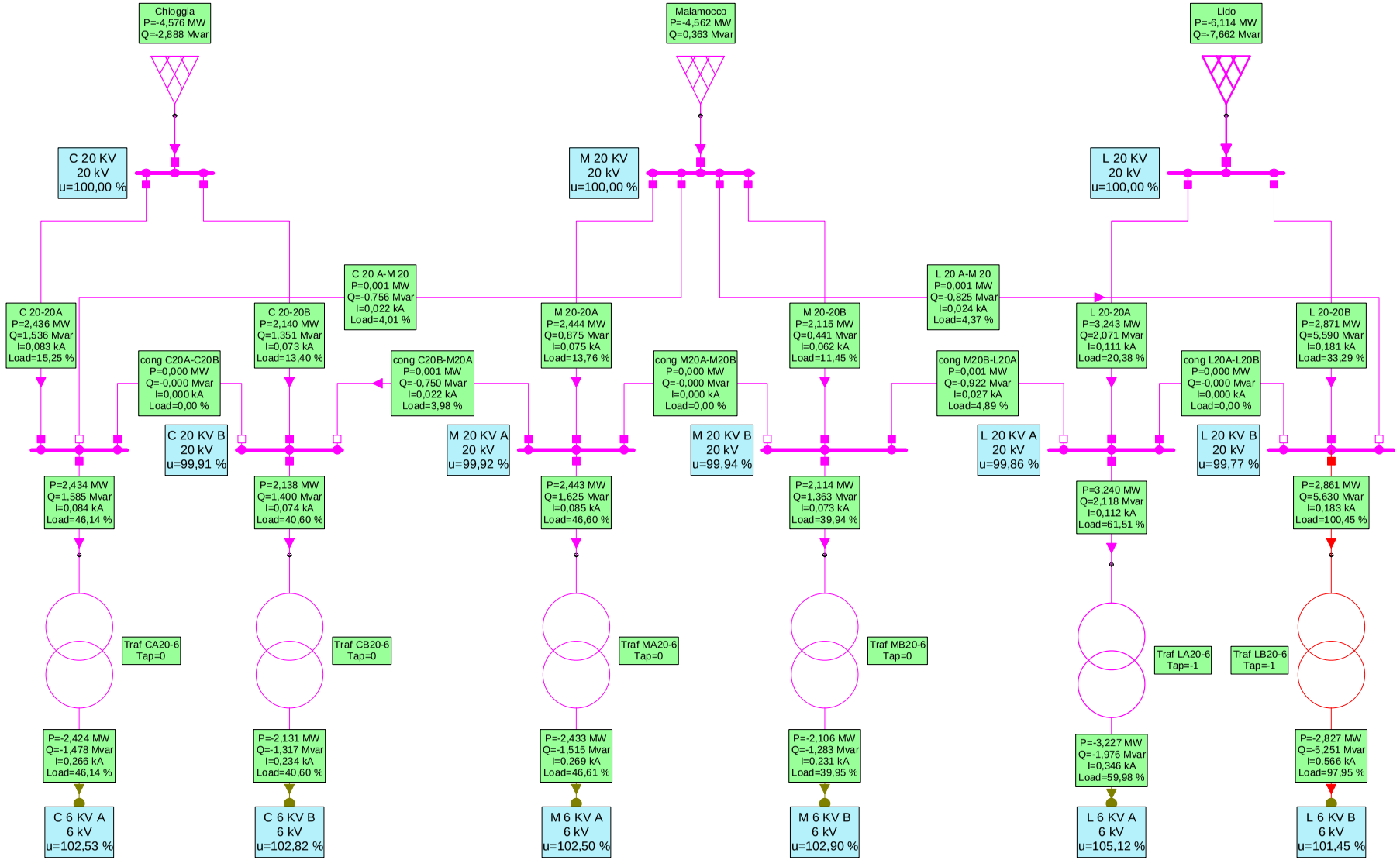

L 6 KV A
6 kV
u=105,12 %
L176898
P=3,227 MW
Q=1,976 Mvar
I=0,346 kA
Load=59,20 %
Gen L1
Gen L2
Gen L1
6 kV
u=105,10 %
Gen L2
6 kV
u=105,10 %
L177208
P=0,000 MW
Q=0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
L177213
P=0,000 MW
Q=0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
cong L6A-L6B
P=0,000 MW
Q=-0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
L 6 KV A sbarra
6 kV
u=105,10 %
P=0,764 MW
Q=0,582 Mvar
I=0,088 kA
Load=29,00 %
P=0,473 MW
Q=0,334 Mvar
I=0,053 kA
Load=17,49 %
L177203
P=0,637 MW
Q=0,290 Mvar
I=0,064 kA
L177198
P=0,637 MW
Q=0,290 Mvar
I=0,064 kA
Mot L1
6 kV
u=105,10 %
Mot L2
6 kV
u=105,10 %
L Mot 1
P=0,637 MW
Q=0,290 Mvar
L Mot 2
P=0,637 MW
Q=0,290 Mvar
L Trafo utenze BT A NP
Tap=1
L Trafo utenze BT A P
Tap=1
P=0,230 MW
Q=0,141 Mvar
I=0,025 kA
Load=32,02 %
P=-0,756 MW
Q=-0,543 Mvar
I=1,278 kA
Load=29,17 %
P=-0,467 MW
Q=-0,306 Mvar
I=0,762 kA
Load=17,40 %
L 0,4 KV A utenze d.b. priv
0,4 kV
u=105,65 %
P=0,249 MW
Q=0,155 Mvar
I=0,027 kA
Load=34,91 %
L 0,4 KV A utenze d.b. norm
0,4 kV
u=105,11 %
P=0,237 MW
Q=0,185 Mvar
I=0,028 kA
Load=35,74 %
L utenze BT di bocca A NP
P=0,756 MW
Q=0,543 Mvar
utenze BT di bocca A P
P=0,467 MW
Q=0,306 Mvar
L Trafo spalla sud A
Tap=1
L Trafo spalla est A
Tap=1
L Trafo spalla ovest
Tap=1
L 0,4 KV A spalla sud A
0,4 kV
u=105,24 %
L 0,4 KV A spall ovest
0,4 kV
u=105,47 %
P=-0,235 MW
Q=-0,175 Mvar
I=0,402 kA
Load=36,09 %
P=-0,247 MW
Q=-0,146 Mvar
I=0,393 kA
Load=35,29 %
P=-0,228 MW
Q=-0,132 Mvar
I=0,360 kA
Load=32,33 %
L 0,4 KV A spalla est e Conca
0,4 kV
u=105,38 %
L spalla sud A NP
P=0,199 MW
Q=0,148 Mvar
L spalla sud A P
P=0,037 MW
Q=0,027 Mvar
L spalla est A P
P=0,035 MW
Q=0,019 Mvar
L spalla est A NP
P=0,212 MW
Q=0,127 Mvar
L spalla ovest A P
P=0,039 MW
Q=0,022 Mvar
L spalla ovest A NP
P=0,189 MW
Q=0,109 Mvar
L 6 KV B
6 kV
u=105,37 %
Gen L3
Gen L4
Gen L3
6 kV
u=105,35 %
Gen L4
6 kV
u=105,35 %
L177218
P=0,000 MW
Q=0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
L176903
P=2,970 MW
Q=1,789 Mvar
I=0,317 kA
Load=54,12 %
L 6 KV B sbarra
6 kV
u=105,35 %
L177193
P=0,637 MW
Q=0,290 Mvar
I=0,064 kA
L177188
P=0,637 MW
Q=0,290 Mvar
I=0,064 kA
Mot L3
6 kV
u=105,34 %
Mot L4
6 kV
u=105,34 %
L Mot 3
P=0,637 MW
Q=0,290 Mvar
L Mot 4
P=0,637 MW
Q=0,290 Mvar
P=0,339 MW
Q=0,248 Mvar
I=0,038 kA
Load=12,66 %
P=0,647 MW
Q=0,491 Mvar
I=0,074 kA
Load=24,46 %
P=0,226 MW
Q=0,137 Mvar
I=0,024 kA
Load=31,35 %
P=0,248 MW
Q=0,149 Mvar
I=0,026 kA
Load=34,31 %
L Trafo utenze BT B P
Tap=1
L Trafo utenze BT B NP
Tap=1
L Trafo spalla est B
Tap=1
L Trafo spalla ovest B
Tap=1
L 0,4 KV B Spall Est e Conca
0,4 kV
u=105,74 %
P=-0,333 MW
Q=-0,223 Mvar
I=0,545 kA
Load=12,44 %
P=-0,639 MW
Q=-0,457 Mvar
I=1,075 kA
Load=24,52 %
P=0,237 MW
Q=0,184 Mvar
I=0,027 kA
Load=35,57 %
P=-0,224 MW
Q=-0,128 Mvar
I=0,352 kA
Load=31,64 %
P=-0,246 MW
Q=-0,139 Mvar
I=0,386 kA
Load=34,69 %
L 0,4 KV B Spall Ovest
0,4 kV
u=105,66 %
L 0,4 KV B utenze d.b. priv
0,4 kV
u=106,10 %
L 0,4 KV B utenze d.b. norm
0,4 kV
u=105,57 %
L utenze BT di bocca B P
P=0,333 MW
Q=0,223 Mvar
L utenze di bocca B NP
P=0,639 MW
Q=0,457 Mvar
L spalla est B P
P=0,035 MW
Q=0,019 Mvar
L spalla est B NP
P=0,189 MW
Q=0,109 Mvar
L spalla ovest B P
P=0,035 MW
Q=0,020 Mvar
L spalla ovest B NP
P=0,211 MW
Q=0,120 Mvar
L Trafo spalla sud B
Tap=1
L 0,4 KV B Spall Sud
0,4 kV
u=105,50 %
P=-0,234 MW
Q=-0,174 Mvar
I=0,400 kA
Load=35,92 %
L spalla sud B NP
P=0,201 MW
Q=0,150 Mvar
L spalla sud B P
P=0,033 MW
Q=0,024 Mvar

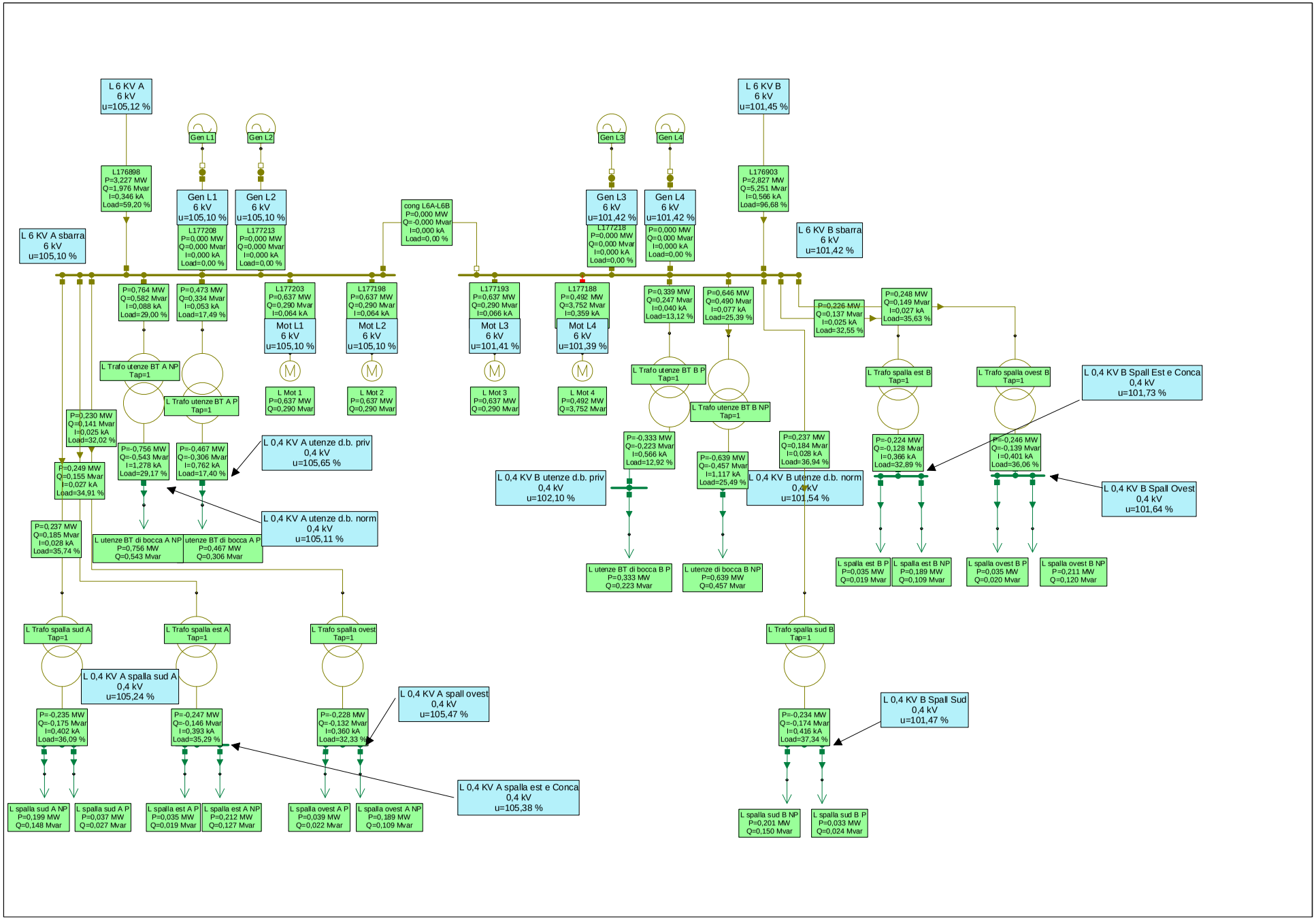
F.2 Normale esercizio con motore in avviamento a Lido

