

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA

FACOLTA' DI INGEGNERIA



CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA
ELETTROTECNICA

Protezione dell'impianto elettrico di alimentazione del Mo.S.E.

Relatore:
Prof: Roberto Turri

Laureando:
Mohammadi Visroudi Farzad

Correlatore:
Prof: Lorenzo Fellin

A.A. 2011/2012

INDICE

INTRODUZIONE	Pagina 2
Scopo.....	Pagina 2
Descrizione del sistema di protezione della laguna di Venezia	Pagina 3
Funzionamento	Pagina 5
Descrizione impianto elettrico	Pagina 6
CORRENTI DI CORTOCIRCUITO	Pagina 14
SPECIFICHE RICHIESTE PER IL SISTEMA DI PROTEZIONE E DESCRIZIONE DELLE SUE COMPONENTI	Pagina 27
SCELTA DELLE POSSIBILI PROTEZIONI COMMERCIALI	Pagina 38
SELETTIVITA'	Pagina 43
CONCLUSIONI	Pagina 46
RINGRAZIAMENTI	Pagina 55

INTRODUZIONE

Scopo

La normativa internazionale come pure il buon senso prevedono che qualsiasi tipologia d'impianto industriale, sia esso di tipo chimico, meccanico, di telecomunicazioni, idraulico o elettrico deve garantire durante l'intera vita la maggior affidabilità possibile e che nel momento in cui, a causa dell'usura dei suoi componenti o a causa di fattori esterni, dovesse guastarsi, gli effetti provocati dal guasto stesso rechino il minor danno possibile a tutti gli altri componenti non direttamente coinvolti.

L'intero sistema di protezione della laguna di Venezia, conosciuto anche come Mo.s.e., ideato per regolare i flussi di marea della laguna veneta, si può considerare benissimo un impianto di tipo industriale. Il suo funzionamento, come avremo modo di spiegare in seguito, è garantito dall'interazione di più impianti di natura diversa che potremo distinguere in impianto elettrico, idraulico, meccanico, pneumatico ecc.

Poiché il Mose rappresenta un'opera a tutela del territorio dove l'affidabilità è un parametro di fondamentale importanza, ognuno di questi impianti al suo interno dovrà rispondere alle caratteristiche sopra enunciate; lo scopo di questa tesi consiste proprio nella valutazione delle protezioni da utilizzare per preservare a seguito di eventi anomali l'impianto che più ci interessa visto l'ambito di studio di nostro interesse: l'impianto elettrico.

Il percorso tematico che ci si propone di seguire consiste in una breve parte introduttiva utile ad illustrare per sommi capi la fisionomia dell'intero impianto ed il suo funzionamento, un capitolo dedicato alle valutazioni dei valori delle correnti di corto circuito calcolate grazie ad un software commerciale Neplan, un capitolo dedicato alla valutazione delle specifiche richieste dal progettista per le protezioni ed infine, principale intento di questo lavoro, il dimensionamento di massima delle protezioni da utilizzare operando una scelta tra quelle disponibili commercialmente.

E' chiaro che trattandosi di un lavoro di tesi, sono stati trascurati tantissimi aspetti assolutamente essenziali in fase di progettazione come la scelta vera e propria delle protezioni; tuttavia, questo lavoro può dare un'idea di massima del delicato apparato di protezione dell'impianto elettrico evidenziando alcuni aspetti non molto comuni negli

impianti industriali.

Si segnala come questo lavoro di tesi si colloca in continuità con un precedente lavoro compiuto dallo studente Sandro Zambelli (che colgo l'occasione per ringraziare). In particolare si è potuto utilizzare lo stesso programma Neplan disponibile presso il dipartimento assumendo le impostazioni formulate da Zambelli e verificandone la corrispondenza.

Descrizione del sistema di protezione della laguna di Venezia

Venezia è una delle poche città al mondo che si erge su una moltitudine di piccole isole e palafitte caratteristica che la rende molto affascinante e quindi meta di turisti da tutto il mondo che vengono ad ammirarne la bellezza architettonica e il suo immenso patrimonio artistico culturale.

Sorgendo all'interno di una laguna connessa all'Adriatico, la sua sorte è sempre stata legata al mare, fonte di fortuna e maledizione allo stesso tempo; infatti, fin da tempi antichissimi, qualunque abitante di Venezia si è trovato a combattere contro l'invasione dell'acqua del mare che, in particolari circostanze, si eleva fino a trascinare le rive allagando ampi quartieri della città. Tale fenomeno, detto "acqua alta", ha registrato un notevole incremento nel corso degli anni sia in termini di altezza massima raggiunta dall'acqua che in termini di frequenza. Molte sono le cause accreditate e ipotizzate riguardo al suo inasprimento tra cui le principali legate ai mutamenti climatici avvenuti nell'ultimo secolo e al conseguente innalzamento dei mari che, sommato al naturale fenomeno della subsidenza del fondo lagunare, hanno ridotto drasticamente il margine di sicurezza, in termini di altezza delle rive, che garantiva in passato il regolare respiro della laguna al presentarsi di ogni marea.

Inoltre, un ulteriore contributo al fenomeno è venuto dalla forte espansione della zona industriale di porto Marghera con le sue relative infrastrutture portuali che hanno completamente mutato le correnti interne alla laguna utili a guidare e ad agevolare un regolare flusso e deflusso delle acque.

Vista l'insistenza del fenomeno, che ogni anno crea ingentissimi danni a un patrimonio culturale insostituibile, lo Stato italiano ha deciso di porvi rimedio sviluppando un progetto

conosciuto come "Progetto per la salvaguardia della laguna di Venezia" che dovrebbe estinguere il problema dell'acqua alta una volta giunto a completamento.

Gli interventi previsti vertono su più aspetti che coinvolgono una generale ristrutturazione della laguna; infatti, i principali lavori previsti riguardano il rifacimento dei moli foranei lungo tutte le coste adriatiche dei lidi ed in particolare nei pressi delle bocche che mettono in comunicazione il mare con la laguna, operazione che permetterà di smorzare le correnti di costa che spesso ostacolano il deflusso della marea premendo le acque marine contro la laguna. Un altro aspetto importante del progetto riguarda invece il rafforzamento e l'innalzamento di tutte le rive e banchine delle zone più basse che dovrebbe essere realizzato sostituendo vecchie fondamenta sprofondate nel corso degli anni con nuovi piloni di fondazione.

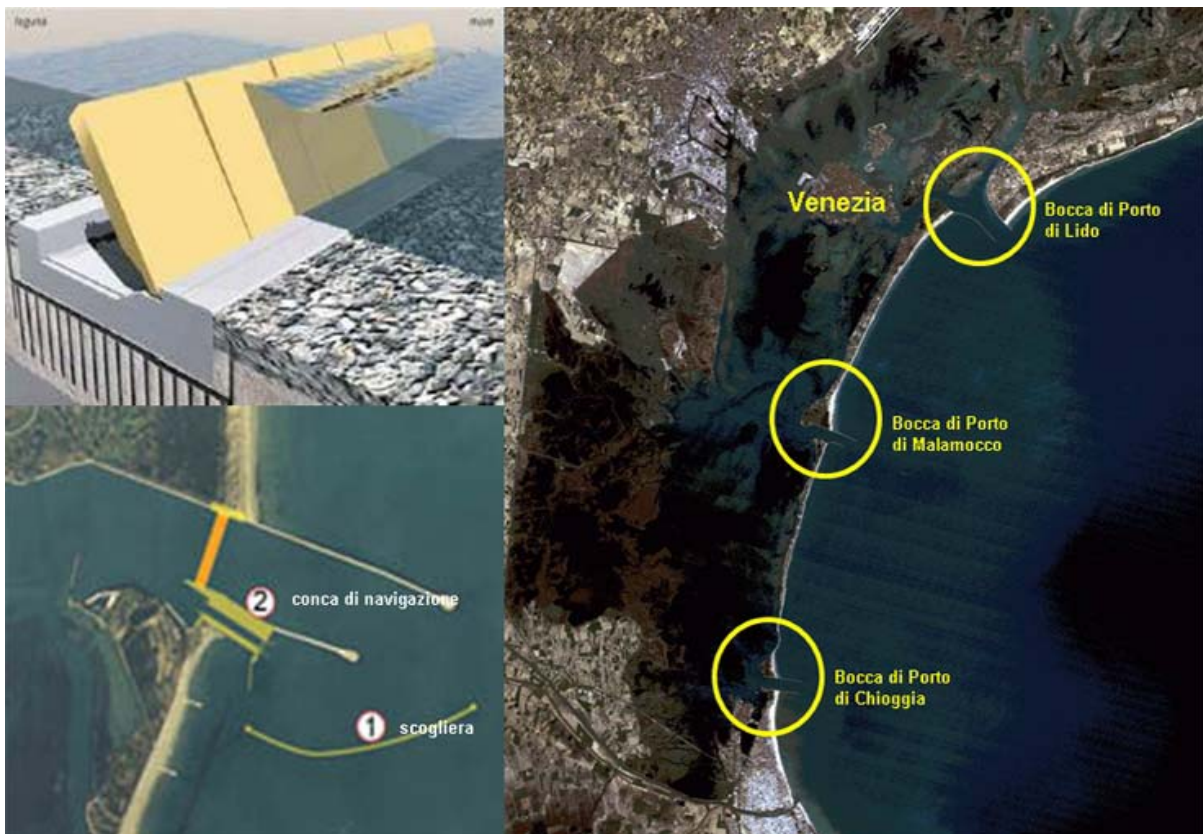


Immagine 1: rendering delle barriere del Mose.

Ciò che è conosciuto come M.O.S.E., acronimo di MODulo Sperimentale Elettromeccanico, è quindi solo un aspetto di un progetto più vasto, tuttavia può esserne considerato il cuore

poiché ricopre il ruolo molto importante di interrompere completamente e contemporaneamente il flusso di marea alle tre bocche nel caso in cui sia prevista acqua alta pericolosa, superiore cioè a 110 cm sullo zero mareografico di Punta Salute.

Lo sbarramento è costituito da una serie di moduli uniti tra loro contenenti delle paratoie mobili che normalmente sono adagiate sul fondale ma che in caso di necessità vengono fatte emergere in modo da garantire l'isolamento tra le acque del mare e della laguna fino a un dislivello massimo di metri.

Le paratoie sono previste in numero e in dimensioni diverse per le bocche di Lido Malamocco e Chioggia in base alla larghezza e alla profondità di ognuna di esse.

Il modulo base della schiera è formato da un cassone detto "di soglia" in calcestruzzo armato prefabbricato a terra e in seguito affondato e fissato ad un basamento creato appositamente sul fondale marino con un elevato numero di pali troncoconici conficcati per una quarantina di metri nel terreno che ne assicurano la staticità e la solidità.

Ogni cassone presenta un recesso entro cui sono ospitate le tre paratoie quando il sistema non è in funzione. Queste, costituite da una struttura modulare cava in acciaio, presentano una larghezza pari a 20m, uno spessore pari a 5m e un'altezza dipendente dalla profondità della bocca di porto su cui sono installate e vengono connesse al cassone tramite due gruppi cerniera-connettore attraverso cui fluiscono sia l'aria necessaria al loro funzionamento che i cavi necessari al controllo di posizione e regolazione delle valvole. I cassoni di soglia sono, a loro volta, tutti affiancati e connessi l'un l'altro in numero dipendente dalla larghezza di ogni rispettiva bocca (Lido Malamocco Chioggia) e si attestano sulla terra ferma a due torri dette cassoni di soglia che realizzano il punto di ancoraggio dell'intera schiera alle due rive. E' stata prevista inoltre la creazione di un'isola artificiale al centro della bocca di Lido poiché la larghezza risultava troppo elevata per essere coperta da un'unica schiera di paratoie.

In ogni bocca nei pressi di uno dei cassoni, è presente un'area, definita "Area impianti", dove sorgono più edifici che ospitano gli organi principali di tutti gli impianti elettrici meccanici e di telecontrollo che sono essenzialmente duplicati in due sezioni, sez. A e sez. B, segregate tra loro. Gli edifici principali presenti sono tre: il primo in cui sono contenuti i gruppi motore-compressore dediti alla produzione d'aria, il secondo invece in cui sono presenti i generatori ausiliari e infine il terzo in cui sono presenti tutti i trasformatori e le

apparecchiature elettriche per l'alimentazione e il controllo dei principali servizi ausiliari e dei motori stessi.