Punto di consegna Enel di Brandolo

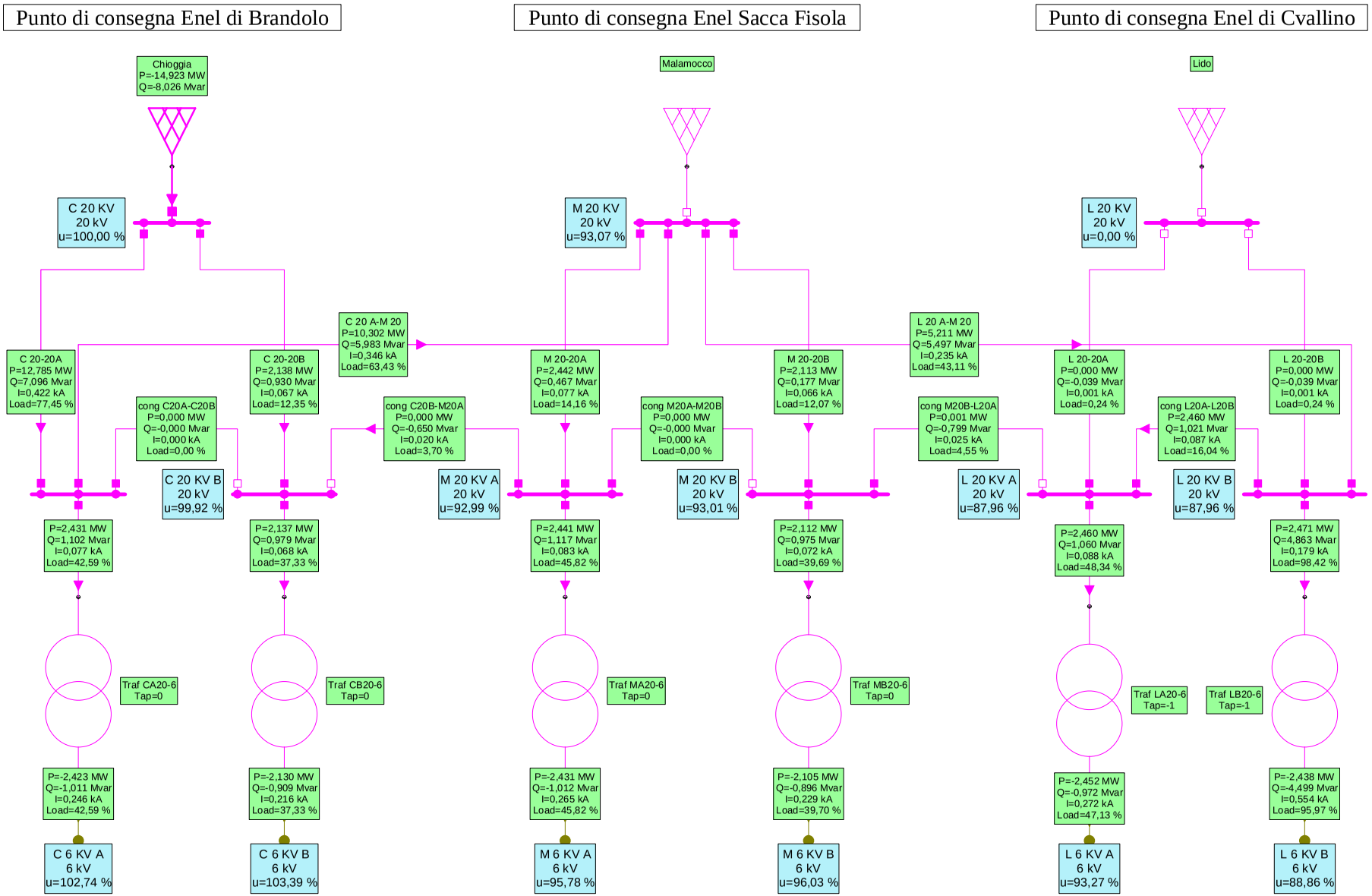
Punto di consegna Enel Sacca Fisola

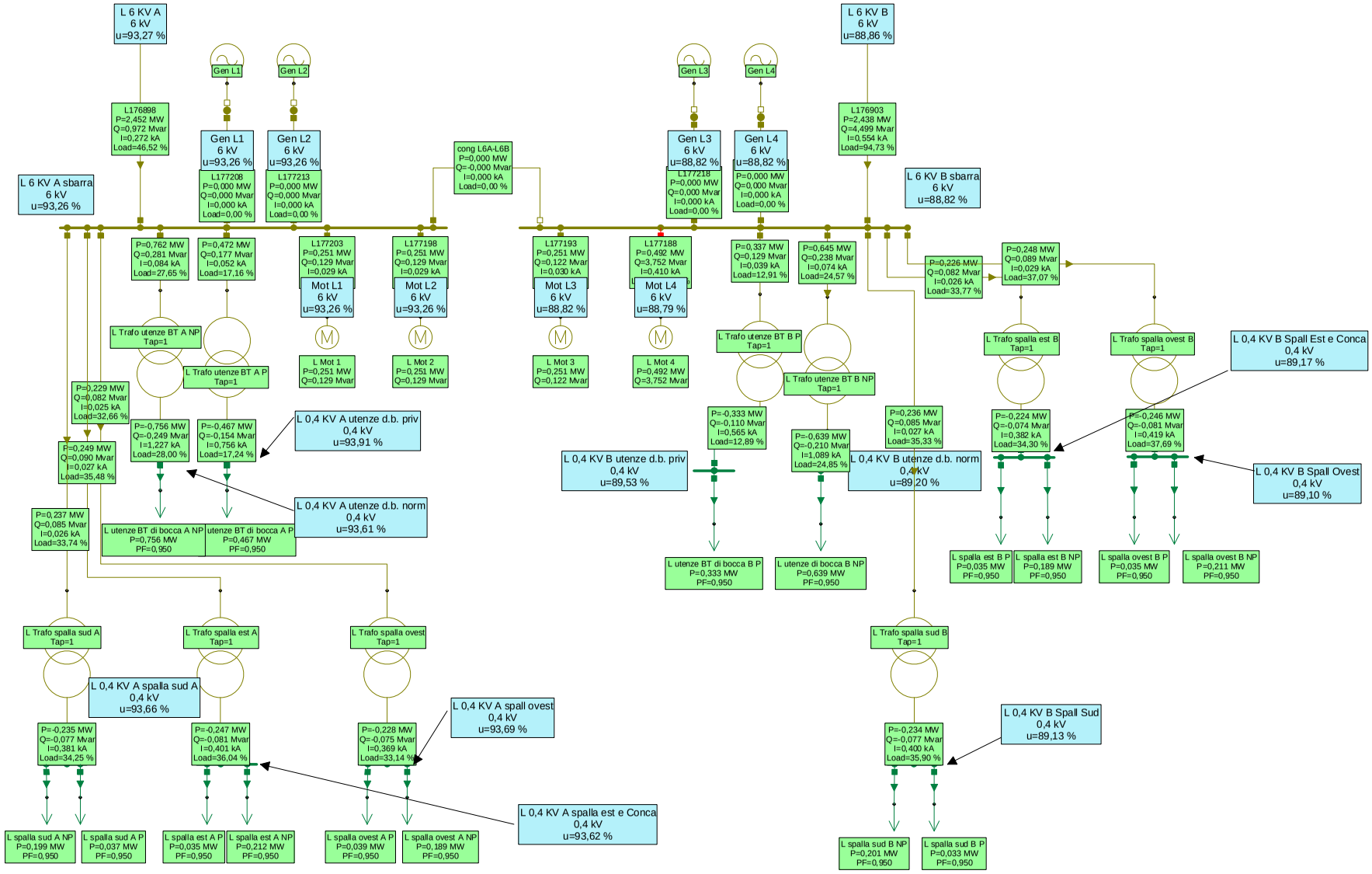
Punto di consegna Enel di Cvallino



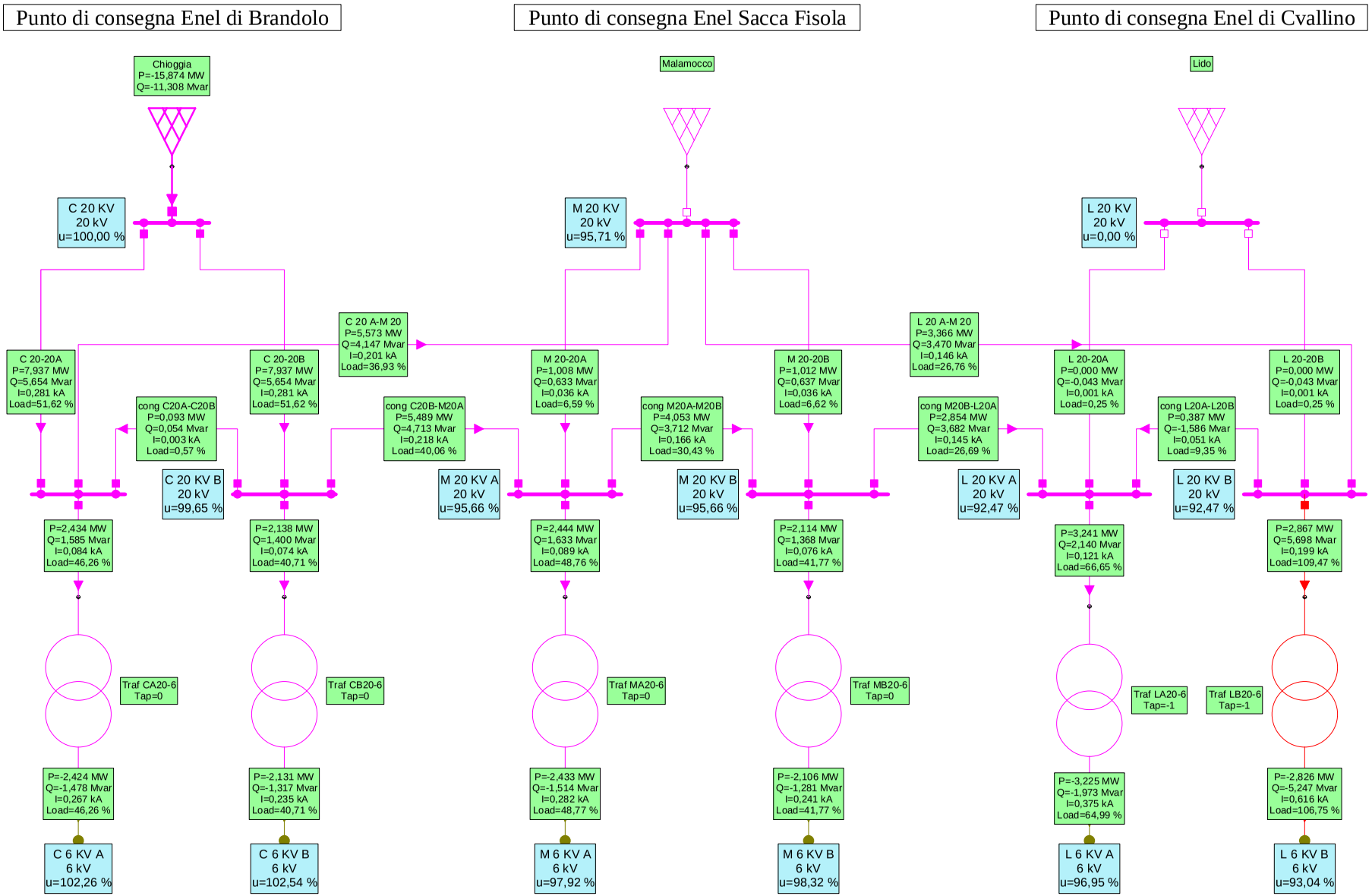

L 6 KV A
6 kV
u=105,12 %
L176898
P=3,227 MW
Q=1,976 Mvar
I=0,346 kA
Load=59,20 %
Gen L1
Gen L2
Gen L1
6 kV
u=105,10 %
Gen L2
6 kV
u=105,10 %
L177208
P=0,000 MW
Q=0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
L177213
P=0,000 MW
Q=0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
cong L6A-L6B
P=0,000 MW
Q=-0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
L 6 KV A sbarra
6 kV
u=105,10 %
P=0,764 MW
Q=0,582 Mvar
I=0,088 kA
Load=29,00 %
P=0,473 MW
Q=0,334 Mvar
I=0,053 kA
Load=17,49 %
L177203
P=0,637 MW
Q=0,290 Mvar
I=0,064 kA
L177198
P=0,637 MW
Q=0,290 Mvar
I=0,064 kA
Mot L1
6 kV
u=105,10 %
Mot L2
6 kV
u=105,10 %
L Trafo utenze BT A NP
Tap=1
L Trafo utenze BT A P
Tap=1
L Mot 1
P=0,637 MW
Q=0,290 Mvar
L Mot 2
P=0,637 MW
Q=0,290 Mvar
P=0,230 MW
Q=0,141 Mvar
I=0,025 kA
Load=32,02 %
P=-0,756 MW
Q=-0,543 Mvar
I=1,278 kA
Load=29,17 %
P=-0,467 MW
Q=-0,306 Mvar
I=0,762 kA
Load=17,40 %
L 0,4 KV A utenze d.b. priv
0,4 kV
u=105,65 %
P=0,249 MW
Q=0,155 Mvar
I=0,027 kA
Load=34,91 %
P=0,237 MW
Q=0,185 Mvar
I=0,028 kA
Load=35,74 %
L 0,4 KV A utenze d.b. norm
0,4 kV
u=105,11 %
L utenze BT di bocca A NP
P=0,756 MW
Q=0,543 Mvar
utenze BT di bocca A P
P=0,467 MW
Q=0,306 Mvar
L Trafo spalla sud A
Tap=1
L Trafo spalla est A
Tap=1
L Trafo spalla ovest
Tap=1
L 0,4 KV A spalla sud A
0,4 kV
u=105,24 %
L 0,4 KV A spall ovest
0,4 kV
u=105,47 %
P=-0,235 MW
Q=-0,175 Mvar
I=0,402 kA
Load=36,09 %
P=-0,247 MW
Q=-0,146 Mvar
I=0,393 kA
Load=35,29 %
P=-0,228 MW
Q=-0,132 Mvar
I=0,360 kA
Load=32,33 %
L 0,4 KV A spalla est e Conca
0,4 kV
u=105,38 %
L spalla sud A NP
P=0,199 MW
Q=0,148 Mvar
L spalla sud A P
P=0,037 MW
Q=0,027 Mvar
L spalla est A P
P=0,035 MW
Q=0,019 Mvar
L spalla est A NP
P=0,212 MW
Q=0,127 Mvar
L spalla ovest A P
P=0,039 MW
Q=0,022 Mvar
L spalla ovest A NP
P=0,189 MW
Q=0,109 Mvar
L 6 KV B
6 kV
u=101,45 %
Gen L3
Gen L4
Gen L3
6 kV
u=101,42 %
Gen L4
6 kV
u=101,42 %
L177218
P=0,000 MW
Q=0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
P=0,000 MW
Q=0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
L176903
P=2,827 MW
Q=5,251 Mvar
I=0,566 kA
Load=96,68 %
L 6 KV B sbarra
6 kV
u=101,42 %
L177193
P=0,637 MW
Q=0,290 Mvar
I=0,066 kA
L177188
P=0,492 MW
Q=3,752 Mvar
I=0,359 kA
P=0,339 MW
Q=0,247 Mvar
I=0,040 kA
Load=13,12 %
P=0,646 MW
Q=0,490 Mvar
I=0,077 kA
Load=25,39 %
P=0,226 MW
Q=0,137 Mvar
I=0,025 kA
Load=32,55 %
P=0,248 MW
Q=0,149 Mvar
I=0,027 kA
Load=35,63 %
Mot L3
6 kV
u=101,41 %
Mot L4
6 kV
u=101,39 %
L Trafo utenze BT B P
Tap=1
L Trafo utenze BT B NP
Tap=1
L Trafo spalla est B
Tap=1
L Trafo spalla ovest B
Tap=1
L 0,4 KV B Spall Est e Conca
0,4 kV
u=101,73 %
L Mot 3
P=0,637 MW
Q=0,290 Mvar
L Mot 4
P=0,492 MW
Q=3,752 Mvar
P=-0,333 MW
Q=-0,223 Mvar
I=0,566 kA
Load=12,92 %
P=-0,639 MW
Q=-0,457 Mvar
I=1,117 kA
Load=25,49 %
P=0,237 MW
Q=0,184 Mvar
I=0,028 kA
Load=36,94 %
P=-0,224 MW
Q=-0,128 Mvar
I=0,366 kA
Load=32,89 %
P=-0,246 MW
Q=-0,139 Mvar
I=0,401 kA
Load=36,06 %
L 0,4 KV B Spall Ovest
0,4 kV
u=101,64 %
L 0,4 KV B utenze d.b. priv
0,4 kV
u=102,10 %
L 0,4 KV B utenze d.b. norm
0,4 kV
u=101,54 %
L utenze BT di bocca B P
P=0,333 MW
Q=0,223 Mvar
L utenze di bocca B NP
P=0,639 MW
Q=0,457 Mvar
L spalla est B P
P=0,035 MW
Q=0,019 Mvar
L spalla est B NP
P=0,189 MW
Q=0,109 Mvar
L spalla ovest B P
P=0,035 MW
Q=0,020 Mvar
L spalla ovest B NP
P=0,211 MW
Q=0,120 Mvar
L Trafo spalla sud B
Tap=1
L 0,4 KV B Spall Sud
0,4 kV
u=101,47 %
P=-0,234 MW
Q=-0,174 Mvar
I=0,416 kA
Load=37,34 %
L spalla sud B NP
P=0,201 MW
Q=0,150 Mvar
L spalla sud B P
P=0,033 MW
Q=0,024 Mvar

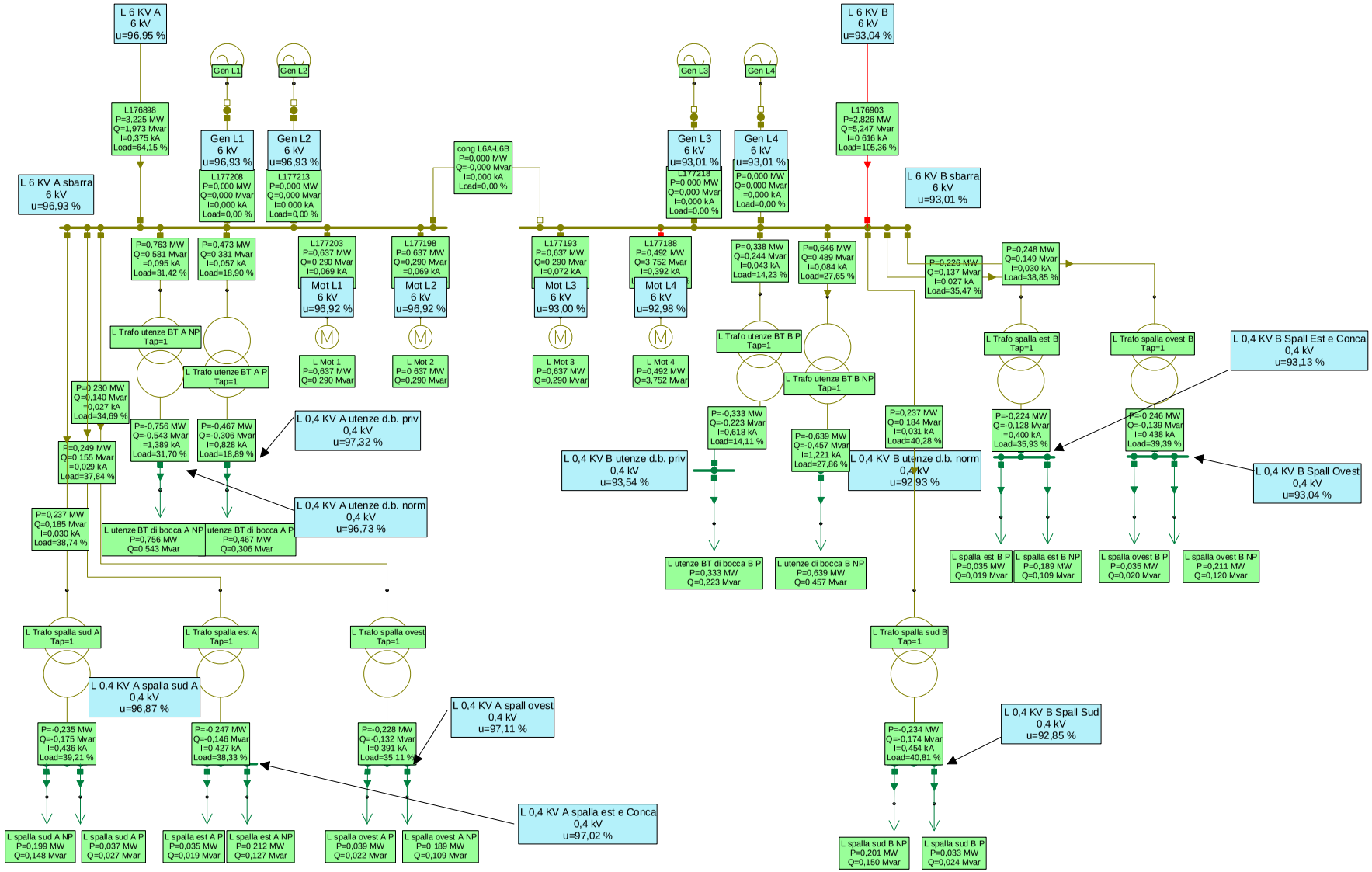
F.3 Controalimentazione di Lido da Chioggia con: gestione a sbalzo della rete a 20 KV, carichi rifasati e motori a regime minimo.