Il corretto funzionamento dell'intero impianto è garantito da un sistema di controllo centralizzato che invia a una sala di controllo locale, posta all'interno dell'edificio contenente le apparecchiature elettriche di ogni bocca, il consenso all'avvio della procedura di sollevamento delle paratoie e/o del loro abbattimento durante i momenti potenzialmente pericolosi.

Funzionamento

Le paratoie, in condizioni di non operatività, sono adagiate entro degli appositi recessi ricavati nei cassoni al fine di non ostacolare il normale flusso e deflusso giornaliero della marea che permette il ricambio d'acqua in laguna. Non appena, però, il mare raggiunge il livello di +110 cm sullo zero mareografico di Punta Salute inizia la fase di emersione: i compressori azionati dai motori elettrici cominciano a produrre aria alla pressione di 4 bar assoluti che attraverso i condotti provenienti dall'edificio compressori, viene convogliata all'interno delle paratoie entro un apposito settore situato nel lato opposto alle cerniere. Ciò permetterà di rendere massimo il momento dovuto alla spinta idrostatica creata dalla bolla d'aria in pressione, garantendo così una più facile e rapida rotazione della paratoia sulle cerniere.

Durante tutta questa fase che potremo definire di decollo, le paratoie vengono portate alla totale emersione a gruppi di quattro unità a partire da quelle adiacenti ai cassoni di spalla pompando al loro interno un volume d'aria pari a circa i due terzi del volume della loro cavità. Quando l'intera schiera di paratoie è emersa, essa viene portata alla posizione di lavoro considerata pari a 45° d'inclinazione nel verso concorde al flusso di marea crescente; posizione che prevede di poter far fronte, riempiendo d'aria i tre quarti del volume interno alla paratoia, a un dislivello mare-laguna di massimo 2m. E' questa la fase dove è richiesta la massima potenza poiché, in tempi relativamente brevi, vi è la necessità di fornire alla

schiera elevate portate d'aria alla pressione nominale di 4 bar; pressione quest'ultima necessaria a far fuoriuscire l'acqua contenuta all'interno della paratoia attraverso la valvola di scarico posta nei pressi della cerniera sulla quale chiaramente insiste un battente d'acqua dipendente dalla profondità di bocca e quindi un valore di pressione isostatica non indifferente.

Una volta portate in posizione le paratoie inseguono la marea grazie ad una regolazione del volume d'aria pompato al loro interno, nettamente inferiore a quello richiesto nella fase precedente, garantendo così la separazione tra il mar Adriatico e la laguna per tutto il periodo in cui è previsto il fenomeno dell'acqua alta.

Infine, nel momento in cui l'emergenza cessa e il dislivello mare laguna si annulla, le paratoie vengono fatte rientrare nei recessi annegandole tramite lo scarico di tutta l'aria in pressione presente al loro interno, che verrà fatta fuoriuscire dalle medesime tubature da cui era stata iniettata.

Descrizione dell'impianto elettrico

In questo paragrafo si vuole illustrare per sommi capi la struttura e le principali tipologie di gestione dell'impianto elettrico al fine di rendere più chiare e comprensibili tutte le successive valutazioni riguardanti i guasti e la relativa scelta delle protezioni.

L'impianto elettrico, come già precedentemente accennato, essendo parte fondamentale di un'opera per la tutela del territorio, deve garantire assoluta affidabilità e continuità di servizio anche nell'ipotesi di comuni cause di guasto o di fuori servizio di qualche suo elemento. Il progettista ha quindi previsto l'utilizzo di un impianto di tipo doppio radiale al fine di poter alimentare attraverso più vie distinte tutte le utenze necessarie a garantire il sicuro funzionamento delle paratoie. E' stata inoltre prevista anche la possibilità di rendere l'intero impianto completamente indipendente dalla RTN tramite generazione autonoma nel caso si presenti un black out generale.

Dalla descrizione del paragrafo precedente è facile intuire che il sistema richiede elevate potenze dislocate su tre aree (area impianti di ogni bocca) distinte e distanti circa una quindicina di chilometri l'una dall'altra, la logica con cui è stato progettato l'impianto

pertanto prevede tre punti di alimentazione, uno per bocca, dalla RTN e precisamente per le bocche di Chioggia, Malamocco e Lido dalle sottostazioni di proprietà di Enel Distribuzione rispettivamente di Brondolo, Sacca Fisola e Cavallino, tutte distanti non più di un chilometro dalla localizzazione dell'area impianti della bocca corrispondente.

L'impianto del Mose è stato progettato con quattro differenti livelli di tensione: un livello 20 kV in 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 in cui avviene l'alimentazione dei motori utilizzati per la compressione dell'aria e la generazione di potenza autonoma in caso di indisponibilità totale o parziale della RTN; un livello a 400 V a cui avviene l'alimentazione delle principali utenze ausiliarie in BT necessarie al funzionamento dell'intero sistema ed, infine, un livello a 230 V derivato dal sistema a 400 V che alimenta i banchi di batterie necessari a sostenere una minima capacità di continuità assoluta e tutte le utenze monofasi presenti nei vari edifici quali ad esempio luci, PC, piccoli motori.

Ogni bocca è stata divisa in due sezioni dette "A" e "B" di uguale capacità di carico e distinte, in normale esercizio, sia fisicamente che elettricamente a tutti i livelli di tensione al fine di poter garantire, almeno parzialmente, il servizio anche nell'ipotesi che una delle due sia coinvolta da gravi incidenti tali da renderla completamente inutilizzabile.

Nel livello 20 kV per ogni bocca sono presenti tre quadri in MT blindati e isolati mediante gas SF₆ in pressione: uno situato in prossimità del punto di consegna Enel gli altri due situati, all'interno della stessa bocca, negli edifici elettrici appartenenti alle due sezioni distinte dell'impianto.

Il quadro presente nella sottostazione alimenta attraverso due terne di cavi, posate in luoghi distinti, 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 posati per alcuni tratti in terra, per altri in mare e per i restanti in passerella entro cavidotti. Sono state predisposte, inoltre, delle linee d'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 tale anello venga utilizzato per veicolare energia da una sottostazione a un'altra sempre in modalità "aperto", cioè utilizzando le linee per contro-alimentare a sbalzo una bocca la cui sottostazione non sia più in grado di erogare potenza. Particolarmente utile per comprendere ancor meglio la topologia di rete è la figura 1 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.

Schema unifilare della rete di interconnessione a 20 kV

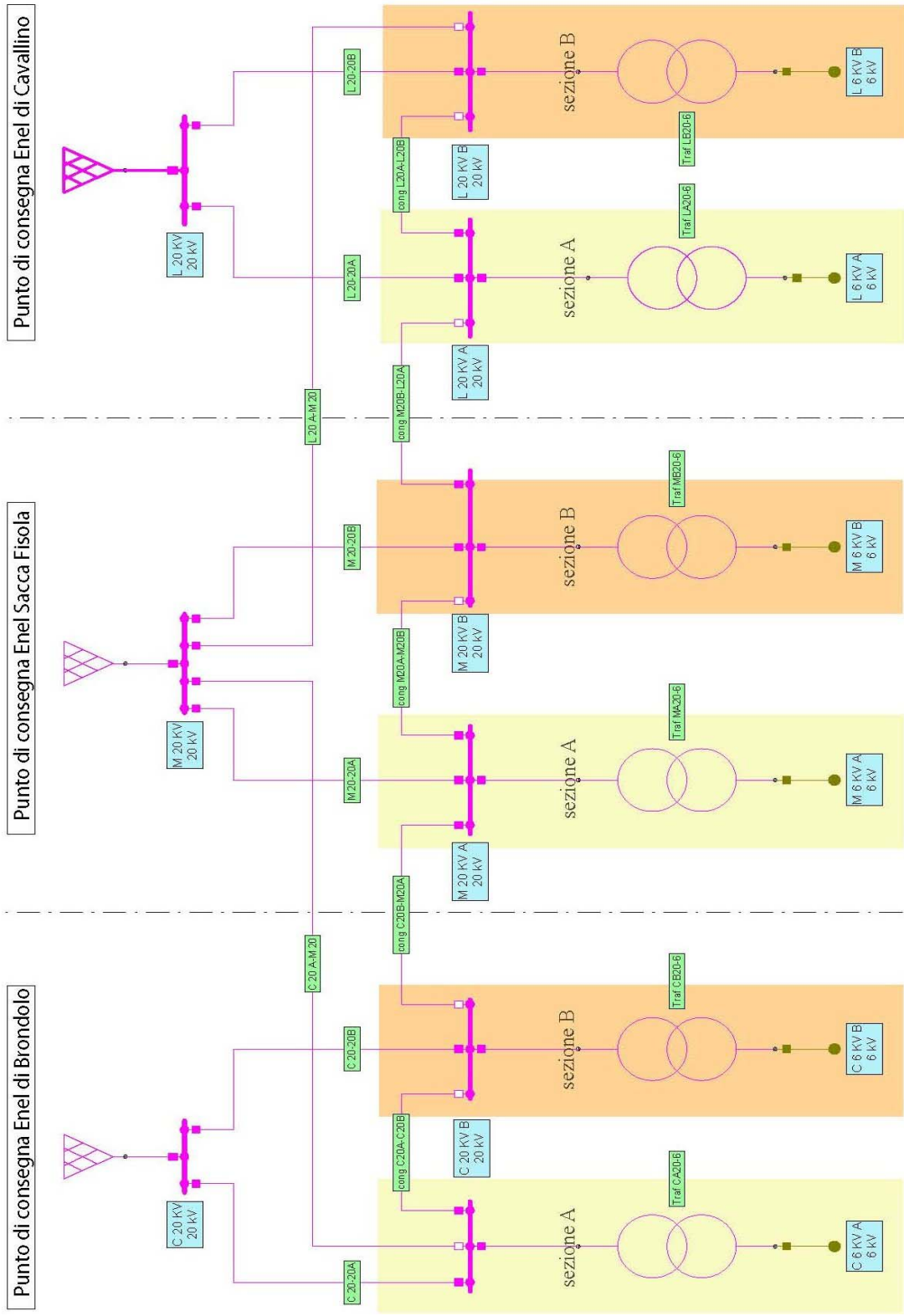


Figura 1: Schema unifilare 20 kV

La descrizione dei successivi livelli di tensione si è deciso di farla con riferimento alla sola bocca di Lido perché non è scopo di questo lavoro fornire dettagli descrittivi inerente ad ogni bocca, ma soprattutto perché la struttura e la logica di progettazione è la medesima per tutte le bocche.

Come già detto, ogni bocca prevede due sezioni che normalmente sono completamente indipendenti per i livelli di tensione inferiori ai 20 kV. Ogni di esse è infatti alimentata dal rispettivo quadro a 20 kV su cui è attestato il primario del trasformatore 20/6 kV che a sua volta alimenta al secondario il quadro a 6 kV, anch'esso di tipo blindato isolato in SF6 e a tenuta d'arco interno, formato da due sbarre dotate di congiuntore trasversale. Alle sbarre del quadro sono a loro volta attestate, mediante una forchetta e relativo interruttore, importanti e vitali utenze del Mose tra cui: i tre motori asincroni adibiti al pompaggio d'aria, i due generatori d'emergenza, le linee che alimentano i trasformatori di bassa tensione, i due reattori a zig-zag che permettono il rientro delle correnti omopolari nel caso di guasto dissimmetrico ed infine il congiuntore longitudinale con il quadro omologo 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 invece 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 in grado di alimentare 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 d'alloggio delle paratoie.

I due trasformatori da 3,15 MVA presenti in ogni sezione alimentano due quadri generali di distribuzione in bassa tensione detti Power Center : uno dedicato ai carichi privilegiati ritenuti cioè essenziali per le operazioni di sollevamento delle paratoie e l'altro riservato ai carichi non privilegiati ovvero carichi che normalmente sono connessi alla rete, ma che in caso di emergenza possono essere senza alcun problema disalimentati.

La scelta di alloggiare i tre trasformatori da 0,8 MVA nei locali elettrici di ogni cassone di spalla è dovuta alla necessità di rendere meno gravosa, in termini di cadute di tensione, la veicolazione dell'energia dall'edificio elettrico principale dove si trova il quadro a 6 kV.