Punto di consegna Enel di Brandolo
Punto di consegna Enel Sacca Fisola
Punto di consegna Enel di Cvallino
Chioggia
P=-14,923 MW
Q=-8,026 Mvar
C 20 KV
20 kV
u=100,00 %
C 20-20A
P=12,785 MW
Q=7,096 Mvar
I=0,422 kA
Load=77,45 %
C 20-20B
P=2,138 MW
Q=0,930 Mvar
I=0,067 kA
Load=12,35 %
C 20 A-M 20
P=10,302 MW
Q=5,983 Mvar
I=0,346 kA
Load=63,43 %
cong C20A-C20B
P=0,000 MW
Q=-0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
cong C20B-M20A
P=0,000 MW
Q=-0,650 Mvar
I=0,020 kA
Load=3,70 %
C 20 KV B
20 kV
u=99,92 %
M 20 KV A
20 kV
u=92,99 %
P=2,431 MW
Q=1,102 Mvar
I=0,077 kA
Load=42,59 %
P=2,137 MW
Q=0,979 Mvar
I=0,068 kA
Load=37,33 %
Traf CA20-6
Tap=0
Traf CB20-6
Tap=0
P=-2,423 MW
Q=-1,011 Mvar
I=0,246 kA
Load=42,59 %
P=-2,130 MW
Q=-0,909 Mvar
I=0,216 kA
Load=37,33 %
C 6 KV A
6 kV
u=102,74 %
C 6 KV B
6 kV
u=103,39 %
Malamocco
M 20 KV
20 kV
u=93,07 %
M 20-20A
P=2,442 MW
Q=0,467 Mvar
I=0,077 kA
Load=14,16 %
M 20-20B
P=2,113 MW
Q=0,177 Mvar
I=0,066 kA
Load=12,07 %
cong M20A-M20B
P=0,000 MW
Q=-0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
M 20 KV B
20 kV
u=93,01 %
P=2,441 MW
Q=1,117 Mvar
I=0,083 kA
Load=45,82 %
P=2,112 MW
Q=0,975 Mvar
I=0,072 kA
Load=39,69 %
Traf MA20-6
Tap=0
Traf MB20-6
Tap=0
P=-2,431 MW
Q=-1,012 Mvar
I=0,265 kA
Load=45,82 %
P=-2,105 MW
Q=-0,896 Mvar
I=0,229 kA
Load=39,70 %
M 6 KV A
6 kV
u=95,78 %
M 6 KV B
6 kV
u=96,03 %
Lido
L 20 KV
20 kV
u=0,00 %
L 20 A-M 20
P=5,211 MW
Q=5,497 Mvar
I=0,235 kA
Load=43,11 %
L 20-20A
P=0,000 MW
Q=-0,039 Mvar
I=0,001 kA
Load=0,24 %
L 20-20B
P=0,000 MW
Q=-0,039 Mvar
I=0,001 kA
Load=0,24 %
cong M20B-L20A
P=0,001 MW
Q=-0,799 Mvar
I=0,025 kA
Load=4,55 %
cong L20A-L20B
P=2,460 MW
Q=1,021 Mvar
I=0,087 kA
Load=16,04 %
L 20 KV A
20 kV
u=87,96 %
L 20 KV B
20 kV
u=87,96 %
P=2,460 MW
Q=1,060 Mvar
I=0,088 kA
Load=48,34 %
P=2,471 MW
Q=4,863 Mvar
I=0,179 kA
Load=98,42 %
Traf LA20-6
Tap=-1
Traf LB20-6
Tap=-1
P=-2,452 MW
Q=-0,972 Mvar
I=0,272 kA
Load=47,13 %
P=-2,438 MW
Q=-4,499 Mvar
I=0,554 kA
Load=95,97 %
L 6 KV A
6 kV
u=93,27 %
L 6 KV B
6 kV
u=88,86 %


L 6 KV A
6 kV
u=93,27 %
L176898
P=2,452 MW
Q=0,972 Mvar
I=0,272 kA
Load=46,52 %
Gen L1
Gen L2
Gen L1
6 kV
u=93,26 %
Gen L2
6 kV
u=93,26 %
L177208
P=0,000 MW
Q=0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
L177213
P=0,000 MW
Q=0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
cong L6A-L6B
P=0,000 MW
Q=-0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
L 6 KV A sbarra
6 kV
u=93,26 %
P=0,762 MW
Q=0,281 Mvar
I=0,084 kA
Load=27,65 %
P=0,472 MW
Q=0,177 Mvar
I=0,052 kA
Load=17,16 %
L177203
P=0,251 MW
Q=0,129 Mvar
I=0,029 kA
L177198
P=0,251 MW
Q=0,129 Mvar
I=0,029 kA
Mot L1
6 kV
u=93,26 %
Mot L2
6 kV
u=93,26 %
L Trafo utenze BT A NP
Tap=1
L Trafo utenze BT A P
Tap=1
L Mot 1
P=0,251 MW
Q=0,129 Mvar
L Mot 2
P=0,251 MW
Q=0,129 Mvar
P=0,229 MW
Q=0,082 Mvar
I=0,025 kA
Load=32,66 %
P=0,249 MW
Q=0,090 Mvar
I=0,027 kA
Load=35,48 %
P=-0,756 MW
Q=-0,249 Mvar
I=1,227 kA
Load=28,00 %
P=-0,467 MW
Q=-0,154 Mvar
I=0,756 kA
Load=17,24 %
L 0,4 KV A utenze d.b. priv
0,4 kV
u=93,91 %
L 0,4 KV A utenze d.b. norm
0,4 kV
u=93,61 %
P=0,237 MW
Q=0,085 Mvar
I=0,026 kA
Load=33,74 %
L utenze BT di bocca A NP
P=0,756 MW
PF=0,950
utenze BT di bocca A P
P=0,467 MW
PF=0,950
L Trafo spalla sud A
Tap=1
L Trafo spalla est A
Tap=1
L Trafo spalla ovest
Tap=1
L 0,4 KV A spalla sud A
0,4 kV
u=93,66 %
L 0,4 KV A spall ovest
0,4 kV
u=93,69 %
P=-0,235 MW
Q=-0,077 Mvar
I=0,381 kA
Load=34,25 %
P=-0,247 MW
Q=-0,081 Mvar
I=0,401 kA
Load=36,04 %
P=-0,228 MW
Q=-0,075 Mvar
I=0,369 kA
Load=33,14 %
L 0,4 KV A spalla est e Conca
0,4 kV
u=93,62 %
L spalla sud A NP
P=0,199 MW
PF=0,950
L spalla sud A P
P=0,037 MW
PF=0,950
L spalla est A P
P=0,035 MW
PF=0,950
L spalla est A NP
P=0,212 MW
PF=0,950
L spalla ovest A P
P=0,039 MW
PF=0,950
L spalla ovest A NP
P=0,189 MW
PF=0,950
L 6 KV B
6 kV
u=88,86 %
Gen L3
Gen L4
Gen L3
6 kV
u=88,82 %
Gen L4
6 kV
u=88,82 %
L177218
P=0,000 MW
Q=0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
P=0,000 MW
Q=0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
L176903
P=2,438 MW
Q=4,499 Mvar
I=0,554 kA
Load=94,73 %
L 6 KV B sbarra
6 kV
u=88,82 %
L177193
P=0,251 MW
Q=0,122 Mvar
I=0,030 kA
L177188
P=0,492 MW
Q=3,752 Mvar
I=0,410 kA
P=0,337 MW
Q=0,129 Mvar
I=0,039 kA
Load=12,91 %
P=0,645 MW
Q=0,238 Mvar
I=0,074 kA
Load=24,57 %
P=0,226 MW
Q=0,082 Mvar
I=0,026 kA
Load=33,77 %
P=0,248 MW
Q=0,089 Mvar
I=0,029 kA
Load=37,07 %
Mot L3
6 kV
u=88,82 %
Mot L4
6 kV
u=88,79 %
L Trafo utenze BT B P
Tap=1
L Trafo utenze BT B NP
Tap=1
L Trafo spalla est B
Tap=1
L Trafo spalla ovest B
Tap=1
L 0,4 KV B Spall Est e Conca
0,4 kV
u=89,17 %
L Mot 3
P=0,251 MW
Q=0,122 Mvar
L Mot 4
P=0,492 MW
Q=3,752 Mvar
P=-0,333 MW
Q=-0,110 Mvar
I=0,565 kA
Load=12,89 %
P=-0,639 MW
Q=-0,210 Mvar
I=1,089 kA
Load=24,85 %
P=0,236 MW
Q=0,085 Mvar
I=0,027 kA
Load=35,33 %
P=-0,224 MW
Q=-0,074 Mvar
I=0,382 kA
Load=34,30 %
P=-0,246 MW
Q=-0,081 Mvar
I=0,419 kA
Load=37,69 %
L 0,4 KV B Spall Ovest
0,4 kV
u=89,10 %
L 0,4 KV B utenze d.b. priv
0,4 kV
u=89,53 %
L 0,4 KV B utenze d.b. norm
0,4 kV
u=89,20 %
L utenze BT di bocca B P
P=0,333 MW
PF=0,950
L utenze di bocca B NP
P=0,639 MW
PF=0,950
L spalla est B P
P=0,035 MW
PF=0,950
L spalla est B NP
P=0,189 MW
PF=0,950
L spalla ovest B P
P=0,035 MW
PF=0,950
L spalla ovest B NP
P=0,211 MW
PF=0,950
L Trafo spalla sud B
Tap=1
L 0,4 KV B Spall Sud
0,4 kV
u=89,13 %
P=-0,234 MW
Q=-0,077 Mvar
I=0,400 kA
Load=35,90 %
L spalla sud B NP
P=0,201 MW
PF=0,950
L spalla sud B P
P=0,033 MW
PF=0,950

F.4 Controalimentazione di Lido da Chioggia con gestione magliata della rete a 20 KV

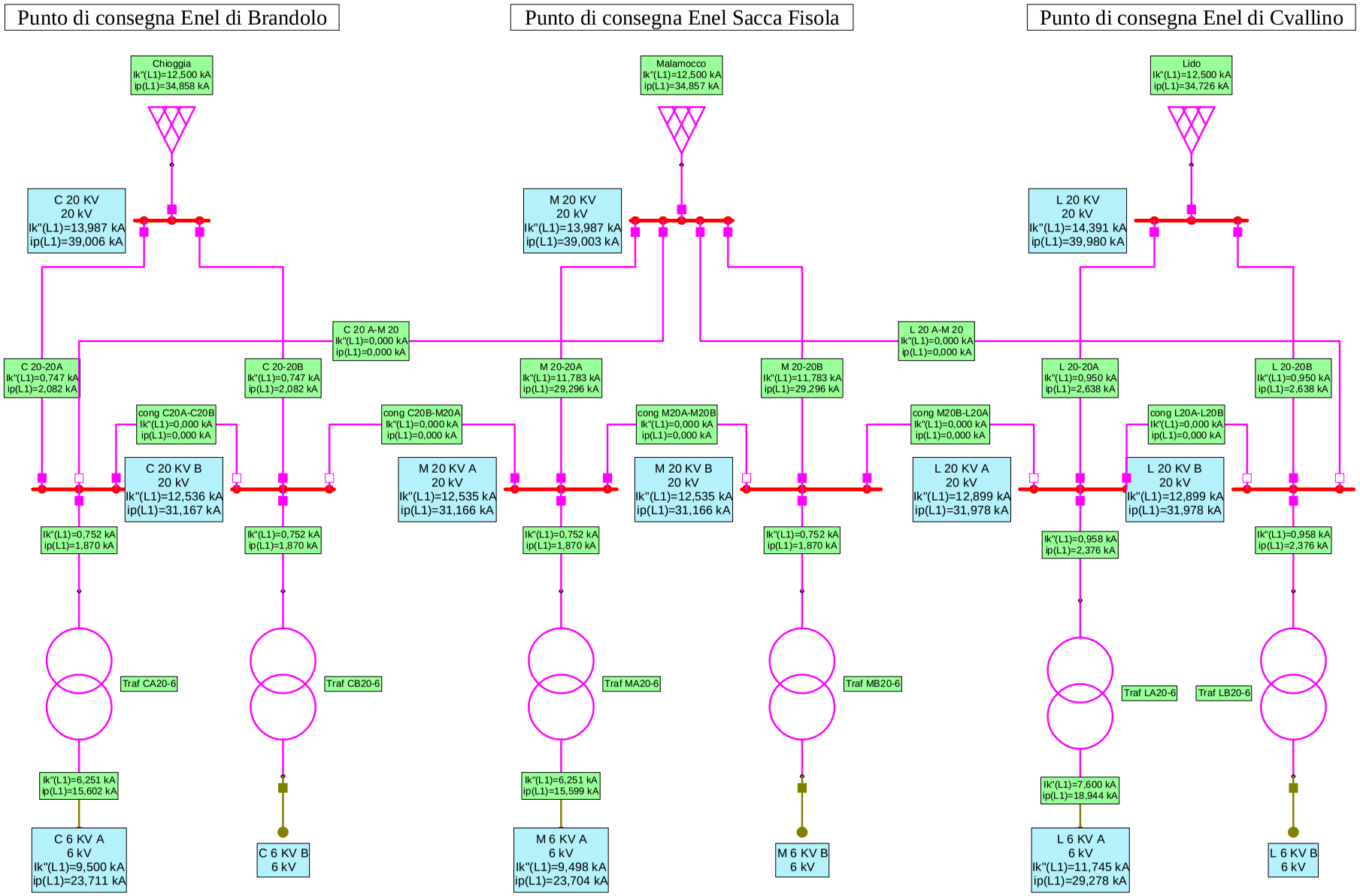

Punto di consegna Enel di Brandolo
Punto di consegna Enel Sacca Fisola
Punto di consegna Enel di Cvallino
Chioggia
P=-15,874 MW
Q=-11,308 Mvar
Malamocco
Lido
C 20 KV
20 kV
u=100,00 %
M 20 KV
20 kV
u=95,71 %
L 20 KV
20 kV
u=0,00 %
C 20 A-M 20
P=5,573 MW
Q=4,147 Mvar
I=0,201 kA
Load=36,93 %
L 20 A-M 20
P=3,366 MW
Q=3,470 Mvar
I=0,146 kA
Load=26,76 %
C 20-20A
P=7,937 MW
Q=5,654 Mvar
I=0,281 kA
Load=51,62 %
C 20-20B
P=7,937 MW
Q=5,654 Mvar
I=0,281 kA
Load=51,62 %
M 20-20A
P=1,008 MW
Q=0,633 Mvar
I=0,036 kA
Load=6,59 %
M 20-20B
P=1,012 MW
Q=0,637 Mvar
I=0,036 kA
Load=6,62 %
L 20-20A
P=0,000 MW
Q=-0,043 Mvar
I=0,001 kA
Load=0,25 %
L 20-20B
P=0,000 MW
Q=-0,043 Mvar
I=0,001 kA
Load=0,25 %
cong C20A-C20B
P=0,093 MW
Q=0,054 Mvar
I=0,003 kA
Load=0,57 %
cong C20B-M20A
P=5,489 MW
Q=4,713 Mvar
I=0,218 kA
Load=40,06 %
cong M20A-M20B
P=4,053 MW
Q=3,712 Mvar
I=0,166 kA
Load=30,43 %
cong M20B-L20A
P=2,854 MW
Q=3,682 Mvar
I=0,145 kA
Load=26,69 %
cong L20A-L20B
P=0,387 MW
Q=-1,586 Mvar
I=0,051 kA
Load=9,35 %
C 20 KV B
20 kV
u=99,65 %
M 20 KV A
20 kV
u=95,66 %
M 20 KV B
20 kV
u=95,66 %
L 20 KV A
20 kV
u=92,47 %
L 20 KV B
20 kV
u=92,47 %
P=2,434 MW
Q=1,585 Mvar
I=0,084 kA
Load=46,26 %
P=2,138 MW
Q=1,400 Mvar
I=0,074 kA
Load=40,71 %
P=2,444 MW
Q=1,633 Mvar
I=0,089 kA
Load=48,76 %
P=2,114 MW
Q=1,368 Mvar
I=0,076 kA
Load=41,77 %
P=3,241 MW
Q=2,140 Mvar
I=0,121 kA
Load=66,65 %
P=2,867 MW
Q=5,698 Mvar
I=0,199 kA
Load=109,47 %
Traf CA20-6
Tap=0
Traf CB20-6
Tap=0
Traf MA20-6
Tap=0
Traf MB20-6
Tap=0
Traf LA20-6
Tap=-1
Traf LB20-6
Tap=-1
P=-2,424 MW
Q=-1,478 Mvar
I=0,267 kA
Load=46,26 %
P=-2,131 MW
Q=-1,317 Mvar
I=0,235 kA
Load=40,71 %
P=-2,433 MW
Q=-1,514 Mvar
I=0,282 kA
Load=48,77 %
P=-2,106 MW
Q=-1,281 Mvar
I=0,241 kA
Load=41,77 %
P=-3,225 MW
Q=-1,973 Mvar
I=0,375 kA
Load=64,99 %
P=-2,826 MW
Q=-5,247 Mvar
I=0,616 kA
Load=106,75 %
C 6 KV A
6 kV
u=102,26 %
C 6 KV B
6 kV
u=102,54 %
M 6 KV A
6 kV
u=97,92 %
M 6 KV B
6 kV
u=98,32 %
L 6 KV A
6 kV
u=96,95 %
L 6 KV B
6 kV
u=93,04 %