Come nel caso dei trasformatori da 3,15 MVA, Tutti i secondari dei trasformatori di bassa tensione che si trovano nei cassoni di spalla alimentano dei Power Center dove però è previsto 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 e quelli della conca di navigazione nel caso della spalla ovest, sull'altra, invece, tutti i carichi non privilegiati. In caso di emergenza sarà sufficiente aprire l'interruttore di congiunzione delle due semi sbarre per disalimentare i carichi non privilegiati quindi non strettamente necessari.

Come nel caso del livello di tensione 20 kV, è disponibile in figura 2 lo schema unifilare della bocca di Lido che permette di rendere più chiara la breve descrizione appena svolta.

Schema unifilare della bocca di Lido

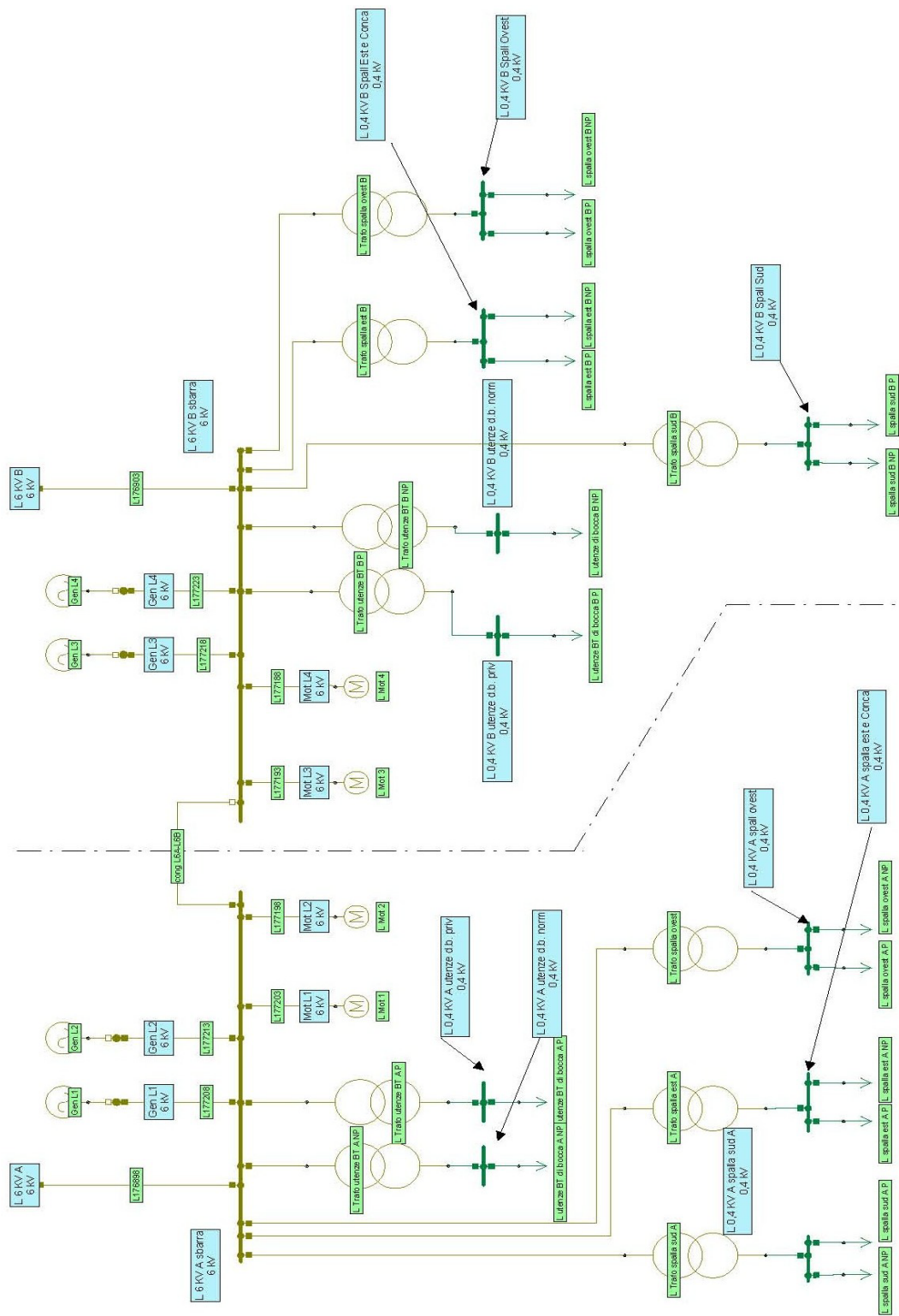


Figura 2: Schema unifilare bocca di Lido

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 normalmente 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 a ogni livello di tensione, permettendo di garantire, insieme all'anello in MT, un elevato numero di possibili configurazioni di rete in grado di isolare e bypassare anche più elementi contemporaneamente guasti.

CORRENTI DI CORTOCIRCUITO

La conoscenza dell'entità delle correnti di corto circuito è un aspetto fondamentale per orientarsi nella scelta delle protezioni da utilizzare nell'impianto, ragione per cui si è creduto valido, illustrare brevemente in questo capitolo i risultati del calcolo effettuato grazie all'ausilio di un software (Neplan).

Molti dei dati utilizzati per la simulazione sono stati tratti dai *datasheets* dei vari componenti dell'impianto forniti dal progettista mentre per i rimanenti si è fatto uso di valori indicati dalla norma CEI 11-25.

L'utilizzo di un software ha reso possibile una valutazione agile di diverse interessanti configurazioni topologiche di rete che in seguito presenteremo.

Nella pagine seguenti si distingueranno pertanto queste due configurazioni oltre ovviamente al caso di normale funzionamento dell'impianto. Per ognuna di esse verranno analizzati due parametri particolarmente interessanti:

I_k'' , valore efficace iniziale della componente simmetrica della corrente di corto (subtransitoria);

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

Lo scopo di questa tesi non è certamente quello di illustrare il funzionamento del software, tuttavia risulta interessante indicare per sommi capi come opera Neplan in base alle scelte effettuate dall'operatore. Il software simula il comportamento della rete in caso di guasto attraverso la teoria delle componenti simmetriche, prevedendo però 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 maniera 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 $(\chi = 1,02 + 0,98 e^{-3R/X})$ per la determinazione della corrente di picco ed anche per la corrente termicamente equivalente nei primi istanti di guasto. Nella seconda, invece, corrispondente al metodo delle sovrapposizioni, viene calcolata l'intensità delle correnti di cortocircuito 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.

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.

Infine, 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. Per dovere di completezza, va inoltre specificato 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 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, un contributo aggiuntivo dovuto ad ogni motore, per esempio di Lido, pari a circa 458 A. Tutti i carichi statici se pur connessi non vengono considerati dal software nell'analisi delle correnti di corto.

Per quanto concerne la potenza di corto circuito delle tre sottostazioni di alimentazione dell'impianto è stato considerato, in assenza di ulteriori dati più precisi, un valore pari a 433 MVA con $\cos\phi_i=0$ per la corrente di corto circuito trifase e una corrente di corto circuito monofase di 250 A.

Quando si prendono in considerazione i corti circuiti dissimmetrici è essenziale la conoscenza del comportamento della rete alla sequenza omopolare, pertanto è necessario conoscere lo stato del neutro per ogni livello di tensione presente nell'impianto: nel caso del Mose il livello a 20 kV viene esercito a neutro isolato e quindi con impedenza alla sequenza omopolare determinata esclusivamente dalla totale capacità verso terra di tutte le linee e tutti i quadri elettricamente connessi. Il valore di capacità che si può raggiungere in particolari assetti di rete non è assolutamente trascurabile poiché, essendo le linee di interconnessione tra le bocche mantenute sempre in tensione, l'intera porzione d'impianto connesso elettricamente può arrivare ad una lunghezza di una quarantina di chilometri. C'è da

considerare, inoltre, che tutte le connessioni tra quadri all'interno della stessa bocca e tra bocche adiacenti sono previste completamente in cavo quindi con valori di capacità chilometrica nettamente superiori rispetto ad una linea aerea. Si può quindi concludere che l'impedenza alla sequenza omopolare, generalmente molto elevata negli impianti a neutro isolato, risulta notevolmente ridotta con un incremento consistente della corrente omopolare che potrebbe, in caso di guasto di un cavo, introdurre potenziali pericoli.

Nel livello a 6 kV, invece, il progettista ha optato per vincolare la corrente direzionale di terra allo scopo di rendere un eventuale guasto fase-terra immediatamente identificabile dalle protezioni e per rendere molto agevole l'identificazione di eventuali guasti a terra dei motori e dei generatori presenti: è pertanto stato fissato un valore di corrente pari a 50A ottenibile mettendo a terra il neutro attraverso un'impedenza di opportuno valore che risulta pari a 77Ω . Tale operazione, però, essendo prevista la possibilità di funzionamento in isola di ogni bocca con l'utilizzo dei soli generatori ausiliari e dovendo comunque garantire anche in quest'ultima situazione la medesima messa a terra del neutro, non si è potuta fare semplicemente connettendo il centro stella del trasformatore a terra tramite l'impedenza considerata, ma si è bensì dovuto optare per l'utilizzo di reattori a zig-zag, in grado di creare un centro stella virtuale valido anche in caso di fuori servizio del trasformatore che logicamente è stato connesso a terra attraverso l'opportuna impedenza di 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 6/0,4 kV con la rete di terra dell'intero impianto di bocca.

Come già detto nell'introduzione, questa tesi non ha alcuna pretesa di sostituirsi alla progettazione e al dimensionamento delle protezioni ma semplicemente di porre qualche valutazione sulla filosofia adottata per proteggere l'impianto ed indicare tra le protezioni disponibili commercialmente quali potrebbero rispondere efficacemente ai requisiti voluti dal progettista. Sono state pertanto considerate tre configurazioni topologiche dell'impianto ritenute di particolare interesse per il nostro studio; per ognuna di esse saranno presi in considerazione l'intero livello a 20 kV di tutte le bocche e i livelli 6 e 0,4 kV per la sola bocca di Lido; semplificazione quest'ultima legittimata dal fatto che le protezioni, su richiesta dei progettisti, devono essere tutte rispondenti alle stesse caratteristiche, quindi comuni a tutte le

bocche e che, presso la bocca di Lido, sono installati i generatori ed i motori di potenza maggiore quindi anche la maggior potenza di cortocircuito e di conseguenza le condizioni più critiche da prendere in esame.

Procediamo quindi nell'analizzare la prima configurazione topologica presa in considerazione: si tratta del caso di guasto ad uno qualsiasi dei nodi dell'impianto durante il suo funzionamento in parallelo alla RTN, ovvero con due motori in funzione per ogni sezione di bocca e con i generatori ausiliari inseriti, situazione che genera la massima sollecitazioni sulla protezioni.

Il riepilogo dei valori viene riportato graficamente nello schema unifilare di figura 3 e 4 per i guasti trifase.

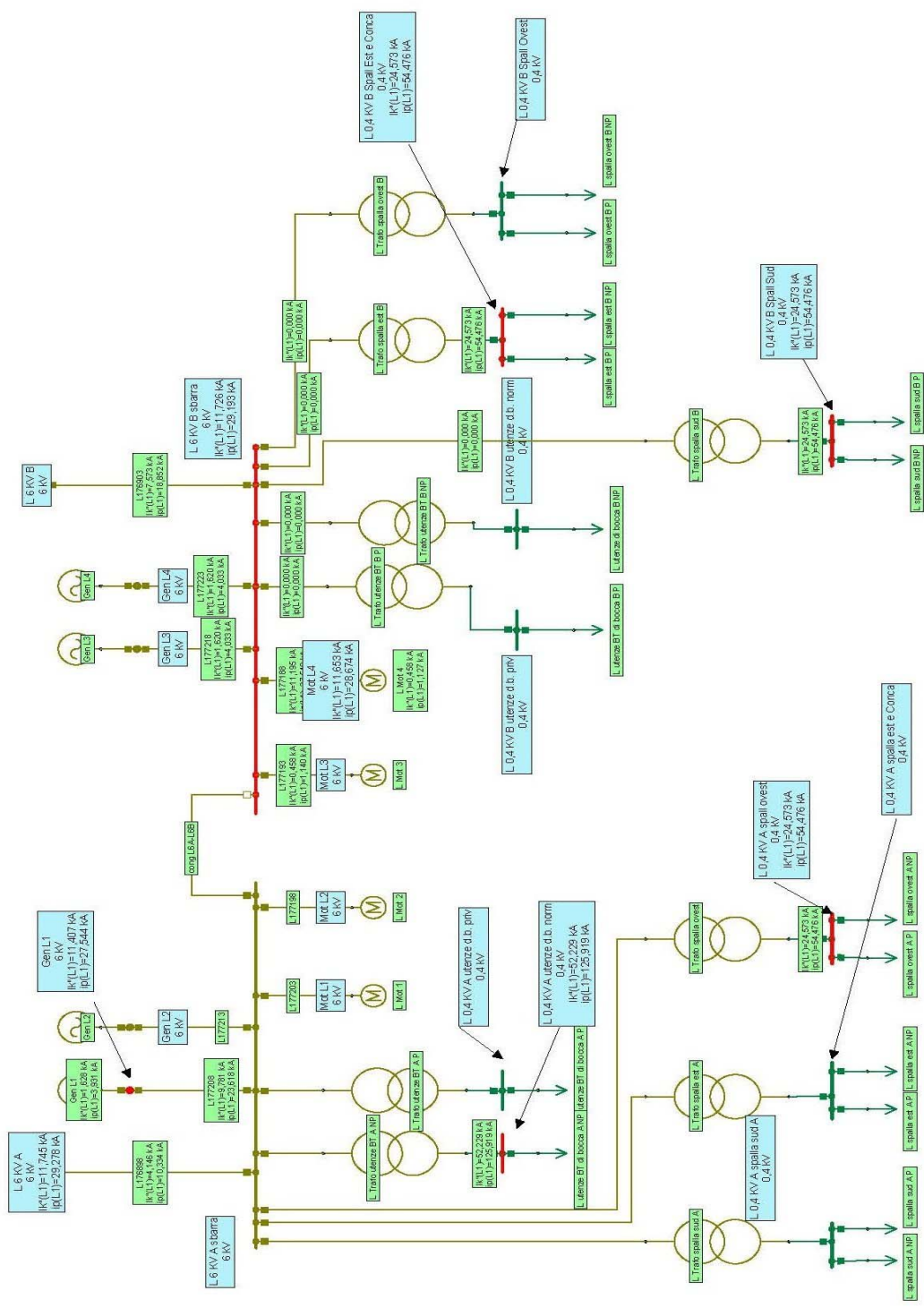


Figura 4: schema unifilare livello 6 e 0,4 kV di bocca di Lido riportante le massime correnti di cortocircuito trifase

Per eseguire, invece, una corretta valutazione dei corti monofase-terra, bisogna considerare, in condizioni di normale esercizio, che la porzione di rete a 20kV di Chioggia sia 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 C20B-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, infine, 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. I risultati, anche in questo caso, vengono illustrati graficamente in figura 5 per il livello 20 kV e in figura 6 per il livello 6 e 0,4 kV.

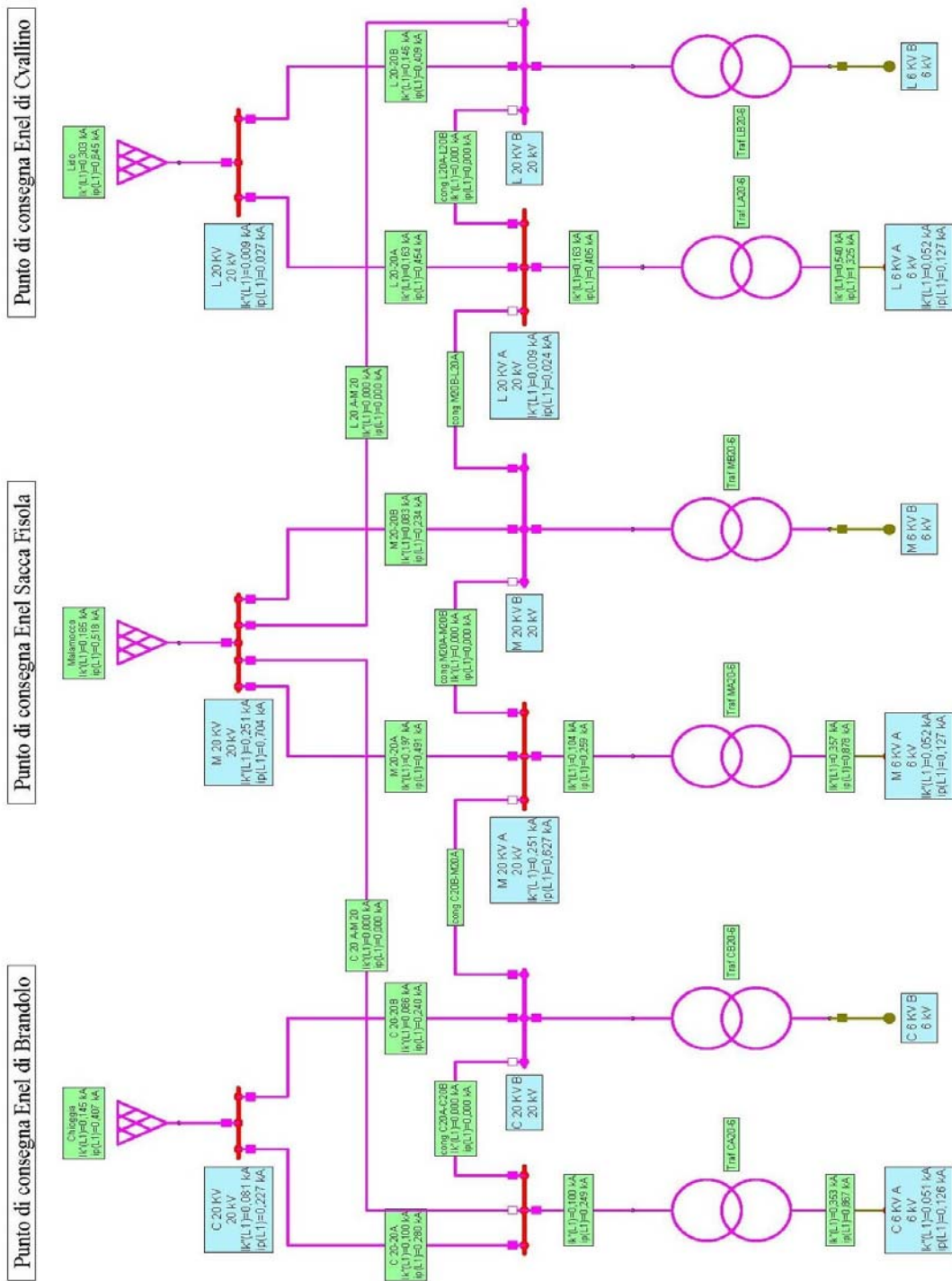


Figura 5: schema unifilare livello 20 kV riportante le massime correnti di cortocircuito monofase

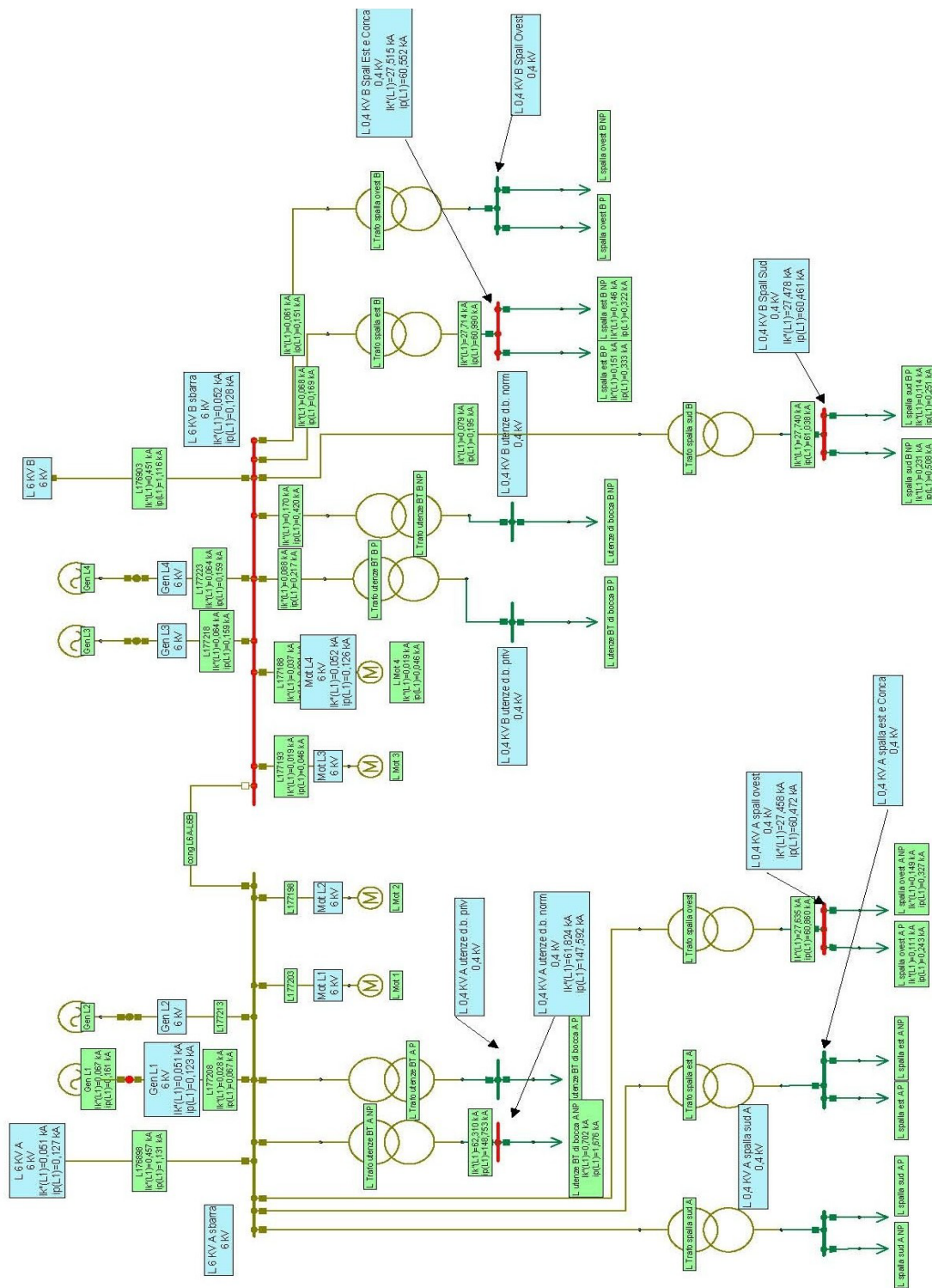


Figura 6: *schema unifilare del livello a 6 e 0,4 kV di bocca di Lido riportante le correnti di cortocircuito monofase*

Quando si vuole procedere alla scelta delle protezioni da utilizzare in un impianto, è necessario conoscere, oltre alle massime correnti di corto anche la massima corrente di regime permanente a rete sana, poiché l'interruttore dovrà essere dimensionato per essere in grado di sostenere il passaggio di tale corrente per un periodo di tempo illimitato.

Nell'impianto del Mose tale valore si raggiunge quando alle sbarre in media tensione sono connessi tre motori avviati ed a regime oltre ed uno in avviamento, e quando sono allacciate ai quadri BT tutte le utenze statiche della bocca.

I valori numerici sono ricavabili dallo studio dei flussi di potenza e sono brevemente ricapitolati graficamente, come nei casi precedenti, in figura 7 ed 8.