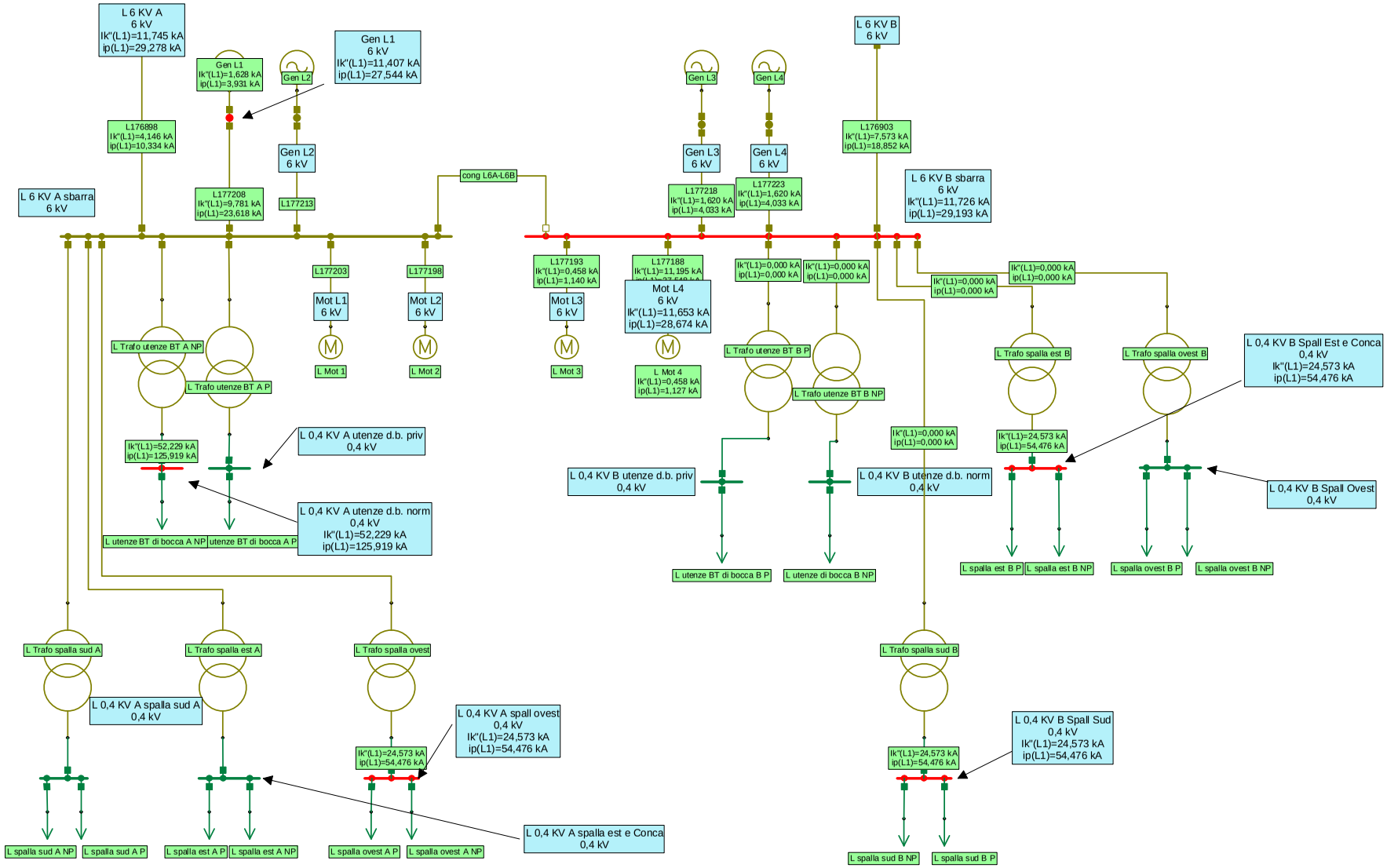

L 6 KV A
6 kV
u=96,95 %
L176898
P=3,225 MW
Q=1,973 Mvar
I=0,375 kA
Load=64,15 %
Gen L1
Gen L2
Gen L1
6 kV
u=96,93 %
Gen L2
6 kV
u=96,93 %
L177208
P=0,000 MW
Q=0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
L177213
P=0,000 MW
Q=0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
cong L6A-L6B
P=0,000 MW
Q=-0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
L 6 KV A sbarra
6 kV
u=96,93 %
P=0,763 MW
Q=0,581 Mvar
I=0,095 kA
Load=31,42 %
P=0,473 MW
Q=0,331 Mvar
I=0,057 kA
Load=18,90 %
L177203
P=0,637 MW
Q=0,290 Mvar
I=0,069 kA
L177198
P=0,637 MW
Q=0,290 Mvar
I=0,069 kA
Mot L1
6 kV
u=96,92 %
Mot L2
6 kV
u=96,92 %
L Trafo utenze BT A NP
Tap=1
L Trafo utenze BT A P
Tap=1
L Mot 1
P=0,637 MW
Q=0,290 Mvar
L Mot 2
P=0,637 MW
Q=0,290 Mvar
P=0,230 MW
Q=0,140 Mvar
I=0,027 kA
Load=34,69 %
P=-0,756 MW
Q=-0,543 Mvar
I=1,389 kA
Load=31,70 %
P=-0,467 MW
Q=-0,306 Mvar
I=0,828 kA
Load=18,89 %
L 0,4 KV A utenze d.b. priv
0,4 kV
u=97,32 %
P=0,249 MW
Q=0,155 Mvar
I=0,029 kA
Load=37,84 %
L 0,4 KV A utenze d.b. norm
0,4 kV
u=96,73 %
P=0,237 MW
Q=0,185 Mvar
I=0,030 kA
Load=38,74 %
L utenze BT di bocca A NP
P=0,756 MW
Q=0,543 Mvar
utenze BT di bocca A P
P=0,467 MW
Q=0,306 Mvar
L Trafo spalla sud A
Tap=1
L Trafo spalla est A
Tap=1
L Trafo spalla ovest
Tap=1
L 0,4 KV A spalla sud A
0,4 kV
u=96,87 %
L 0,4 KV A spall ovest
0,4 kV
u=97,11 %
P=-0,235 MW
Q=-0,175 Mvar
I=0,436 kA
Load=39,21 %
P=-0,247 MW
Q=-0,146 Mvar
I=0,427 kA
Load=38,33 %
P=-0,228 MW
Q=-0,132 Mvar
I=0,391 kA
Load=35,11 %
L 0,4 KV A spalla est e Conca
0,4 kV
u=97,02 %
L spalla sud A NP
P=0,199 MW
Q=0,148 Mvar
L spalla sud A P
P=0,037 MW
Q=0,027 Mvar
L spalla est A P
P=0,035 MW
Q=0,019 Mvar
L spalla est A NP
P=0,212 MW
Q=0,127 Mvar
L spalla ovest A P
P=0,039 MW
Q=0,022 Mvar
L spalla ovest A NP
P=0,189 MW
Q=0,109 Mvar
L 6 KV B
6 kV
u=93,04 %
Gen L3
Gen L4
Gen L3
6 kV
u=93,01 %
Gen L4
6 kV
u=93,01 %
L176903
P=2,826 MW
Q=5,247 Mvar
I=0,616 kA
Load=105,36 %
L177218
P=0,000 MW
Q=0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
P=0,000 MW
Q=0,000 Mvar
I=0,000 kA
Load=0,00 %
L 6 KV B sbarra
6 kV
u=93,01 %
L177193
P=0,637 MW
Q=0,290 Mvar
I=0,072 kA
L177188
P=0,492 MW
Q=3,752 Mvar
I=0,392 kA
P=0,338 MW
Q=0,244 Mvar
I=0,043 kA
Load=14,23 %
P=0,646 MW
Q=0,489 Mvar
I=0,084 kA
Load=27,65 %
P=0,226 MW
Q=0,137 Mvar
I=0,027 kA
Load=35,47 %
P=0,248 MW
Q=0,149 Mvar
I=0,030 kA
Load=38,85 %
Mot L3
6 kV
u=93,00 %
Mot L4
6 kV
u=92,98 %
L Trafo utenze BT B P
Tap=1
L Trafo utenze BT B NP
Tap=1
L Trafo spalla est B
Tap=1
L Trafo spalla ovest B
Tap=1
L 0,4 KV B Spall Est e Conca
0,4 kV
u=93,13 %
L Mot 3
P=0,637 MW
Q=0,290 Mvar
L Mot 4
P=0,492 MW
Q=3,752 Mvar
P=-0,333 MW
Q=-0,223 Mvar
I=0,618 kA
Load=14,11 %
P=-0,639 MW
Q=-0,457 Mvar
I=1,221 kA
Load=27,86 %
P=0,237 MW
Q=0,184 Mvar
I=0,031 kA
Load=40,28 %
P=-0,224 MW
Q=-0,128 Mvar
I=0,400 kA
Load=35,93 %
P=-0,246 MW
Q=-0,139 Mvar
I=0,438 kA
Load=39,39 %
L 0,4 KV B Spall Ovest
0,4 kV
u=93,04 %
L 0,4 KV B utenze d.b. priv
0,4 kV
u=93,54 %
L 0,4 KV B utenze d.b. norm
0,4 kV
u=92,93 %
L utenze BT di bocca B P
P=0,333 MW
Q=0,223 Mvar
L utenze di bocca B NP
P=0,639 MW
Q=0,457 Mvar
L spalla est B P
P=0,035 MW
Q=0,019 Mvar
L spalla est B NP
P=0,189 MW
Q=0,109 Mvar
L spalla ovest B P
P=0,035 MW
Q=0,020 Mvar
L spalla ovest B NP
P=0,211 MW
Q=0,120 Mvar
L Trafo spalla sud B
Tap=1
L 0,4 KV B Spall Sud
0,4 kV
u=92,85 %
P=-0,234 MW
Q=-0,174 Mvar
I=0,454 kA
Load=40,81 %
L spalla sud B NP
P=0,201 MW
Q=0,150 Mvar
L spalla sud B P
P=0,033 MW
Q=0,024 Mvar

Appendice G

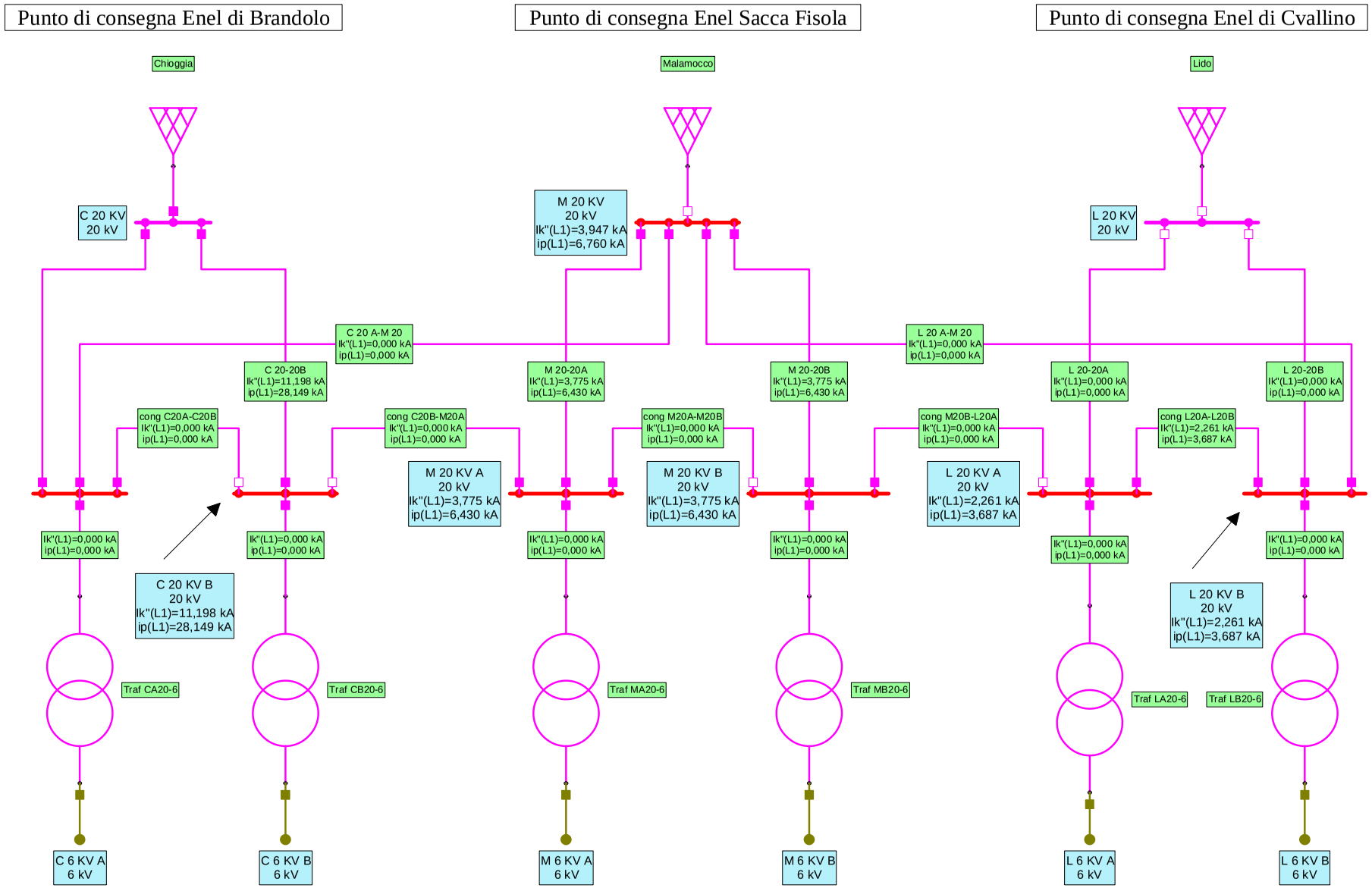
Riepilogo grafico corto circuiti

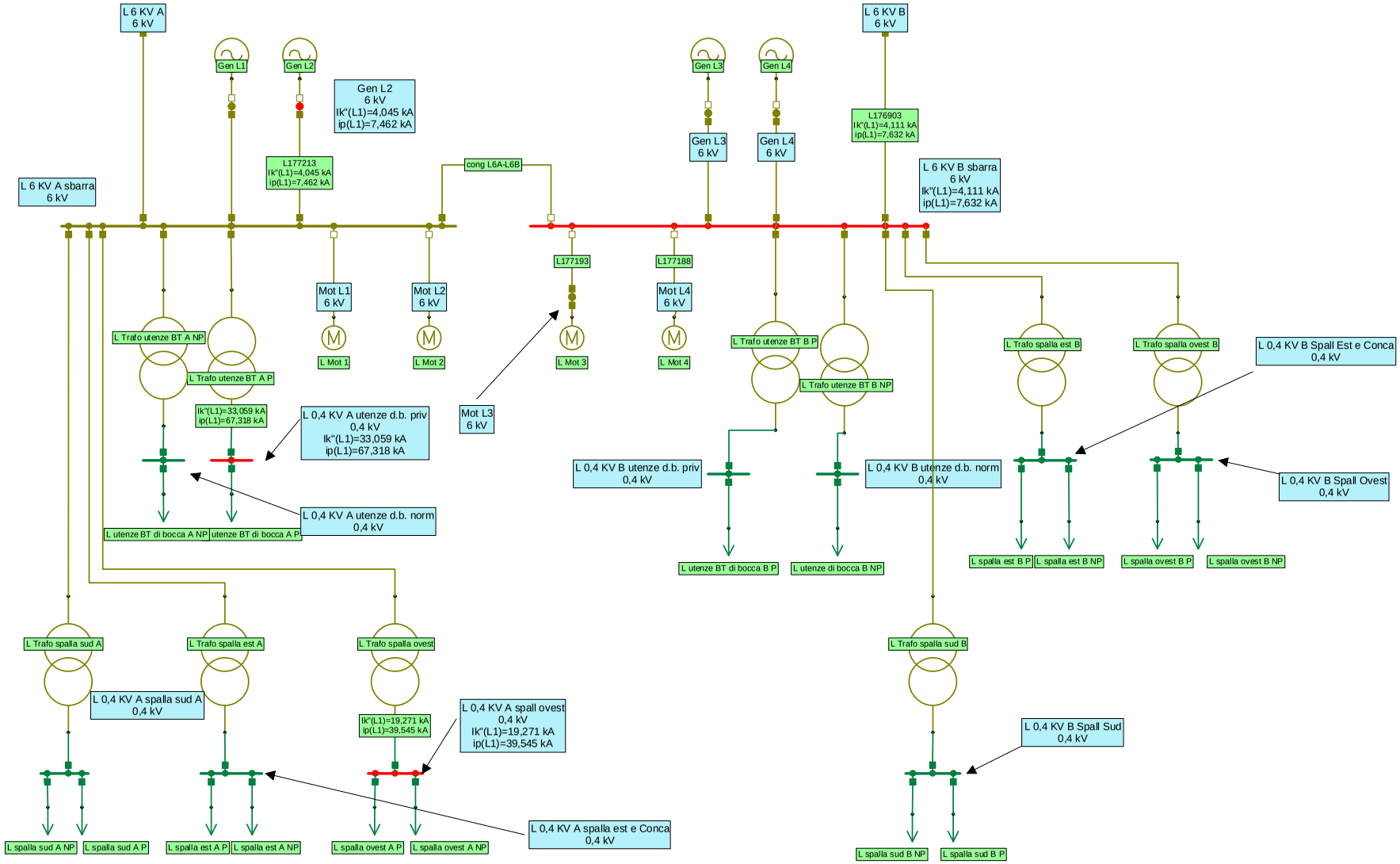
G.1 Correnti di corto circuito massime


Punto di consegna Enel di Brandolo
Punto di consegna Enel Sacca Fisola
Punto di consegna Enel di Cvallino
Chioggia
Ik"(L1)=12,500 kA
ip(L1)=34,858 kA
Malamocco
Ik"(L1)=12,500 kA
ip(L1)=34,857 kA
Lido
Ik"(L1)=12,500 kA
ip(L1)=34,726 kA
C 20 KV
20 kV
Ik"(L1)=13,987 kA
ip(L1)=39,006 kA
M 20 KV
20 kV
Ik"(L1)=13,987 kA
ip(L1)=39,003 kA
L 20 KV
20 kV
Ik"(L1)=14,391 kA
ip(L1)=39,980 kA
C 20 A-M 20
Ik"(L1)=0,000 kA
ip(L1)=0,000 kA
L 20 A-M 20
Ik"(L1)=0,000 kA
ip(L1)=0,000 kA
C 20-20A
Ik"(L1)=0,747 kA
ip(L1)=2,082 kA
C 20-20B
Ik"(L1)=0,747 kA
ip(L1)=2,082 kA
M 20-20A
Ik"(L1)=11,783 kA
ip(L1)=29,296 kA
M 20-20B
Ik"(L1)=11,783 kA
ip(L1)=29,296 kA
L 20-20A
Ik"(L1)=0,950 kA
ip(L1)=2,638 kA
L 20-20B
Ik"(L1)=0,950 kA
ip(L1)=2,638 kA
cong C20A-C20B
Ik"(L1)=0,000 kA
ip(L1)=0,000 kA
cong C20B-M20A
Ik"(L1)=0,000 kA
ip(L1)=0,000 kA
cong M20A-M20B
Ik"(L1)=0,000 kA
ip(L1)=0,000 kA
cong M20B-L20A
Ik"(L1)=0,000 kA
ip(L1)=0,000 kA
cong L20A-L20B
Ik"(L1)=0,000 kA
ip(L1)=0,000 kA
C 20 KV B
20 kV
Ik"(L1)=12,536 kA
ip(L1)=31,167 kA
M 20 KV A
20 kV
Ik"(L1)=12,535 kA
ip(L1)=31,166 kA
M 20 KV B
20 kV
Ik"(L1)=12,535 kA
ip(L1)=31,166 kA
L 20 KV A
20 kV
Ik"(L1)=12,899 kA
ip(L1)=31,978 kA
L 20 KV B
20 kV
Ik"(L1)=12,899 kA
ip(L1)=31,978 kA
Ik"(L1)=0,752 kA
ip(L1)=1,870 kA
Ik"(L1)=0,752 kA
ip(L1)=1,870 kA
Ik"(L1)=0,752 kA
ip(L1)=1,870 kA
Ik"(L1)=0,752 kA
ip(L1)=1,870 kA
Ik"(L1)=0,958 kA
ip(L1)=2,376 kA
Ik"(L1)=0,958 kA
ip(L1)=2,376 kA
Traf CA20-6
Traf CB20-6
Traf MA20-6
Traf MB20-6
Traf LA20-6
Traf LB20-6
Ik"(L1)=6,251 kA
ip(L1)=15,602 kA
Ik"(L1)=6,251 kA
ip(L1)=15,599 kA
Ik"(L1)=7,600 kA
ip(L1)=18,944 kA
C 6 KV A
6 kV
Ik"(L1)=9,500 kA
ip(L1)=23,711 kA
C 6 KV B
6 kV
M 6 KV A
6 kV
Ik"(L1)=9,498 kA
ip(L1)=23,704 kA
M 6 KV B
6 kV
L 6 KV A
6 kV
Ik"(L1)=11,745 kA
ip(L1)=29,278 kA
L 6 KV B
6 kV


L 6 KV A
6 kV
Ik''(L1)=11,745 kA
ip(L1)=29,278 kA
Gen L1
Ik''(L1)=1,628 kA
ip(L1)=3,931 kA
Gen L2
Gen L1
6 kV
Ik''(L1)=11,407 kA
ip(L1)=27,544 kA
L176898
Ik''(L1)=4,146 kA
ip(L1)=10,334 kA
Gen L2
6 kV
L 6 KV A sbarra
6 kV
L177208
Ik''(L1)=9,781 kA
ip(L1)=23,618 kA
L177213
cong L6A-L6B
L177203
L177198
Mot L1
6 kV
Mot L2
6 kV
L Trafo utenze BT A NP
L Trafo utenze BT A P
L Mot 1
L Mot 2
Ik''(L1)=52,229 kA
ip(L1)=125,919 kA
L 0,4 KV A utenze d.b. priv
0,4 kV
L 0,4 KV A utenze d.b. norm
0,4 kV
Ik''(L1)=52,229 kA
ip(L1)=125,919 kA
L utenze BT di bocca A NP
utenze BT di bocca A P
L Trafo spalla sud A
L Trafo spalla est A
L Trafo spalla ovest
L 0,4 KV A spalla sud A
0,4 kV
Ik''(L1)=24,573 kA
ip(L1)=54,476 kA
L 0,4 KV A spall ovest
0,4 kV
Ik''(L1)=24,573 kA
ip(L1)=54,476 kA
L 0,4 KV A spalla est e Conca
0,4 kV
L spalla sud A NP
L spalla sud A P
L spalla est A P
L spalla est A NP
L spalla ovest A P
L spalla ovest A NP
L177193
Ik''(L1)=0,458 kA
ip(L1)=1,140 kA
L177188
Ik''(L1)=11,195 kA
Mot L3
6 kV
Mot L4
6 kV
Ik''(L1)=11,653 kA
ip(L1)=28,674 kA
L Mot 3
L Mot 4
Ik''(L1)=0,458 kA
ip(L1)=1,127 kA
Gen L3
Gen L4
Gen L3
6 kV
Gen L4
6 kV
L177218
Ik''(L1)=1,620 kA
ip(L1)=4,033 kA
L177223
Ik''(L1)=1,620 kA
ip(L1)=4,033 kA
L 6 KV B
6 kV
L176903
Ik''(L1)=7,573 kA
ip(L1)=18,852 kA
L 6 KV B sbarra
6 kV
Ik''(L1)=11,726 kA
ip(L1)=29,193 kA
Ik''(L1)=0,000 kA
ip(L1)=0,000 kA
L Trafo utenze BT B P
L Trafo utenze BT B NP
L 0,4 KV B utenze d.b. priv
0,4 kV
L 0,4 KV B utenze d.b. norm
0,4 kV
L utenze BT di bocca B P
L utenze di bocca B NP
L Trafo spalla sud B
L 0,4 KV B Spall Sud
0,4 kV
Ik''(L1)=24,573 kA
ip(L1)=54,476 kA
L spalla sud B NP
L spalla sud B P
L Trafo spalla est B
L Trafo spalla ovest B
L 0,4 KV B Spall Est e Conca
0,4 kV
Ik''(L1)=24,573 kA
ip(L1)=54,476 kA
L 0,4 KV B Spall Ovest
0,4 kV
L spalla est B P
L spalla est B NP
L spalla ovest B P
L spalla ovest B NP

G.2 Correnti di corto circuito minime


Punto di consegna Enel di Brandolo
Punto di consegna Enel Sacca Fisola
Punto di consegna Enel di Cvallino
Chioggia
Malamocco
Lido
C 20 KV
20 kV
M 20 KV
20 kV
Ik"(L1)=3,947 kA
ip(L1)=6,760 kA
L 20 KV
20 kV
C 20 A-M 20
Ik"(L1)=0,000 kA
ip(L1)=0,000 kA
L 20 A-M 20
Ik"(L1)=0,000 kA
ip(L1)=0,000 kA
C 20-20B
Ik"(L1)=11,198 kA
ip(L1)=28,149 kA
M 20-20A
Ik"(L1)=3,775 kA
ip(L1)=6,430 kA
M 20-20B
Ik"(L1)=3,775 kA
ip(L1)=6,430 kA
L 20-20A
Ik"(L1)=0,000 kA
ip(L1)=0,000 kA
L 20-20B
Ik"(L1)=0,000 kA
ip(L1)=0,000 kA
cong C20A-C20B
Ik"(L1)=0,000 kA
ip(L1)=0,000 kA
cong C20B-M20A
Ik"(L1)=0,000 kA
ip(L1)=0,000 kA
cong M20A-M20B
Ik"(L1)=0,000 kA
ip(L1)=0,000 kA
cong M20B-L20A
Ik"(L1)=0,000 kA
ip(L1)=0,000 kA
cong L20A-L20B
Ik"(L1)=2,261 kA
ip(L1)=3,687 kA
M 20 KV A
20 kV
Ik"(L1)=3,775 kA
ip(L1)=6,430 kA
M 20 KV B
20 kV
Ik"(L1)=3,775 kA
ip(L1)=6,430 kA
L 20 KV A
20 kV
Ik"(L1)=2,261 kA
ip(L1)=3,687 kA
Ik"(L1)=0,000 kA
ip(L1)=0,000 kA
C 20 KV B
20 kV
Ik"(L1)=11,198 kA
ip(L1)=28,149 kA
L 20 KV B
20 kV
Ik"(L1)=2,261 kA
ip(L1)=3,687 kA
Traf CA20-6
Traf CB20-6
Traf MA20-6
Traf MB20-6
Traf LA20-6
Traf LB20-6
C 6 KV A
6 kV
C 6 KV B
6 kV
M 6 KV A
6 kV
M 6 KV B
6 kV
L 6 KV A
6 kV
L 6 KV B
6 kV

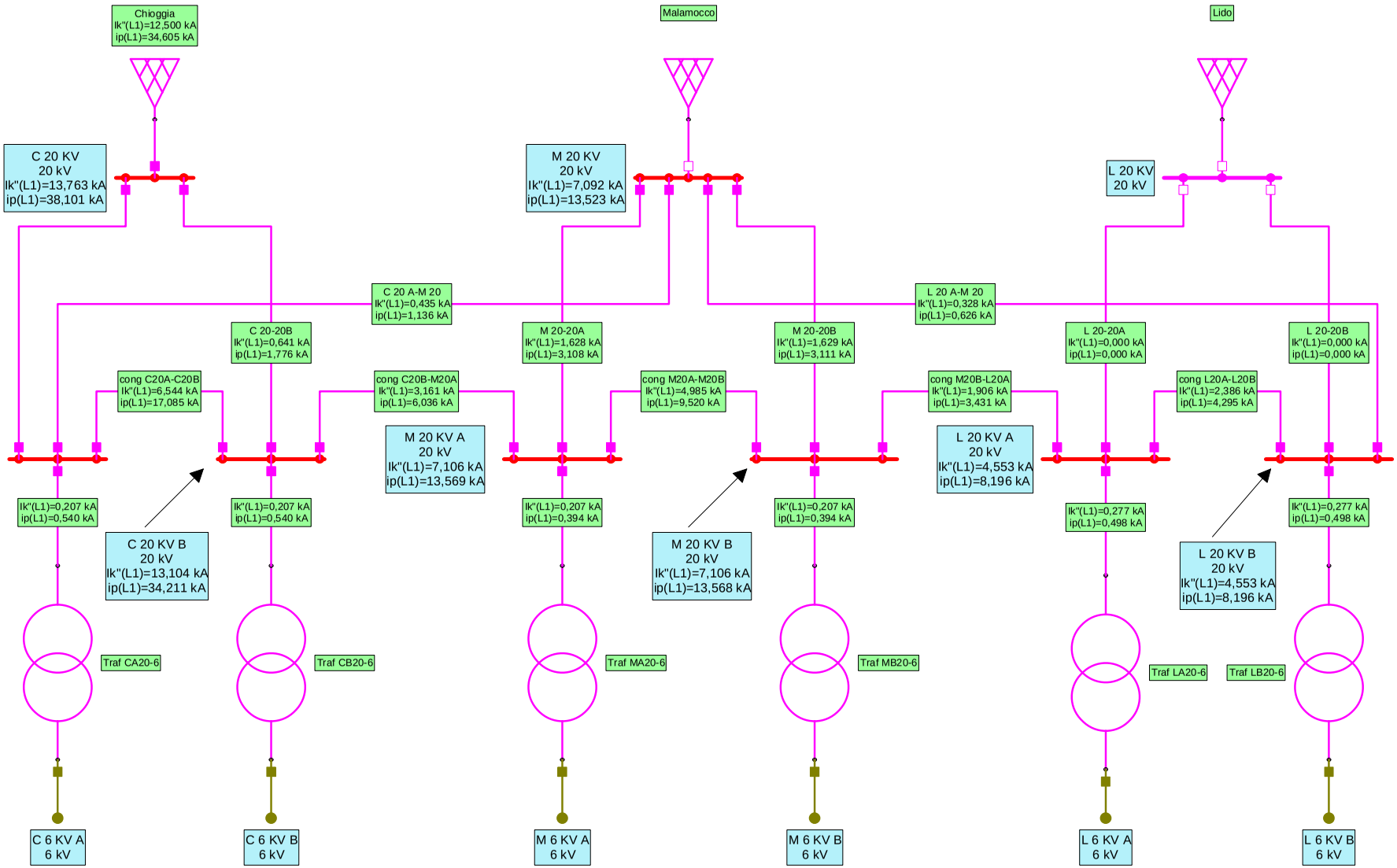

L 6 KV A
6 kV
Gen L1
Gen L2
Gen L2
6 kV
Ik''(L1)=4,045 kA
ip(L1)=7,462 kA
L177213
Ik''(L1)=4,045 kA
ip(L1)=7,462 kA
cong L6A-L6B
L 6 KV A sbarra
6 kV
Mot L1
6 kV
Mot L2
6 kV
L Mot 1
L Mot 2
L Trafo utenze BT A NP
L Trafo utenze BT A P
Ik''(L1)=33,059 kA
ip(L1)=67,318 kA
L 0,4 KV A utenze d.b. priv
0,4 kV
Ik''(L1)=33,059 kA
ip(L1)=67,318 kA
L 0,4 KV A utenze d.b. norm
0,4 kV
L utenze BT di bocca A NP
utenze BT di bocca A P
Mot L3
6 kV
L177193
L177188
Mot L4
6 kV
L Mot 3
L Mot 4
Gen L3
Gen L4
Gen L3
6 kV
Gen L4
6 kV
L 6 KV B
6 kV
L176903
Ik''(L1)=4,111 kA
ip(L1)=7,632 kA
L 6 KV B sbarra
6 kV
Ik''(L1)=4,111 kA
ip(L1)=7,632 kA
L Trafo utenze BT B P
L Trafo utenze BT B NP
L 0,4 KV B utenze d.b. priv
0,4 kV
L 0,4 KV B utenze d.b. norm
0,4 kV
L utenze BT di bocca B P
L utenze di bocca B NP
L Trafo spalla est B
L Trafo spalla ovest B
L 0,4 KV B Spall Est e Conca
0,4 kV
L 0,4 KV B Spall Ovest
0,4 kV
L spalla est B P
L spalla est B NP
L spalla ovest B P
L spalla ovest B NP
L Trafo spalla sud A
L Trafo spalla est A
L Trafo spalla ovest
L 0,4 KV A spalla sud A
0,4 kV
Ik''(L1)=19,271 kA
ip(L1)=39,545 kA
L 0,4 KV A spall ovest
0,4 kV
Ik''(L1)=19,271 kA
ip(L1)=39,545 kA
L 0,4 KV A spalla est e Conca
0,4 kV
L spalla sud A NP
L spalla sud A P
L spalla est A P
L spalla est A NP
L spalla ovest A P
L spalla ovest A NP
L Trafo spalla sud B
L 0,4 KV B Spall Sud
0,4 kV
L spalla sud B NP
L spalla sud B P