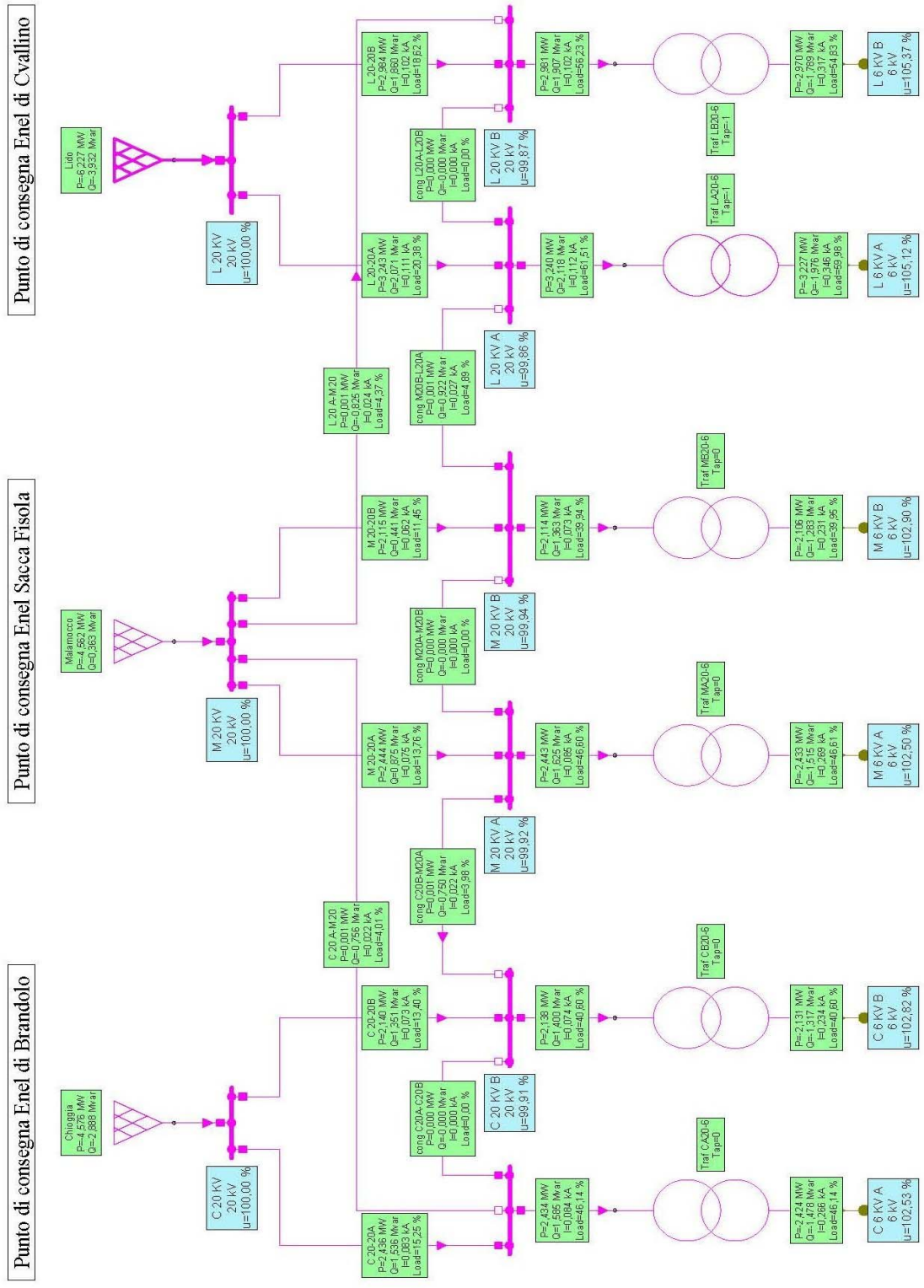


Figura 7: schema unifilare del livello 20 kV riportante lo studio dei flussi di potenza

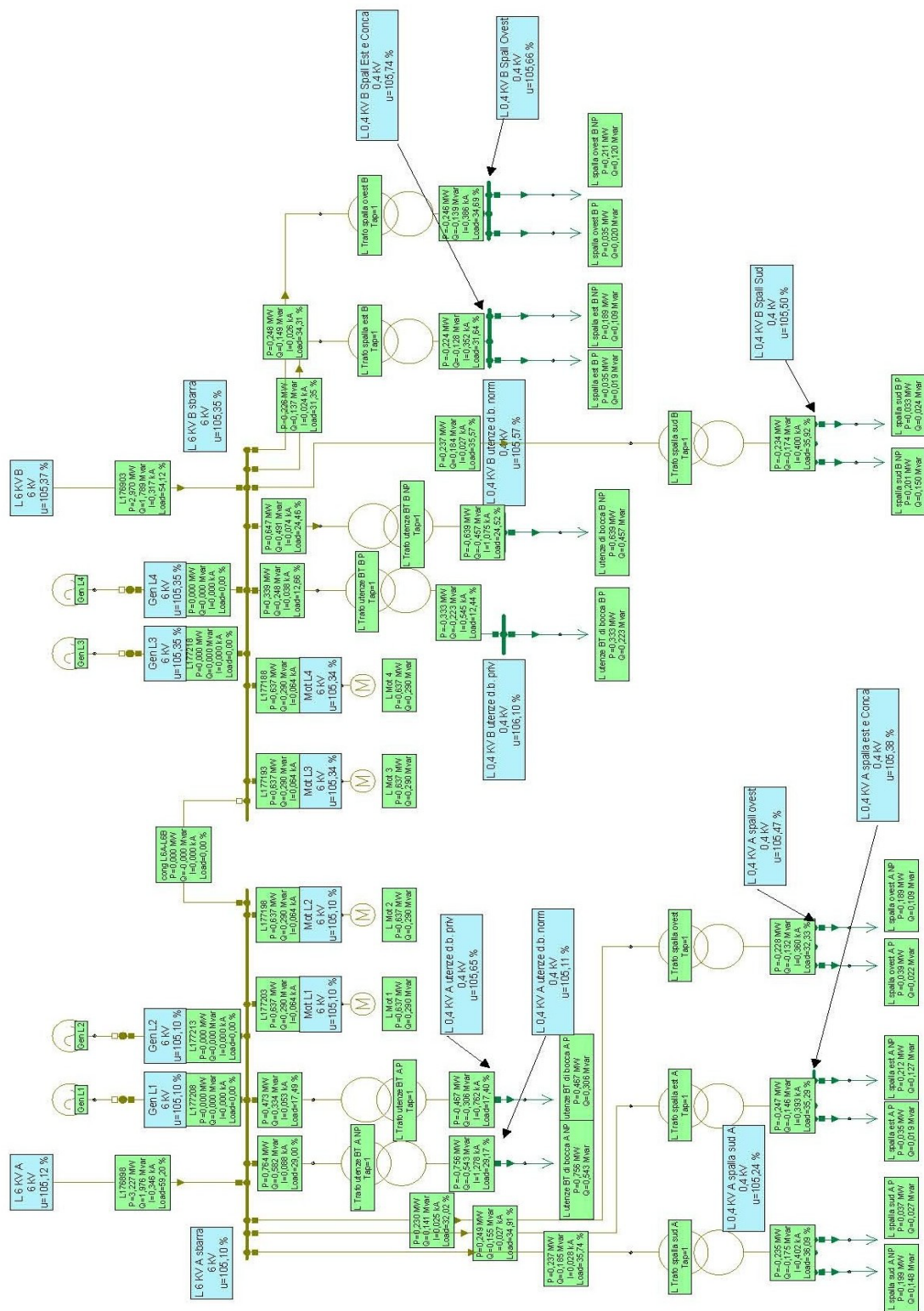


Figura 8: schema unifilare del livello a 6 e 0,4 kV riportante lo studio dei flussi di potenza

Infine, vi è un aspetto non affatto secondario da prendere in considerazione: essendo prevista l'erogazione del servizio anche con i generatori ausiliari in parallelo alla RTN in momenti in cui quest'ultima si trovi in una condizione di forte sovraccarico, è facilmente intuibile che un eventuale guasto che avvenisse con questa configurazione di rete risulta essere alimentato da più vie in parallelo. La corrente, che si distribuirà sulle due vie (quella proveniente dalla cabina di alimentazione e quella proveniente dai generatori) in ragione inversamente proporzionale alle loro impedenze, dovrà essere interrotta contemporaneamente dai due interruttori preposti, perciò sarà necessario porre particolare attenzione nella taratura della curva d'intervento delle protezioni, aspetto di cui ci occuperemo nei capitoli successivi.

SPECIFICHE RICHIESTE PER IL SISTEMA DI PROTEZIONE E DESCRIZIONE DELLE SUE COMPONENTI

La progettazione delle protezioni di un impianto elettrico ed il dimensionamento di tutti gli organi preposti alla sua gestione è un aspetto fondamentale per garantire longevità a tutti i componenti ed una certa affidabilità nell'erogazione dello servizio.

Si è deciso pertanto di illustrare brevemente l'architettura delle protezioni previste dal progettista e la filosofia con cui vengono gestite.

Si può dire che tutti gli organi di manovra e di estinzione dei guasti sono racchiusi in quadri posti ad ogni livello di tensione su cui sono attestate tutte le varie utenze, i trasformatori, i motori ed i generatori. Nell'impianto sono previste principalmente due tipologie di quadri: uno per MT, 6 e 20 kV blindato e isolato in SF₆, e un'altro per la BT isolato in aria, che descriveremo brevemente in seguito.

QUADRO IN MT IN SF₆

I quadri di MT previsti sono del tipo blindato con isolamento realizzato in SF₆ in pressione che permette di ridurre notevolmente le dimensioni del quadro rispetto ad uno uguale isolato in aria.

Essendoci nell'impianto due livelli di MT, il progettista ha previsto l'utilizzo di due quadri diversi nelle loro caratteristiche di isolamento ma strutturati allo stesso modo e in grado di resistere alle stesse sollecitazioni termiche e meccaniche. Infatti, se per il livello 20 kV sono previsti isolamenti per tensioni fino a 24 kV in servizio continuato, 50 kV per un secondo e 125 kV ad impulso, e per il livello 6 kV, 12 kV in servizio continuato, 28 kV per un secondo e 75 kV ad impulso, per quanto riguarda i massimi valori di corrente che il quadro deve

sopportare senza danneggiarsi sono i medesimi per entrambi i livelli di tensione e più precisamente: 1250 A in servizio continuato, 50 kA per correnti di breve durata e 20 kA per correnti d'arco interno.

La struttura richiesta è del tipo modulare in modo da garantire espansioni future del quadro con relativa facilità. Ogni modulo, inoltre, deve essere costituito a sua volta da celle segregate tra loro destinate a funzioni diverse e particolarmente: una cella, posta sulla parte anteriore del quadro, dedicata all'interruttore, una cella dedicata ad arrivo dei cavi sulla parte posteriore, una cella in cui sono allocate tutte le apparecchiature ausiliari dedite alla protezione e gestione d'impianto ed infine una quarta cella contenente il sistema di sbarre (unico nei quadri a 20 kV doppio nei quadri a 6 kV) isolata in SF6 in pressione e resa continua attraverso tutto il quadro tramite innesti di moduli adiacenti.

Grazie a questa suddivisione di ogni modulo è possibile garantire la massima continuità di servizio del quadro, poiché l'operatore può tranquillamente operare su un modulo guasto anche con la sbarra in tensione essendo completamente isolata nella sua cella anche ad interruttore o ad apparecchiatura di protezione estratti. A tal scopo, per rendere massima la sicurezza il progettista ha anche previsto diversi tipi di interblocchi meccanici montati sul quadro che evitano manovre errate e potenzialmente pericolose da parte dell'operatore. Sarà, infatti, possibile l'accesso al modulo esclusivamente quando l'interruttore è aperto ed il sezionatore dell'utenza in arrivo/partenza chiusa e nella posizione di messa a terra, mentre la richiusura dell'interruttore potrà avvenire solo una volta che verrà richiusa la porta di accesso e che i sezionatori siano richiusi sulla linea.

Questa tesi, visto l'ambito di interesse, si occuperà dell'analisi di due celle: quella dell'interruttore e quella delle apparecchiature di protezione e gestione dell'impianto, al fine di rendere più chiara anche la logica di funzionamento prevista dal progettista.

Gli interruttori previsti sono di tipo tripolare con camera di estinzione dell'arco riempita in SF6 in pressione e sono previsti in taglie diverse per quelli destinati ai quadri a 6 kV e quelli previsti per i quadri a 20 kV. Ad entrambe le tipologie è richiesto, chiaramente, di essere in grado di eseguire apertura e chiusura di manovra comandabile sia da locale che da remoto, oltre, ovviamente, ad essere in grado di intervenire su richiesta di aperture da parte delle protezioni e in caso di anomalie interne all'interruttore stesso. Aggiuntivamente, a scopo

cautelativo, il progettista ha previsto un'ulteriore misura di sicurezza richiedendo che l'interruttore sia dotato internamente anche di circuiti indipendenti che permettono la sua chiusura, l'apertura sulla minima tensione e l'apertura in caso di anomalia interna anche in assenza di tensione nei circuiti ausiliari.

Inoltre per tutti i servizi di diagnostica principali sull'interruttore, ovvero la pressione del gas della camera di estinzione, le sovrappressioni che vi si creano durante la fase di estinzione dell'arco e lo stato di carica del dispositivo che aziona i contatti mobili (molle precaricate normalmente con servomotore), è d'obbligo che il segnale associato al loro stato sia inviato al concentratore di quadro ma che possa anche essere verificato localmente sul quadro tramite letture su strumenti di tipo meccanico. Analogo discorso vale per lo stato dell'interruttore del quale è richiesto conoscere, sia da remoto che localmente, se sia aperto o chiuso.