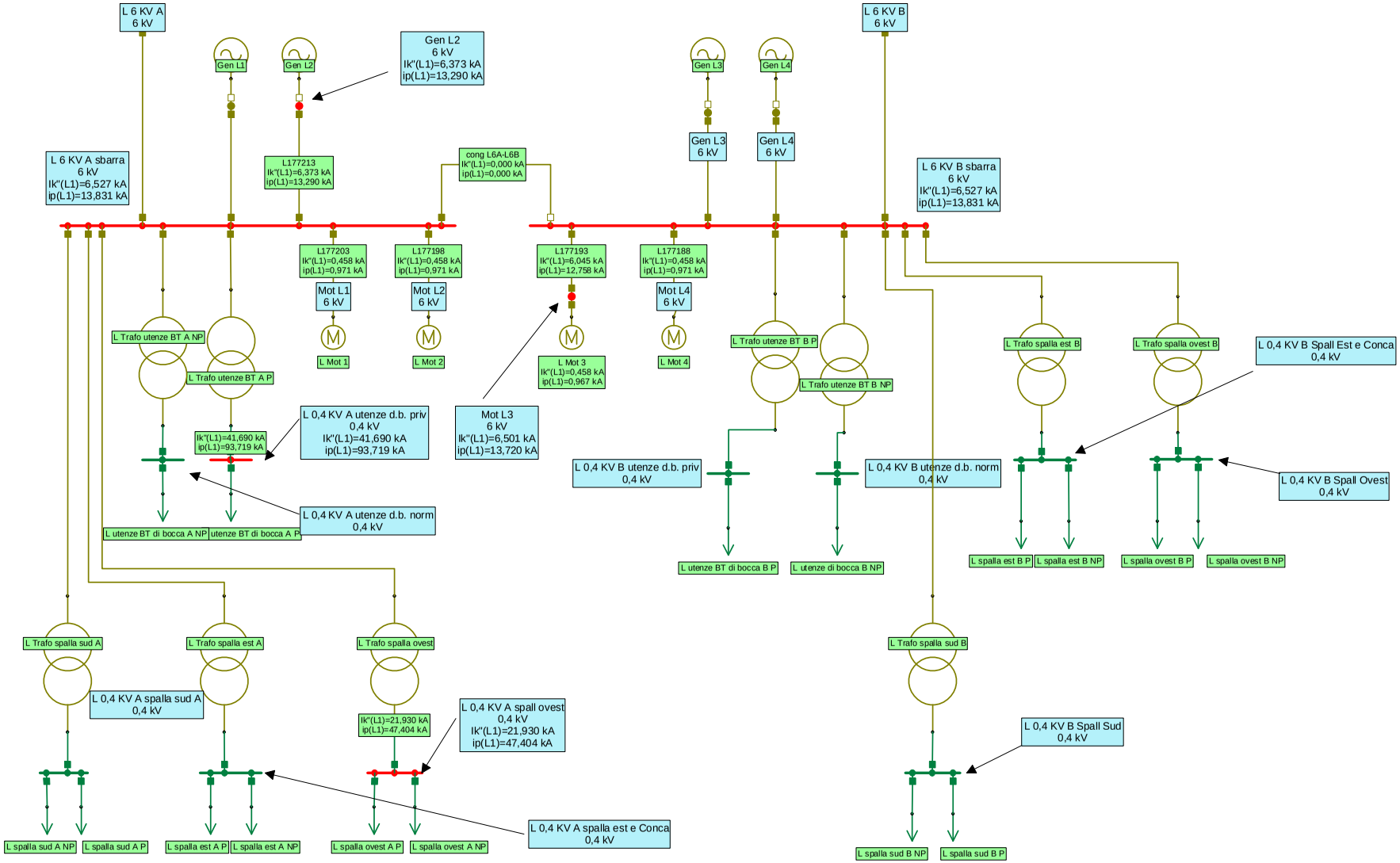
G.3 Correnti di corto circuito con rete a 20 kV magliata

Punto di consegna Enel di Brandolo

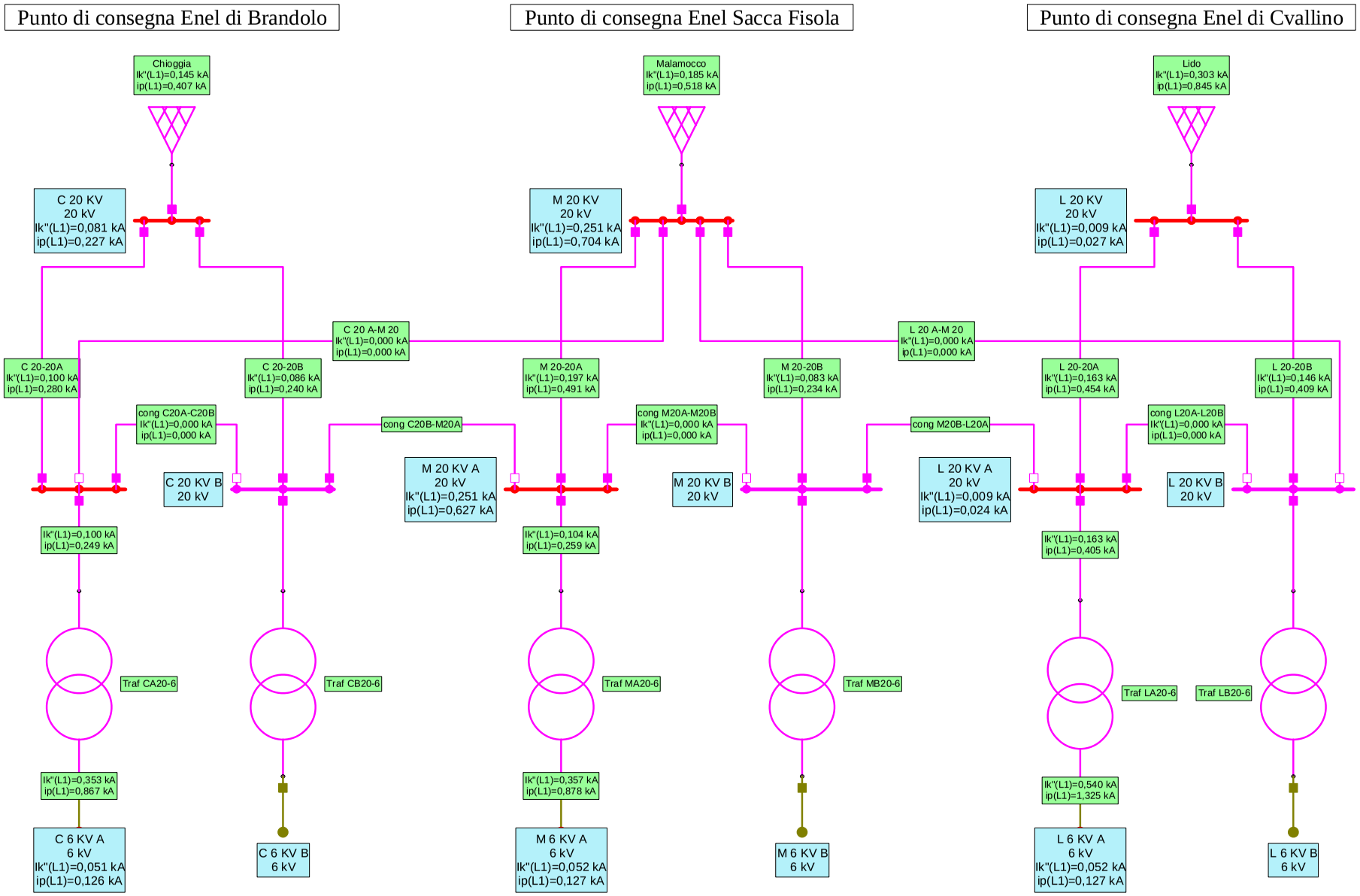
Punto di consegna Enel Sacca Fisola

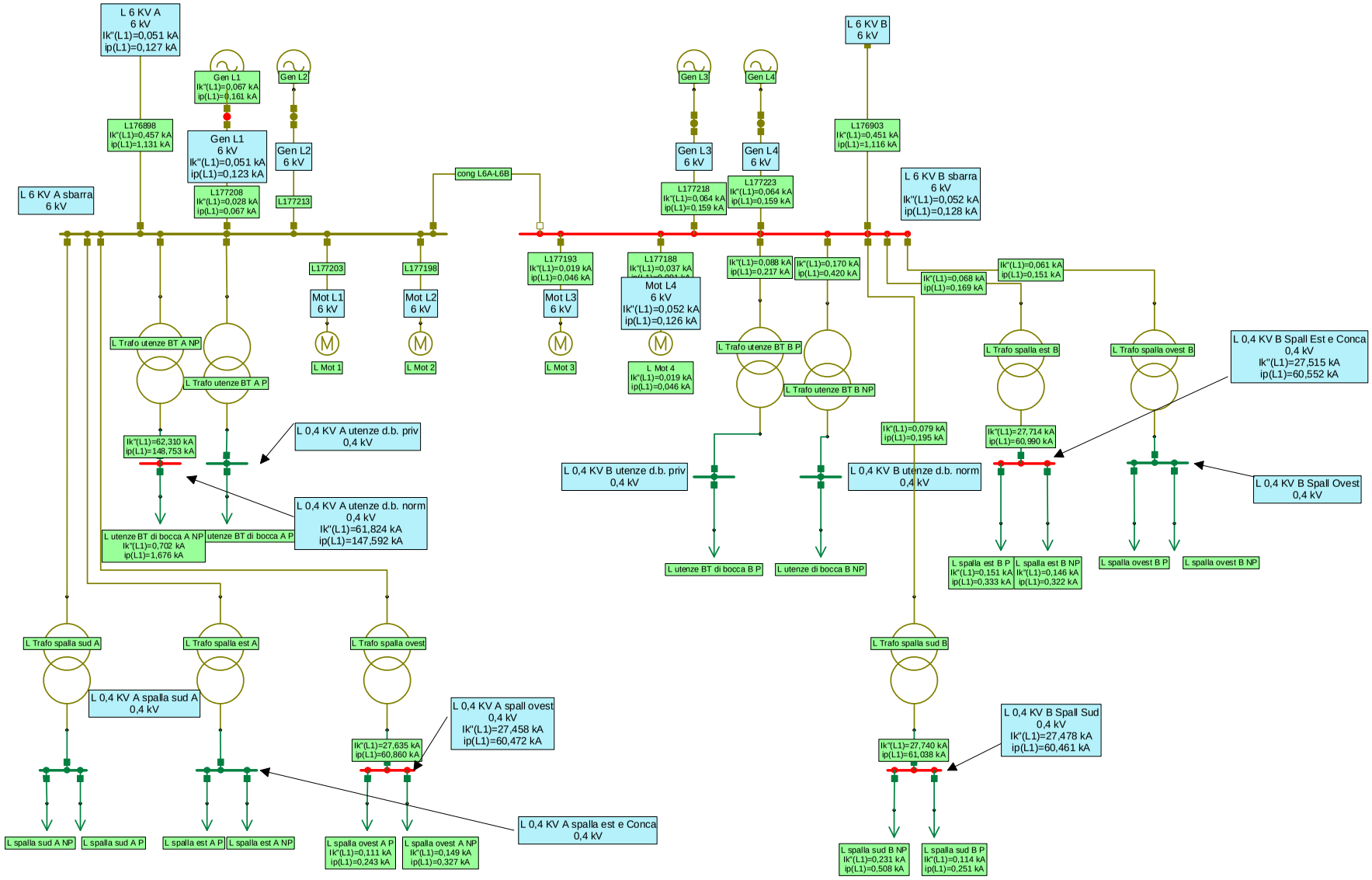
Punto di consegna Enel di Cvallino




L 6 KV A
6 kV
Gen L1
Gen L2
Gen L2
6 kV
Ik''(L1)=6,373 kA
ip(L1)=13,290 kA
L 6 KV A sbarra
6 kV
Ik''(L1)=6,527 kA
ip(L1)=13,831 kA
L177213
Ik''(L1)=6,373 kA
ip(L1)=13,290 kA
cong L6A-L6B
Ik''(L1)=0,000 kA
ip(L1)=0,000 kA
L177203
Ik''(L1)=0,458 kA
ip(L1)=0,971 kA
L177198
Ik''(L1)=0,458 kA
ip(L1)=0,971 kA
L177193
Ik''(L1)=6,045 kA
ip(L1)=12,758 kA
L177188
Ik''(L1)=0,458 kA
ip(L1)=0,971 kA
Mot L1
6 kV
Mot L2
6 kV
Mot L4
6 kV
L Mot 1
L Mot 2
L Mot 3
Ik''(L1)=0,458 kA
ip(L1)=0,967 kA
L Mot 4
Mot L3
6 kV
Ik''(L1)=6,501 kA
ip(L1)=13,720 kA
Gen L3
Gen L4
Gen L3
6 kV
Gen L4
6 kV
L 6 KV B
6 kV
L 6 KV B sbarra
6 kV
Ik''(L1)=6,527 kA
ip(L1)=13,831 kA
L Trafo utenze BT A NP
L Trafo utenze BT A P
L Trafo utenze BT B P
L Trafo utenze BT B NP
L Trafo spalla est B
L Trafo spalla ovest B
L 0,4 KV B Spall Est e Conca
0,4 kV
Ik''(L1)=41,690 kA
ip(L1)=93,719 kA
L 0,4 KV A utenze d.b. priv
0,4 kV
Ik''(L1)=41,690 kA
ip(L1)=93,719 kA
L 0,4 KV B utenze d.b. priv
0,4 kV
L 0,4 KV B utenze d.b. norm
0,4 kV
L 0,4 KV B Spall Ovest
0,4 kV
L 0,4 KV A utenze d.b. norm
0,4 kV
L utenze BT di bocca A NP
utenze BT di bocca A P
L utenze BT di bocca B P
L utenze di bocca B NP
L spalla est B P
L spalla est B NP
L spalla ovest B P
L spalla ovest B NP
L Trafo spalla sud A
L Trafo spalla est A
L Trafo spalla ovest
L Trafo spalla sud B
L 0,4 KV A spalla sud A
0,4 kV
Ik''(L1)=21,930 kA
ip(L1)=47,404 kA
L 0,4 KV A spall ovest
0,4 kV
Ik''(L1)=21,930 kA
ip(L1)=47,404 kA
L 0,4 KV B Spall Sud
0,4 kV
L 0,4 KV A spalla est e Conca
0,4 kV
L spalla sud A NP
L spalla sud A P
L spalla est A P
L spalla est A NP
L spalla ovest A P
L spalla ovest A NP
L spalla sud B NP
L spalla sud B P