Ogni interruttore, pertanto, dovrà essere dotato di circuiti ausiliari in numero sufficienti ad effettuare tutti i servizi di diagnostica sull'interruttore stesso e per ricevere il comando di apertura e chiusura.

L'apertura è affidata a due bobine distinte che operano la funzione di sganciatore per il sistema a molle e che sono a loro volta comandate da un unico segnale proveniente dall'UPCM o dal servizio di diagnostica dell'interruttore qualora uno dei parametri suddetti superi i valori di riferimento rischiando di compromettere l'efficacia del servizio in caso di bisogno. La ridondanza delle bobine è necessaria per assicurare l'intervento dell'interruttore anche con guasto di uno dei due sganciatori.

Per quanto riguarda l'apertura, invece, si fa uso di una unica bobina sganciatrice che può essere controllata anche essa sia localmente che da remoto, previo, però, controllo sulle condizioni dell'interruttore, sulla motivazione della precedente apertura e sul funzionamento dell'impianto al momento della richiesta.

Nell'impianto la funzione di protezione di un'utenza è svolta oltre che dall'interruttore vero e proprio appena descritto anche da una serie di componenti analogico digitali che, acquisendo valori caratteristici di rete, tipicamente tensione, corrente e frequenza, devono essere in grado di rilevare eventuali livelli anomali di tali parametri corrispondenti a malfunzionamenti o guasti interni all'impianto e quindi comandare la bobina che apre l'interruttore.

Come già detto, è previsto che tutte le apparecchiature siano raggruppate all'interno di una cella loro dedicata posta sulla parte superiore di ogni modulo del quadro. È parso interessante descrivere brevemente il suo contenuto e l'interazione di tutti i componenti poiché ciò aiuta a comprendere in parte la filosofia di gestione di protezione dell'intero impianto.

Tutte le apparecchiature sono essenzialmente distinguibili in quattro-cinque blocchi distinti che interagiscono tra loro attraverso i segnali discreti (1 o 0) e attraverso porte logiche che permettono di combinarli.

Il primo blocco, facilmente distinguibile e comune a tutti i moduli del quadro, è l'Unità di Protezione e Controllo a Microprocessore (UPCM) dell'interruttore.

L'UPCM viene alimentato attraverso più vie: o attraverso un trasformatore di corrente dalla linea stessa o da una sorgente esterna derivata da altri punti della rete o ancora mediante batterie al fine di garantire la sua operatività anche in caso di fuori servizio dell'intero quadro. L'unità riceve in ingresso i parametri di rete (tensione, corrente e la frequenza) mediante un trasformatore di misura di tensione a tre avvolgimenti caratterizzato dall'aver primario a stella, secondario a stella e terziario a triangolo aperto in modo da poter individuare eventuali squilibri sulla terna di tensioni e mediante un trasformatore di misura di corrente caratterizzato dall'essere in grado di misurare correnti di molto superiori alle correnti nominali come possono essere le correnti di guasto.

All'interno di un UPCM sono installate tutte le protezioni previste per l'utenza attestata sul modulo che quando i valori rilevati del sistema di misura non rispettano più un solo limite impostato in ogni protezione, inviano un segnale che aziona istantaneamente gli sganciatori di apertura dell'interruttore inibendo allo stesso tempo quelli di chiusura. Lo stesso segnale viene inviato quindi ad altre unità fondamentali quali il concentratore di quadro e il sistema di controllo centrale da dove si potrà visualizzare l'avvenuto intervento della protezione interessata.

Le tipologie di protezione installate variano chiaramente in base all'utenza da proteggere, tuttavia se ne possono individuare almeno quattro comuni a tutti i moduli: la protezione di massima corrente istantanea (50), la protezione di massima corrente (51) e le protezioni da guasti a terra (50N, 51N). nel caso in cui l'utenza alimentata sia una macchina, UPCS viene dotato di un'ulteriore entrata per la verifica dei limiti termici di funzionamento e ovviamente

anche di diverse altre funzioni aggiuntive di protezione più specifiche che elencheremo in seguito con l'utilizzo di codici i cui significati sono riportati in tabella.

-Trasformatore: lato primario: 27

lato secondario: 27, 59

-Motore: 46, 49, 51LR, 66

-Generatore: 25 in connessione con UPCM del modulo di misura di sbarra e il modulo degli altri generatori .

-Interconnessione con linea in cavo a 20kV: 25, 27, 59Vo

Codice ansi	Funzione di protezione
3	Supervisione continuata bobina
25	Controllo di sincronismo
27	Minima tensione istantanea
46	Carico squilibrato
49	Protezione di sovraccarico termico
50	Massima corrente istantanea
51	Massima corrente alta
50N	Guasto a terra
51N	Guasto a terra
51LR	Blocco rotore
59Vo	Massima tensione istantanea
66	Numero di avviamenti
67	Massima corrente direzionale alta
67N	Guasto a terra direzionale alto
86	Rete di blocco

Tabella codici

Particolarmente interessanti tra le precedenti è la protezione di tipo 27, minima tensione istantanea, che permette di realizzare importanti interblocchi quali ad esempio permettere la chiusura di un interruttore di connessione tra due distinte bocche o tra due distinte sezioni A e B all'interno della stessa bocca, solo ed esclusivamente se ad uno dei suoi terminali non è presente tensione; o ancora, non permettere la chiusura dell'interruttore posto al primario di un trasformatore se il secondario non è fuori tensione e con l'interruttore aperto e così via. Il secondo blocco, presente anch'esso in tutti i blocchi, è il dispositivo di diagnostica delle condizioni dell'interruttore che dà il consenso al normale utilizzo di quest'ultimo (logica attiva) qualora non si presentino anomalie al suo interno, e che in caso contrario apre istantaneamente l'interruttore e segnala l'anomalia riscontrata al concentratore di quadro e al sistema di controllo principale dove apparirà segnalata indisponibilità dell'interruttore stesso. Il blocco rappresentato dal concentratore, invece, è unico per ogni quadro e rappresenta l'organo a cui vengono inviati tutti i segnali provenienti dai vari moduli. Tali segnali vengono quindi elaborati al suo interno per poi essere inviati al sistema di controllo centralizzato con il quale il concentratore è connesso sia via seriale che attraverso cablaggio diretto. L'elaborazione dei dati è affidata ad un PLC ridondato ad alta affidabilità all'interno del quale il progettista ha previsto anche l'utilizzazione di un dispositivo di registrazione temporale di tutti gli eventi che avvengono nel quadro la fine di poter analizzare posticipatamente eventuali anomalie avvenuti durante l'esercizio. Infine, il sistema di controllo centralizzato o PCS è l'organo che permette ad un operatore, attraverso un interfaccia uomo macchina, di controllare da remoto lo stato di ogni interruttore e di comandarne l'apertura o la chiusura e quindi in definitiva di controllare l'intero impianto elettrico del M.O.S.E.

Per rendere più chiara la descrizione precedente si è deciso di allegare uno schema logico delle apparecchiature presenti su un modulo di un quadro a 20 kV ed uno relativo ad un modulo di un quadro a 6 kV.

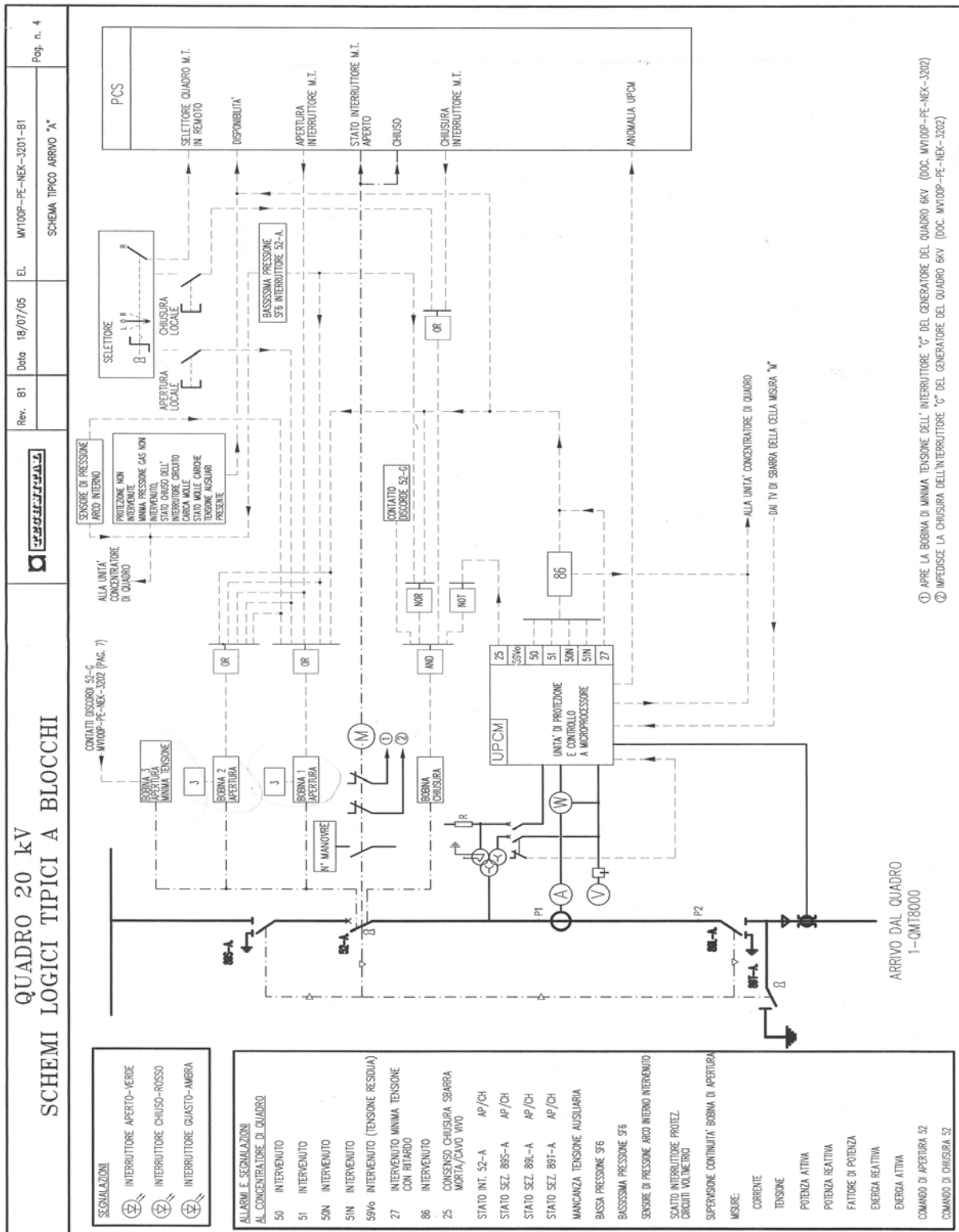


Figura 9: schema logico di funzionamento delle protezioni di un modulo del quadro a 20 kV