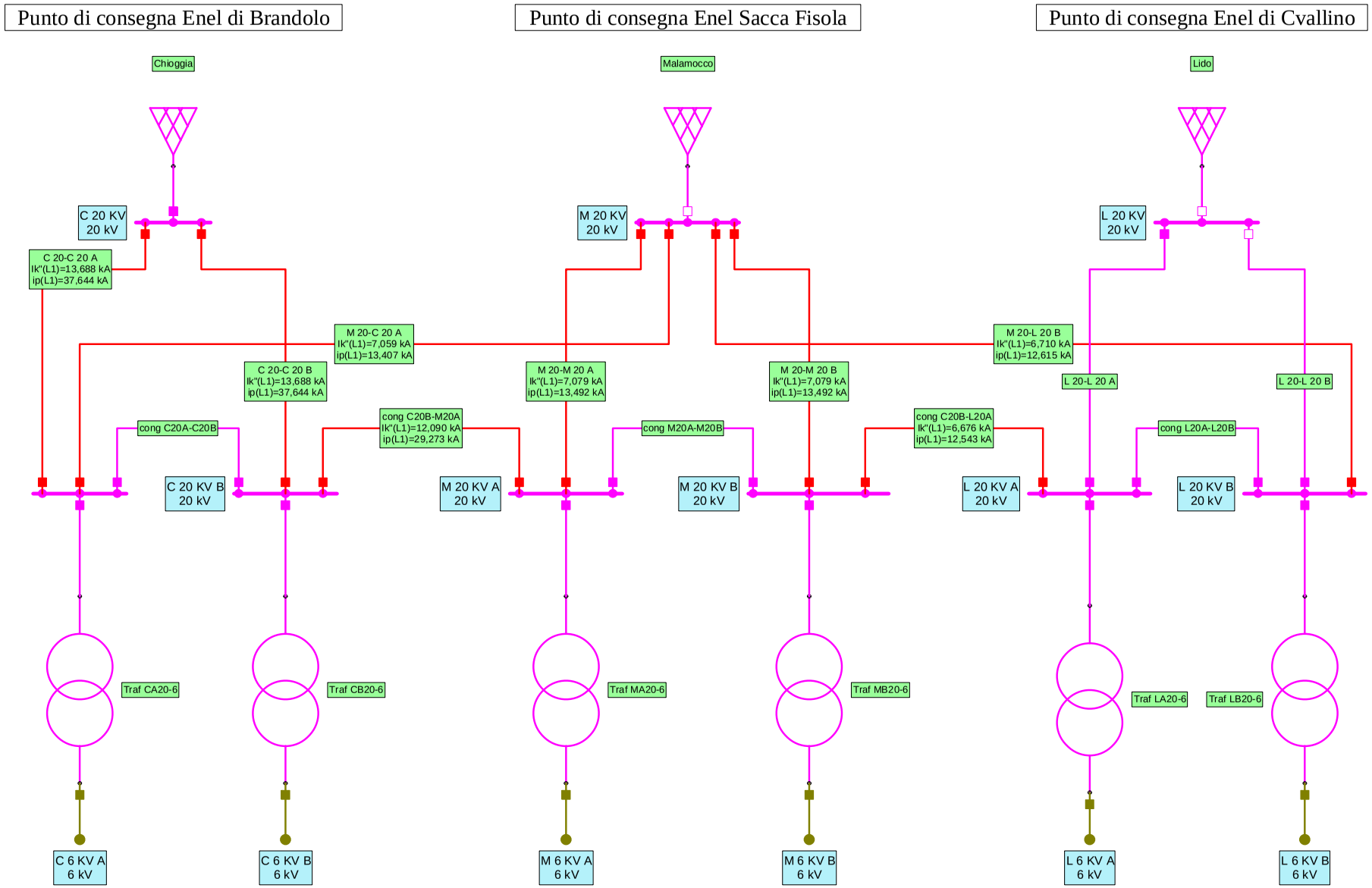
G.4 Correnti di corto circuito fase-terra

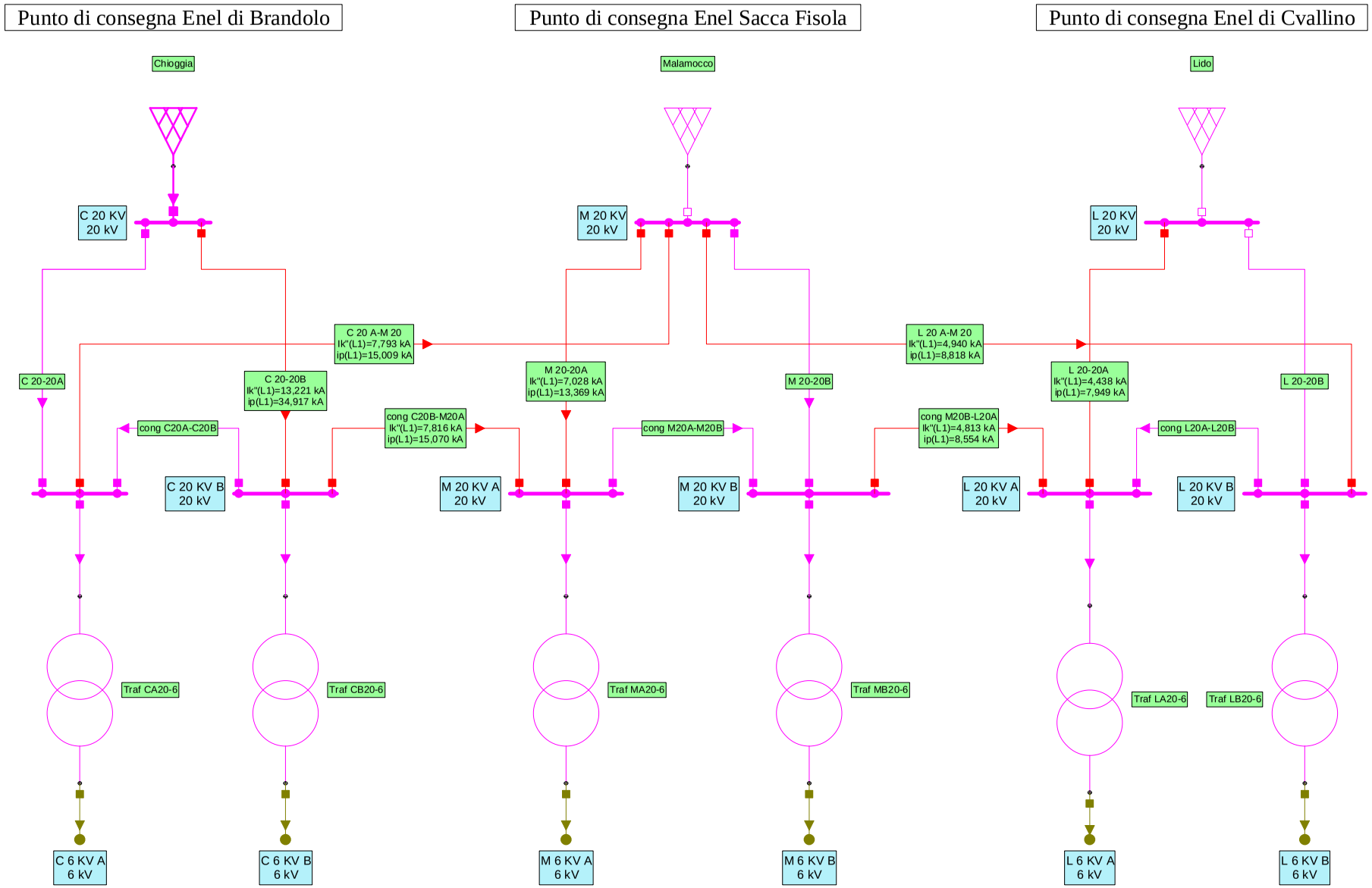

Punto di consegna Enel di Brandolo
Punto di consegna Enel Sacca Fisola
Punto di consegna Enel di Cvallino
Chioggia
Ik"(L1)=0,145 kA
ip(L1)=0,407 kA
Malamocco
Ik"(L1)=0,185 kA
ip(L1)=0,518 kA
Lido
Ik"(L1)=0,303 kA
ip(L1)=0,845 kA
C 20 KV
20 kV
Ik"(L1)=0,081 kA
ip(L1)=0,227 kA
M 20 KV
20 kV
Ik"(L1)=0,251 kA
ip(L1)=0,704 kA
L 20 KV
20 kV
Ik"(L1)=0,009 kA
ip(L1)=0,027 kA
C 20 A-M 20
Ik"(L1)=0,000 kA
ip(L1)=0,000 kA
L 20 A-M 20
Ik"(L1)=0,000 kA
ip(L1)=0,000 kA
C 20-20A
Ik"(L1)=0,100 kA
ip(L1)=0,280 kA
C 20-20B
Ik"(L1)=0,086 kA
ip(L1)=0,240 kA
M 20-20A
Ik"(L1)=0,197 kA
ip(L1)=0,491 kA
M 20-20B
Ik"(L1)=0,083 kA
ip(L1)=0,234 kA
L 20-20A
Ik"(L1)=0,163 kA
ip(L1)=0,454 kA
L 20-20B
Ik"(L1)=0,146 kA
ip(L1)=0,409 kA
cong C20A-C20B
Ik"(L1)=0,000 kA
ip(L1)=0,000 kA
cong C20B-M20A
cong M20A-M20B
Ik"(L1)=0,000 kA
ip(L1)=0,000 kA
cong M20B-L20A
cong L20A-L20B
Ik"(L1)=0,000 kA
ip(L1)=0,000 kA
C 20 KV B
20 kV
M 20 KV A
20 kV
Ik"(L1)=0,251 kA
ip(L1)=0,627 kA
M 20 KV B
20 kV
L 20 KV A
20 kV
Ik"(L1)=0,009 kA
ip(L1)=0,024 kA
L 20 KV B
20 kV
Ik"(L1)=0,100 kA
ip(L1)=0,249 kA
Ik"(L1)=0,104 kA
ip(L1)=0,259 kA
Ik"(L1)=0,163 kA
ip(L1)=0,405 kA
Traf CA20-6
Traf CB20-6
Traf MA20-6
Traf MB20-6
Traf LA20-6
Traf LB20-6
Ik"(L1)=0,353 kA
ip(L1)=0,867 kA
Ik"(L1)=0,357 kA
ip(L1)=0,878 kA
Ik"(L1)=0,540 kA
ip(L1)=1,325 kA
C 6 KV A
6 kV
Ik"(L1)=0,051 kA
ip(L1)=0,126 kA
C 6 KV B
6 kV
M 6 KV A
6 kV
Ik"(L1)=0,052 kA
ip(L1)=0,127 kA
M 6 KV B
6 kV
L 6 KV A
6 kV
Ik"(L1)=0,052 kA
ip(L1)=0,127 kA
L 6 KV B
6 kV

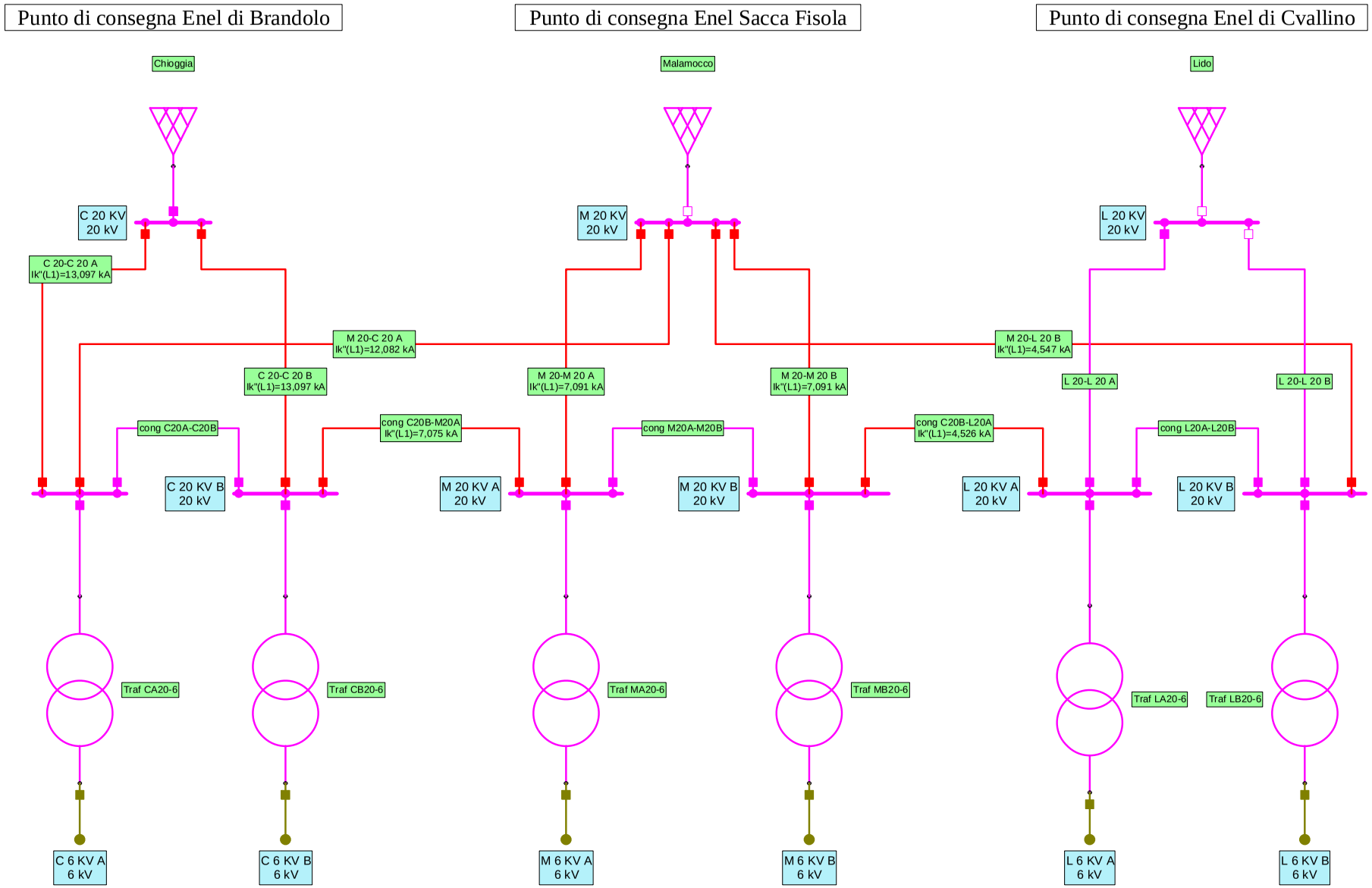

L 6 KV A
6 kV
Ik''(L1)=0,051 kA
ip(L1)=0,127 kA
L 6 KV A sbarra
6 kV
L176898
Ik''(L1)=0,457 kA
ip(L1)=1,131 kA
Gen L1
Ik''(L1)=0,067 kA
ip(L1)=0,161 kA
Gen L1
6 kV
Ik''(L1)=0,051 kA
ip(L1)=0,123 kA
L177208
Ik''(L1)=0,028 kA
ip(L1)=0,067 kA
Gen L2
Gen L2
6 kV
L177213
cong L6A-L6B
L177203
L177198
Mot L1
6 kV
Mot L2
6 kV
L Mot 1
L Mot 2
L Trafo utenze BT A NP
L Trafo utenze BT A P
Ik''(L1)=62,310 kA
ip(L1)=148,753 kA
L 0,4 KV A utenze d.b. priv
0,4 kV
L 0,4 KV A utenze d.b. norm
0,4 kV
Ik''(L1)=61,824 kA
ip(L1)=147,592 kA
L utenze BT di bocca A NP
Ik''(L1)=0,702 kA
ip(L1)=1,676 kA
utenze BT di bocca A P
L Trafo spalla sud A
L Trafo spalla est A
L Trafo spalla ovest
L 0,4 KV A spalla sud A
0,4 kV
L 0,4 KV A spall ovest
0,4 kV
Ik''(L1)=27,458 kA
ip(L1)=60,472 kA
Ik''(L1)=27,635 kA
ip(L1)=60,860 kA
L 0,4 KV A spalla est e Conca
0,4 kV
L spalla sud A NP
L spalla sud A P
L spalla est A P
L spalla est A NP
L spalla ovest A P
Ik''(L1)=0,111 kA
ip(L1)=0,243 kA
L spalla ovest A NP
Ik''(L1)=0,149 kA
ip(L1)=0,327 kA
L177193
Ik''(L1)=0,019 kA
ip(L1)=0,046 kA
Mot L3
6 kV
L Mot 3
Gen L3
Gen L4
Gen L3
6 kV
Gen L4
6 kV
L177218
Ik''(L1)=0,064 kA
ip(L1)=0,159 kA
L177223
Ik''(L1)=0,064 kA
ip(L1)=0,159 kA
L177188
Mot L4
6 kV
Ik''(L1)=0,052 kA
ip(L1)=0,126 kA
L Mot 4
Ik''(L1)=0,019 kA
ip(L1)=0,046 kA
L 6 KV B
6 kV
L176903
Ik''(L1)=0,451 kA
ip(L1)=1,116 kA
L 6 KV B sbarra
6 kV
Ik''(L1)=0,052 kA
ip(L1)=0,128 kA
Ik''(L1)=0,088 kA
ip(L1)=0,217 kA
Ik''(L1)=0,170 kA
ip(L1)=0,420 kA
L Trafo utenze BT B P
L Trafo utenze BT B NP
Ik''(L1)=0,068 kA
ip(L1)=0,169 kA
Ik''(L1)=0,061 kA
ip(L1)=0,151 kA
L Trafo spalla est B
L Trafo spalla ovest B
L 0,4 KV B Spall Est e Conca
0,4 kV
Ik''(L1)=27,515 kA
ip(L1)=60,552 kA
Ik''(L1)=0,079 kA
ip(L1)=0,195 kA
Ik''(L1)=27,714 kA
ip(L1)=60,990 kA
L 0,4 KV B utenze d.b. priv
0,4 kV
L 0,4 KV B utenze d.b. norm
0,4 kV
L 0,4 KV B Spall Ovest
0,4 kV
L utenze BT di bocca B P
L utenze di bocca B NP
L spalla est B P
Ik''(L1)=0,151 kA
ip(L1)=0,333 kA
L spalla est B NP
Ik''(L1)=0,146 kA
ip(L1)=0,322 kA
L spalla ovest B P
L spalla ovest B NP
L Trafo spalla sud B
Ik''(L1)=27,740 kA
ip(L1)=61,038 kA
L 0,4 KV B Spall Sud
0,4 kV
Ik''(L1)=27,478 kA
ip(L1)=60,461 kA
L spalla sud B NP
Ik''(L1)=0,231 kA
ip(L1)=0,508 kA
L spalla sud B P
Ik''(L1)=0,114 kA
ip(L1)=0,251 kA

G.5 Gausti in linea

RISPETTIVAMENTE AL 5%, AL 50% ED AL 95%.