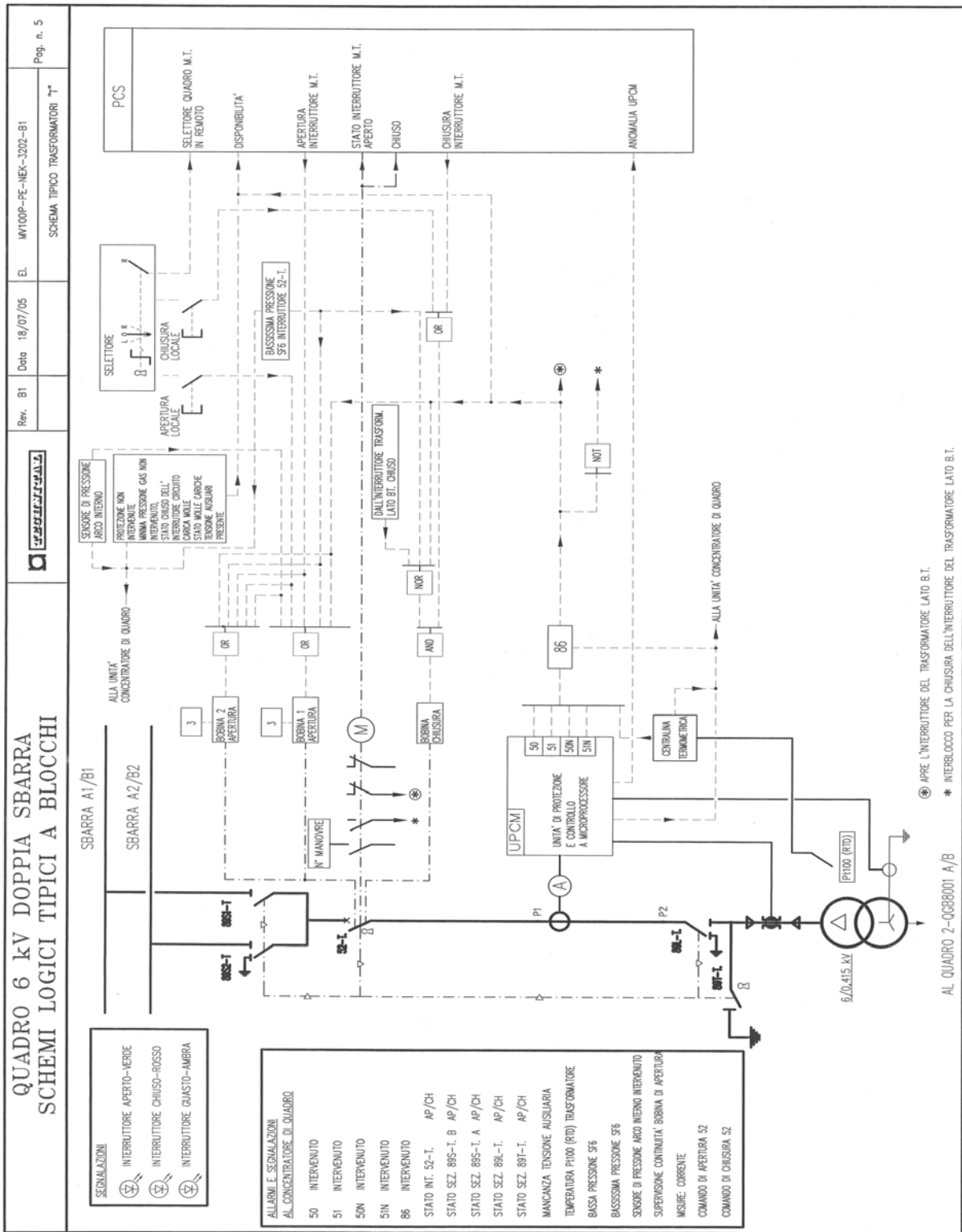


Figura 10: schema logico di funzionamento delle protezioni di un modulo del quadro a 6 kV

QUADRO PER BT ISOLATI IN ARIA

I quadri in BT sono costituiti da un insieme continuo di unità modulari, unite l'una all'altra a formare una struttura rigida entro cui sono alloggiati, in zone segregate fra loro, gli organi di interruzione e manovra, le apparecchiature di controllo e le sbarre di distribuzione.

Ogni unità modulare è composta da profilati a C in acciaio che formano la struttura portante del quadro, il quale viene rivestito, a sua volta, da pannelli di lamiera utilizzati per creare le tre zone distinte suddette e la segregazione di tutti gli organi interni con l'esterno in modo che qualsiasi parte in tensione risulti completamente interdotta a contatti diretti o indiretti.

L'adozione di pannelli con struttura a C modulari è stata richiesta dal progettista principalmente per rendere agevole l'installazione di interruttori di tipo estraibile facilmente sostituibili anche senza mettere fuori servizio l'intero quadro. Infatti è possibile, grazie a degli otturatori posti sulle parti fisse del quadro quando un interruttore è estratto, mantenere il quadro in tensione ed operare sul modulo in manutenzione poiché risulta completamente segregato da quelli adiacenti e dalla sbarra comune in tensione.

Questa tecnica, oltre che per ragioni di continuità di servizio è stata adattata per rendere agevoli futuri ampliamenti, ma anche per permettere di associare ogni funzione del quadro ad un modulo stagno (ad esempio; arrivo del trasformatore, partenza per le i-esima utenza, connessione con il quadro gemello della sezione adiacente, ecc,) allo scopo di evitare che un eventuale guasto (arco interno) coinvolga parti estese del quadro e quindi più moduli.

Nella zona apparecchiatura, posta sulla parte frontale del quadro, sono presenti tutti i dispositivi di interruzione e comando dell'utenza testata sul modulo stesso. Quelle previste, variabili in base alla funzione del modulo si possono dividere essenzialmente in tre categorie: apparecchiature per il rilevamento dei valori di rete, tipicamente tensione e corrente, apparecchiature per la trasmissione e ricezione dei dati al centro di controllo unico gestito da remoto e, infine, dagli organi di interruzione e sezionamento veri e propri.

Le apparecchiature per rilevamento dei dati di rete sono composte da un riduttore di corrente del tipo isolato in aria per una tensione massima di 690 V e una corrente nominale secondaria di 5 A, in grado di misurare in classe 0,5 fino a 10 VA, e da un riduttore di tensione anche esso isolato in aria con tensione massima di isolamento di 690V e rapporto di trasformazione

400/100 predisposto anche esso per misurare fino a 10 VA in classe 5P. Entrambi i dispositivi vengono utilizzati su tutti i quadri in bassa tensione, sempre allo scopo di rendere agevole la sostituzione in caso di guasto ad uno di essi.

Queste apparecchiature permettono, quindi, di mantenere continuamente monitorato, sia dal quadro, cioè in modalità locale, sia da remoto, l'andamento delle tensioni e delle correnti da parte dell'operatore, ma, soprattutto, permettono di realizzare opportuni interblocchi che evitano di violare il vincolo di chiusura di un interruttore quando almeno una delle tensioni ai suoi terminali non sia nullo. Gli interruttori in BT, adibiti all'interruzione dei cortocircuiti e alle manovre di rete, sono previsti dal progettista in tre tipologie: aperti per correnti nominali oltre 1250 A, scatolati per correnti fino a 1250 A e modulari per correnti inferiori a 63 A.

Gli interruttori aperti richiesti dal progettista devono essere completamente estraibili dal quadro rimuovendo il pannello frontale dello stesso e dovranno poter assumere tre posizioni:

-inserito: tutti i circuiti principali di potenza e secondari collegati ed in funzione.

-estratto: tutti i circuiti principali di potenza e secondari scollegati ma con interruttore ancora inserito nella cella.

-rimosso: tutti i circuiti scollegati e l'interruttore estratto dalla cella.

In quest'ultimo caso è prevista la completa segregazione delle parti fisse in tensione all'interno della cella e l'interruttore, una volta estratto, dovrà risultare interamente ispezionabile specie nella camera di estinzione dell'arco al fine di rendere più agevole la verifica dello stato di usura dei contatti mobili.

Il progettista ha, inoltre, previsto che il meccanismo di comando di apertura e richiusura rapida debba essere del tipo ad energia accumulata per mezzo di molle precaricate mediante servomotore in modo da garantire un intero ciclo di apertura - chiusura - riapertura. Come tanti altri elementi dell'impianto tutti gli interruttori di tipo aperto sono previsti di uguale portata sempre per garantire la massima intercambiabilità. Gli scatolati, invece, sono installati sulla parte frontale del quadro in modo da rendere agevole l'ispezione visiva al fine di valutare istantaneamente il loro stato di funzionamento: aperto, chiuso ed estratto. A differenza degli interruttori aperti la loro estrazione avviene attraverso una particolare chiave predisposta che permette di attivare gli interblocchi del quadro che rendono inaccessibile le zone in tensione permettendo di estrarre l'interruttore per la sua manutenzione.

Per entrambi gli interruttori appena descritti, il progettista prevede che al loro interno siano equipaggiati con una protezione di massima corrente, esplicitata attraverso relè sganciatori di tipo elettronico (per gli aperti e gli scatolati con corrente superiore a 400 A) che vengono alimentate da trasformatore di corrente interno all'interruttore stesso.

I relè sganciatori, per interruttori che alimentano diverse utenze, a loro volta protette da interruttori di taglia minore, devono necessariamente essere di categoria B per poter eseguire selettività nell'impianto in BT. Dovranno, inoltre, garantire determinate prestazioni quali:

	Intervallo di funzionamento	tempo di intervento
Prestazione termica	$I1=0.4\div 1I_n$	$t1= 3\div 18$ a $6 I_n$
Protezione magnetica (corto ritardo)	$I2=1\div 10 I_n$	$t2=0.05\div 0.5$ a $8 I_n$
Protezione magnetica (istantanea)	$I3=1.5\div 12I_n$	istantaneo
Protezione di terra	$I4=0.2\div 1I_n$	dip/indip

Gli interruttori di tipo scatolato con I_n inferiore a 400 A non necessitano di sganciatori elettronici, ma bensì sono sufficienti sganciatori di tipo termomagnetico, purché, come posto in evidenza dal progettista, vi sia adeguata accuratezza nel tarare le protezioni differenziali e con più precisione: per partenza motore, corrente differenziale $0,03\div 3$ A e tempi di intervento $0,5\div 1,5$ s, mentre per partenza distribuzione corrente differenziale $0,03\div 0,5$ A e tempo di intervento $0\div 0,5$ s.

Infine per gli interruttori di tipo modulare sono previste due sole specifiche ovvero che i loro involucri siano autoestinguenti non propaganti la fiamma e privi di esalazioni tossiche dovute ad un'eventuale combustione e che siano dotati di protezione magnetotermica-differenziale adatta a proteggere il carico che alimentano e adatta a garantire la sicurezza in caso di fulminazione per contatto di una persona.

SCELTA DELLE POSSIBILI PROTEZIONI COMMERCIALI

Questo capitolo conclusivo si pone l'obiettivo di individuare, alla luce di tutti gli aspetti finora considerati, alcuni possibili interruttori da poter installare tra quelli disponibili commercialmente.

Infatti, lo studio delle correnti di corto ha permesso, come già detto, di individuare le massime sollecitazioni a carico dell'interruttore, e pertanto di utilizzare tali valori per valutare il modello più adatto. Invece, per ciò che riguarda la valutazione della corrente nominale che l'interruttore dovrà essere in grado di sopportare, si farà uso dello studio sui flussi di potenza, ponendo, però, qualche ulteriore considerazione relativa alle possibili configurazioni topologiche che potrà assumere l'impianto durante un funzionamento in emergenza.

In particolare, all'interno di ogni singola bocca, il funzionamento deve essere garantito con il completo o parziale fuori-servizio di una delle due sezioni, ragion per cui tutti gli interruttori dovranno poter sopportare l'intero carico della bocca, ad esclusione, ovviamente, di quelli previsti nei congiuntori dove sarà sufficiente la presenza di interruttori con corrente nominale pari alla massima corrente richiesta dalla sezione più caricata.