Punto di consegna Enel di Brandolo
Punto di consegna Enel Sacca Fisola
Punto di consegna Enel di Cvallino
Chioggia
Malamocco
Lido
C 20 KV
20 kV
M 20 KV
20 kV
L 20 KV
20 kV
C 20-C 20 A
Ik"(L1)=13,688 kA
ip(L1)=37,644 kA
M 20-C 20 A
Ik"(L1)=7,059 kA
ip(L1)=13,407 kA
M 20-L 20 B
Ik"(L1)=6,710 kA
ip(L1)=12,615 kA
C 20-C 20 B
Ik"(L1)=13,688 kA
ip(L1)=37,644 kA
M 20-M 20 A
Ik"(L1)=7,079 kA
ip(L1)=13,492 kA
M 20-M 20 B
Ik"(L1)=7,079 kA
ip(L1)=13,492 kA
L 20-L 20 A
L 20-L 20 B
cong C20A-C20B
cong C20B-M20A
Ik"(L1)=12,090 kA
ip(L1)=29,273 kA
cong M20A-M20B
cong C20B-L20A
Ik"(L1)=6,676 kA
ip(L1)=12,543 kA
cong L20A-L20B
C 20 KV B
20 kV
M 20 KV A
20 kV
M 20 KV B
20 kV
L 20 KV A
20 kV
L 20 KV B
20 kV
Traf CA20-6
Traf CB20-6
Traf MA20-6
Traf MB20-6
Traf LA20-6
Traf LB20-6
C 6 KV A
6 kV
C 6 KV B
6 kV
M 6 KV A
6 kV
M 6 KV B
6 kV
L 6 KV A
6 kV
L 6 KV B
6 kV


Punto di consegna Enel di Brandolo
Punto di consegna Enel Sacca Fisola
Punto di consegna Enel di Cvallino
Chioggia
Malamocco
Lido
C 20 KV
20 kV
M 20 KV
20 kV
L 20 KV
20 kV
C 20 A-M 20
Ik"(L1)=7,793 kA
ip(L1)=15,009 kA
L 20 A-M 20
Ik"(L1)=4,940 kA
ip(L1)=8,818 kA
C 20-20A
C 20-20B
Ik"(L1)=13,221 kA
ip(L1)=34,917 kA
M 20-20A
Ik"(L1)=7,028 kA
ip(L1)=13,369 kA
M 20-20B
L 20-20A
Ik"(L1)=4,438 kA
ip(L1)=7,949 kA
L 20-20B
cong C20A-C20B
cong C20B-M20A
Ik"(L1)=7,816 kA
ip(L1)=15,070 kA
cong M20A-M20B
cong M20B-L20A
Ik"(L1)=4,813 kA
ip(L1)=8,554 kA
cong L20A-L20B
C 20 KV B
20 kV
M 20 KV A
20 kV
M 20 KV B
20 kV
L 20 KV A
20 kV
L 20 KV B
20 kV
Traf CA20-6
Traf CB20-6
Traf MA20-6
Traf MB20-6
Traf LA20-6
Traf LB20-6
C 6 KV A
6 kV
C 6 KV B
6 kV
M 6 KV A
6 kV
M 6 KV B
6 kV
L 6 KV A
6 kV
L 6 KV B
6 kV

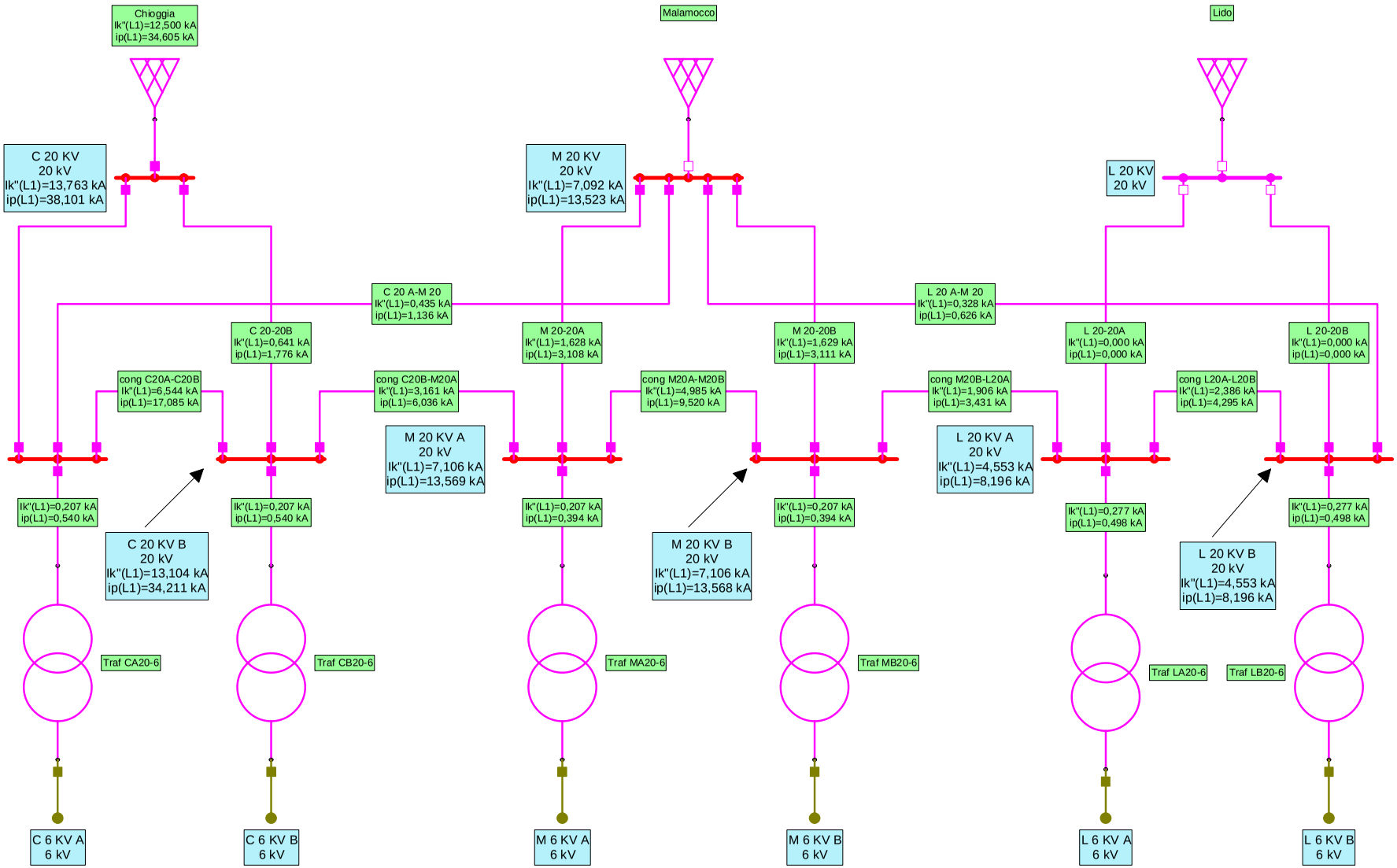

Punto di consegna Enel di Brandolo
Punto di consegna Enel Sacca Fisola
Punto di consegna Enel di Cvallino
Chioggia
Malamocco
Lido
C 20 KV
20 kV
M 20 KV
20 kV
L 20 KV
20 kV
C 20-C 20 A
Ik"(L1)=13,097 kA
M 20-C 20 A
Ik"(L1)=12,082 kA
M 20-L 20 B
Ik"(L1)=4,547 kA
C 20-C 20 B
Ik"(L1)=13,097 kA
M 20-M 20 A
Ik"(L1)=7,091 kA
M 20-M 20 B
Ik"(L1)=7,091 kA
L 20-L 20 A
L 20-L 20 B
cong C20A-C20B
cong C20B-M20A
Ik"(L1)=7,075 kA
cong M20A-M20B
cong C20B-L20A
Ik"(L1)=4,526 kA
cong L20A-L20B
C 20 KV B
20 kV
M 20 KV A
20 kV
M 20 KV B
20 kV
L 20 KV A
20 kV
L 20 KV B
20 kV
Traf CA20-6
Traf CB20-6
Traf MA20-6
Traf MB20-6
Traf LA20-6
Traf LB20-6
C 6 KV A
6 kV
C 6 KV B
6 kV
M 6 KV A
6 kV
M 6 KV B
6 kV
L 6 KV A
6 kV
L 6 KV B
6 kV

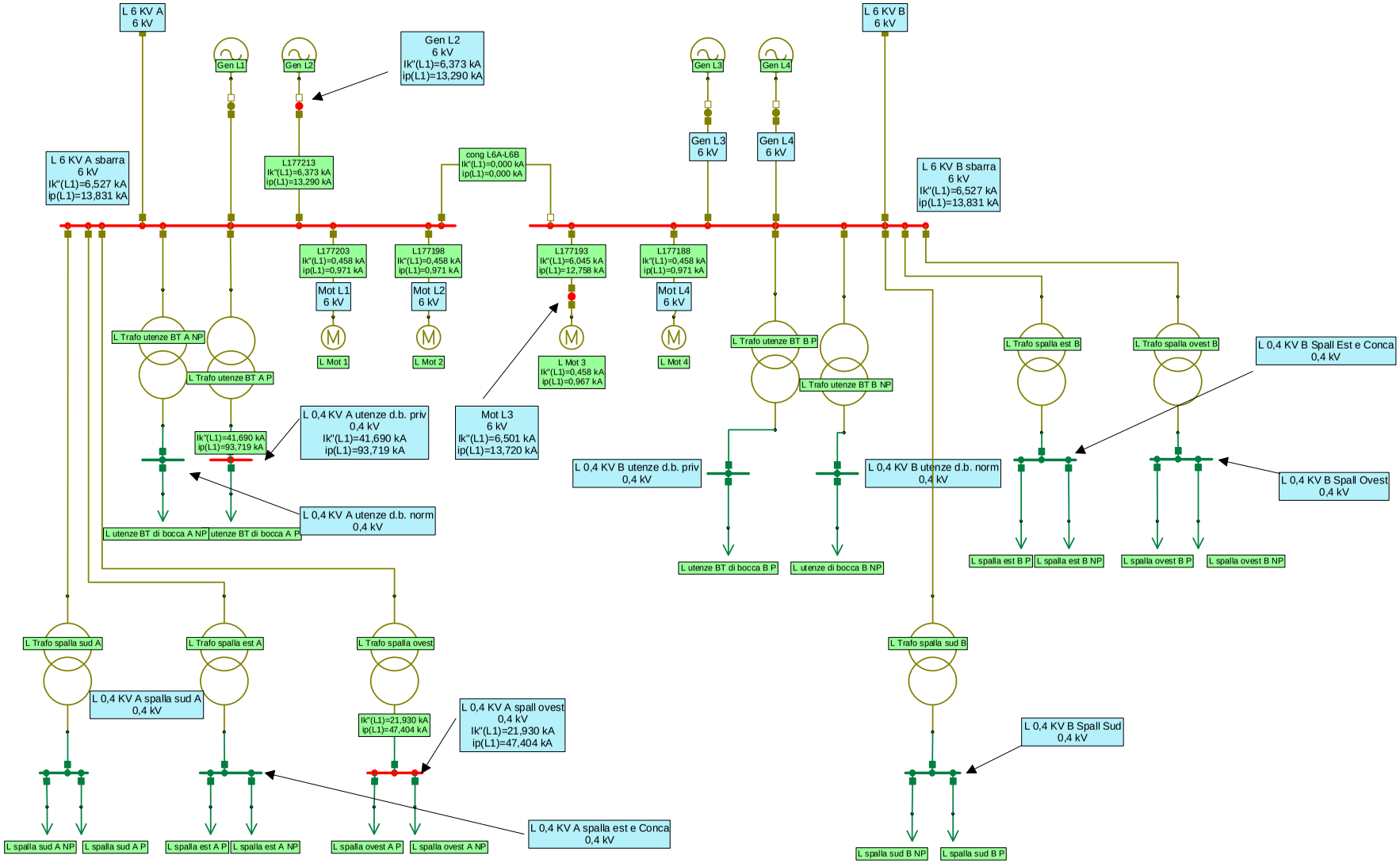
G.6 Correnti di corto circuito con rete magliata

Punto di consegna Enel di Brandolo

Punto di consegna Enel Sacca Fisola

Punto di consegna Enel di Cvallino




L 6 KV A
6 kV
Gen L1
Gen L2
Gen L2
6 kV
Ik''(L1)=6,373 kA
ip(L1)=13,290 kA
L 6 KV A sbarra
6 kV
Ik''(L1)=6,527 kA
ip(L1)=13,831 kA
L177213
Ik''(L1)=6,373 kA
ip(L1)=13,290 kA
cong L6A-L6B
Ik''(L1)=0,000 kA
ip(L1)=0,000 kA
L177203
Ik''(L1)=0,458 kA
ip(L1)=0,971 kA
L177198
Ik''(L1)=0,458 kA
ip(L1)=0,971 kA
L177193
Ik''(L1)=6,045 kA
ip(L1)=12,758 kA
L177188
Ik''(L1)=0,458 kA
ip(L1)=0,971 kA
Mot L1
6 kV
Mot L2
6 kV
Mot L4
6 kV
L Mot 1
L Mot 2
L Mot 3
Ik''(L1)=0,458 kA
ip(L1)=0,967 kA
L Mot 4
Mot L3
6 kV
Ik''(L1)=6,501 kA
ip(L1)=13,720 kA
Gen L3
Gen L4
Gen L3
6 kV
Gen L4
6 kV
L 6 KV B
6 kV
L 6 KV B sbarra
6 kV
Ik''(L1)=6,527 kA
ip(L1)=13,831 kA
L Trafo utenze BT A NP
L Trafo utenze BT A P
L Trafo utenze BT B P
L Trafo utenze BT B NP
L Trafo spalla est B
L Trafo spalla ovest B
L 0,4 KV B Spall Est e Conca
0,4 kV
Ik''(L1)=41,690 kA
ip(L1)=93,719 kA
L 0,4 KV A utenze d.b. priv
0,4 kV
Ik''(L1)=41,690 kA
ip(L1)=93,719 kA
L 0,4 KV B utenze d.b. priv
0,4 kV
L 0,4 KV B utenze d.b. norm
0,4 kV
L 0,4 KV B Spall Ovest
0,4 kV
L 0,4 KV A utenze d.b. norm
0,4 kV
L utenze BT di bocca A NP
utenze BT di bocca A P
L utenze BT di bocca B P
L utenze di bocca B NP
L spalla est B P
L spalla est B NP
L spalla ovest B P
L spalla ovest B NP
L Trafo spalla sud A
L Trafo spalla est A
L Trafo spalla ovest
L Trafo spalla sud B
L 0,4 KV A spalla sud A
0,4 kV
Ik''(L1)=21,930 kA
ip(L1)=47,404 kA
L 0,4 KV A spall ovest
0,4 kV
Ik''(L1)=21,930 kA
ip(L1)=47,404 kA
L 0,4 KV B Spall Sud
0,4 kV
L 0,4 KV A spalla est e Conca
0,4 kV
L spalla sud A NP
L spalla sud A P
L spalla est A P
L spalla est A NP
L spalla ovest A P
L spalla ovest A NP
L spalla sud B NP
L spalla sud B P

Ringraziamenti

Giunto al termine di questo lavoro e del mio corso di studi desidero ringraziare tutti coloro che mi hanno aiutato e sostenuto, in particolar modo:

- il professor Fellin, sempre cortese e disponibile, che mi ha fornito, anche quando le mie richieste pervenivano nei momenti meno adatti, chiare indicazioni e utili consigli nell' organizzare tutto il lavoro svolto; provvedendo infine ad una attenta e scrupolosa correzione dell'intero elaborato.
- la mia fidanzata, Francesca, che mi dona la felicità e l'entusiasmo da porre in ogni sfida della mia vita e che mi sostiene come nessun altro nei momenti più duri e difficili.
- i miei genitori e mia sorella che hanno sempre creduto fortemente, stimolandomi continuamente a seguire con interesse gli studi universitari.
- tutti i miei amici e compagni di corso.
- l' ing. Alberto Gandini della società Tecnital per avermi fornito sempre molto celermente tutto il materiale necessario alla realizzazione e alla buona riuscita di questa tesi.
- il professor Turri per la sua particolare disponibilità nel fornirmi utili indicazioni riguardanti il software Neplan.

Bibliografia

[1] Paulocci A., *Impianti elettrici* edito da: Cleup.

[2] Appunti dal corso di Impianti elettrici dell'a.a 2009/2010 tenuto dal prof. Fellin L.

[3] Progetti esecutivi del Sistema a Protezione della Laguna di Venezia denominati: "Interventi alle bocche lagunari per la regolazione dei flussi di marea" su gentile concessione a fini didattici del progettista Technital.

[4] Andriollo M.,Martinelli G.A., Morini A., *Macchine elettriche rotanti,* edito da: Libreria Internazionale Cortina.

[5] Catalogo motori della società ABB.

[6] Neplan versione 5.4.

[7] http://www.google.it/images?hl=it&source=imghp&biw=1280&bih=834&q=mose&gbv=2&aq=f&aqi=g10&aql=&oq=