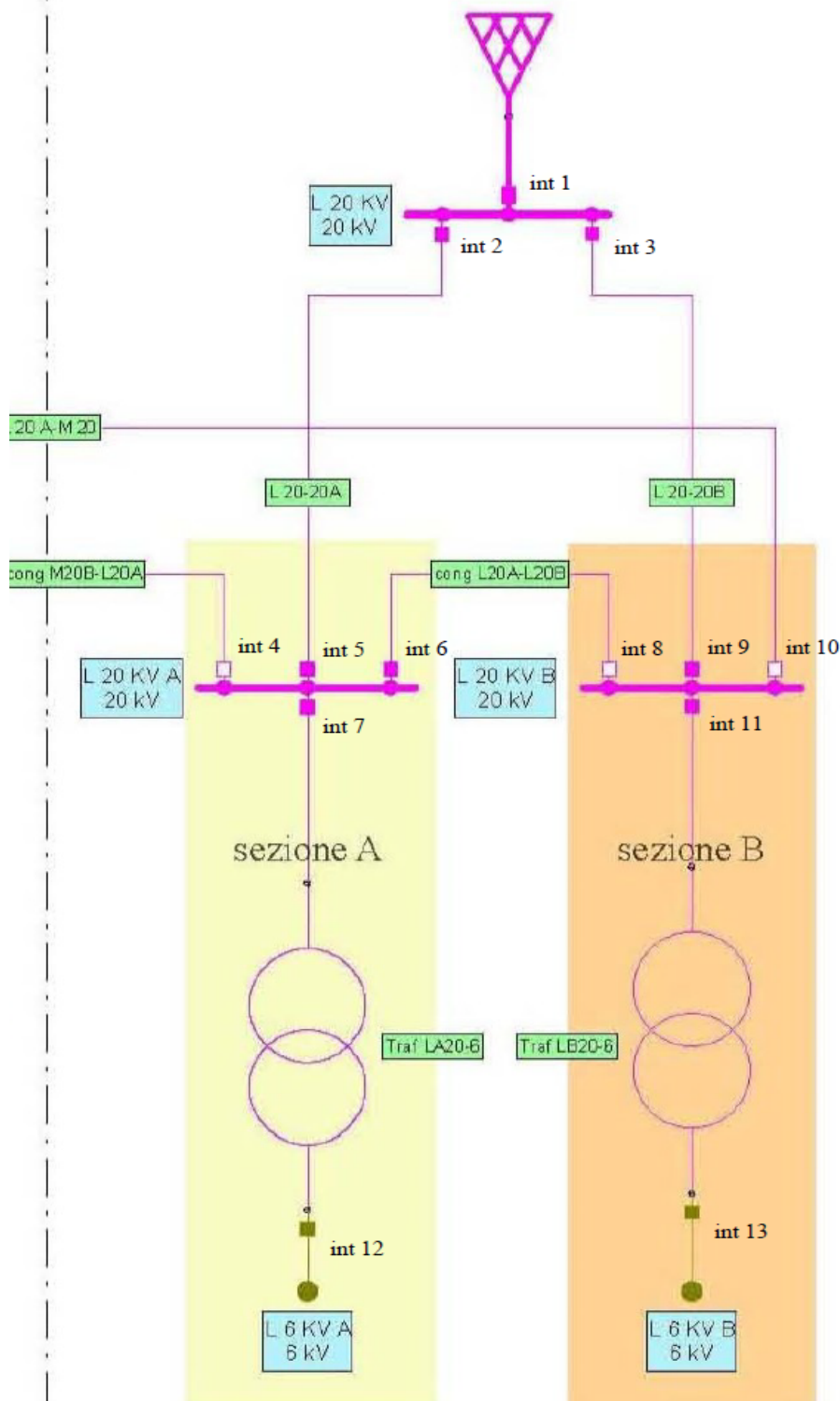
Inoltre, nel livello a 20 kV, c'è da considerare che, essendo prevista l'alimentazione delle bocche adiacenti tramite le linee in cavo, alcuni interruttori dovranno poter veicolare oltre che la potenza richiesta dalla bocca su cui sono installati anche la totale potenza richiesta dalle altre due bocche.

Per rendere più chiaro quanto appena detto si riportano in tabella 2 i valori di corrente nominale da prendere come riferimento per ogni interruttore, correnti divise in porzioni attribuibili alla bocca-sezione su cui è installata la protezione e in porzioni alle bocche-sezioni adiacenti.

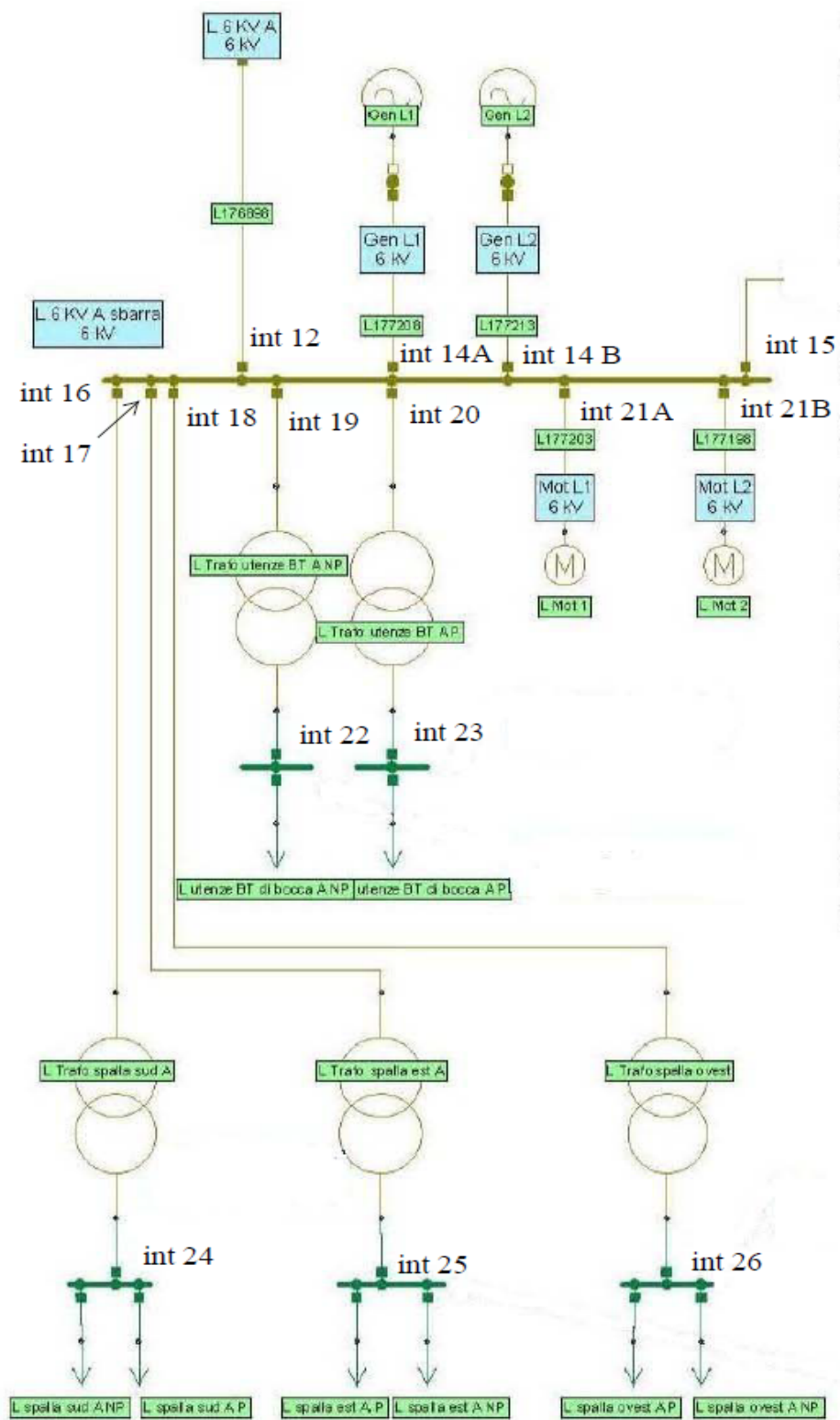
Gli interruttori presi in considerazione sono quelli installati nel livello 20 kV di Lido e nel livello 6 e 0,4 kV di Lido sezione A per motivi ormai più che ovvi.

Sempre per facilità di comprensione si è pensato di descrivere la denominazione degli interruttori in uno spaccato dello schema unifilare qui in seguito riportato.

Punto di consegna Enel di Cavallino



Schema unifilare 20 kV con nomi interruttori



Schema unifilare 6-0,4 kV con nomi interruttori

Nome interruttore	Porzione massima di corrente richiesta dalla bocca di Lido sezione A	Porzione massima di corrente richiedibile dalla bocca di Lido sezione B in emergenza	Porzione massima di corrente richiedibile dalla bocca di Malamocco in	Porzione massima di corrente richiedibile dalla bocca di Chioggia in emergenza	Totale corrente da assumere come riferimento nella scelta delle protezioni
INT 1	111 A	102 A	137 A	156 A	506 A
INT 2, INT 5	111 A	102 A			213 A
INT 3, INT 9		102	137 A	156 A	395 A
INT 4	112 A				112 A
INT 6, INT 8					111 A
INT 7, INT 11	111 A	102 A			213 A
INT 10			137 A	156 A	193 A
INT 12, INT 13	346 A	317 A			663 A
INT 14 A,B	165 A				165 A
INT 15	346 A				346 A
INT 16	26 A				26 A
INT 17	27 A				27 A
INT 18	25 A				25 A
INT 19	88 A				88 A
INT 20	53 A				53 A
INT 21 A,B	64 A				64 A
INT 22	1248 A				1248 A
INT 23	762 A				762 A
INT 24	402 A				402 A
INT 25	146 A				146 A
INT 26	136 A				136 A

Tabella numero 2: valori della massima corrente nominale transitante sugli interruttori

Poste quest'ultime brevi considerazioni, si è infine passati ad analizzare le varie protezioni disponibili sul mercato con particolare attenzione a quelle proposte da ABB.

Grazie ai cataloghi, gentilmente forniti dall'azienda, è stato possibile individuare alcuni modelli che rispondono a tutte le prescrizioni previste dal progettista.

Più precisamente, per la BT, si sono presi in considerazione:

- le serie Emax per gli interruttori di tipo aperto;
- le serie "TMax Generazione T" per gli interruttori scatolati con correnti nominali superiori a 250 A.
- le serie "SACE Tmax XT" per gli interruttori scatolati con correnti inferiori a 250 A, mentre per ciò che riguarda la media tensione si è deciso di individuare gli interruttori solo all'interno della serie HD4.

A conclusione di tutte le nostre considerazioni riportiamo nella tabella la scelta delle protezioni da applicare riportando solo la sigla e allegando in appendice le schede tecniche.

denominazione interruttore	interruttore scelto per la protezione	
INT 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11	HD4/P24 con In=630A	scheda tecnica in allegato A
INT 12,13	HD4/P12 con In=1250A	scheda tecnica in allegato A
INT 14A,B,15,16,17,18,19,20,21A,B	HD4/P12 con In=630A	scheda tecnica in allegato A
INT 22	Emax E2N1600 con In=1600A	scheda tecnica in allegato B
INT 23	Emax E2N1000 con In=1000A	scheda tecnica in allegato B
INT 24	Tmax T5N	scheda tecnica in allegato C
INT 25,26	SACE Tmax XT2N	scheda tecnica in allegato D

A termine del nostro lavoro si può notare che alla necessità di avere massima affidabilità dell'impianto è strettamente connesso il sovradimensionamento delle protezioni ma più in generale di tutti gli elementi dell'impianto, infatti in condizioni di normale esercizio il coefficiente di carico, rispetto ai valori nominali, risulta per più di uno di essi notevolmente inferiore al 50 per cento.

SELETTIVITA'

Nei capitoli precedenti si è potuto verificare la capacità dell'impianto di garantire continuità del servizio alle utenze principali anche in presenza di comuni cause di guasto, grazie alla sua particolare struttura.

La prima specifica richiesta per gli impianti industriali a tutela del territorio è, pertanto, soddisfatta. Tuttavia è previsto, come già accennato nell'introduzione, che un eventuale guasto che avviene nella rete, durante normale funzionamento dell'impianto, rechi il minor danno possibile a tutti gli altri componenti non direttamente coinvolti e che la porzione di rete, dove si genera un disservizio conseguente al guasto, sia più contenuta possibile.

Per realizzare e soddisfare tali condizioni è necessario che le protezioni non intervengano tutte contemporaneamente al presentarsi dell'evento di guasto; sarà cioè necessario che ogni protezione posta, rispetto al flusso di energia, a monte di un'altra, intervenga con un certo ritardo in modo che un guasto che avviene nella porzione dell'impianto protetto dalla protezione di valle provochi l'intervento della stessa e non di quella posta a monte. Questo criterio, se così adottato valido solo per le reti radiali, è comunemente detto selettività.

Risulta quindi interessante valutare i parametri da inserire nelle protezioni dell'impianto da noi studiato per ottenere selettività. In particolare ci soffermeremo sul caso più critico ovvero la selettività tra la protezione del motore in MT a 6kV, che al suo avviamento assorbe correnti fino 5 volte superiori alla corrente nominale per diversi secondi, e le protezioni poste a monte.

Il procedimento adottato è di tipo grafico: ottenuto utilizzando l'andamento della corrente assorbita dal motore in avviamento su cui è stato possibile individuare i valori di corrente e tempo da inserire nelle tre funzioni di protezione, I, L, R. In tal modo è stato possibile tarare l'interruttore a protezione del motore e di conseguenza anche quelli posti a monte ritardando la loro azione di 2 secondi per l'intervento da sovraccarico e di 0,5 secondi l'intervento in caso di guasto.

Le figure 11 e 12 evidenziano rispettivamente i valori di tempo-corrente da impostare per ottenere le curve desiderate delle protezioni poste al livello 6 kV e 20 kV.

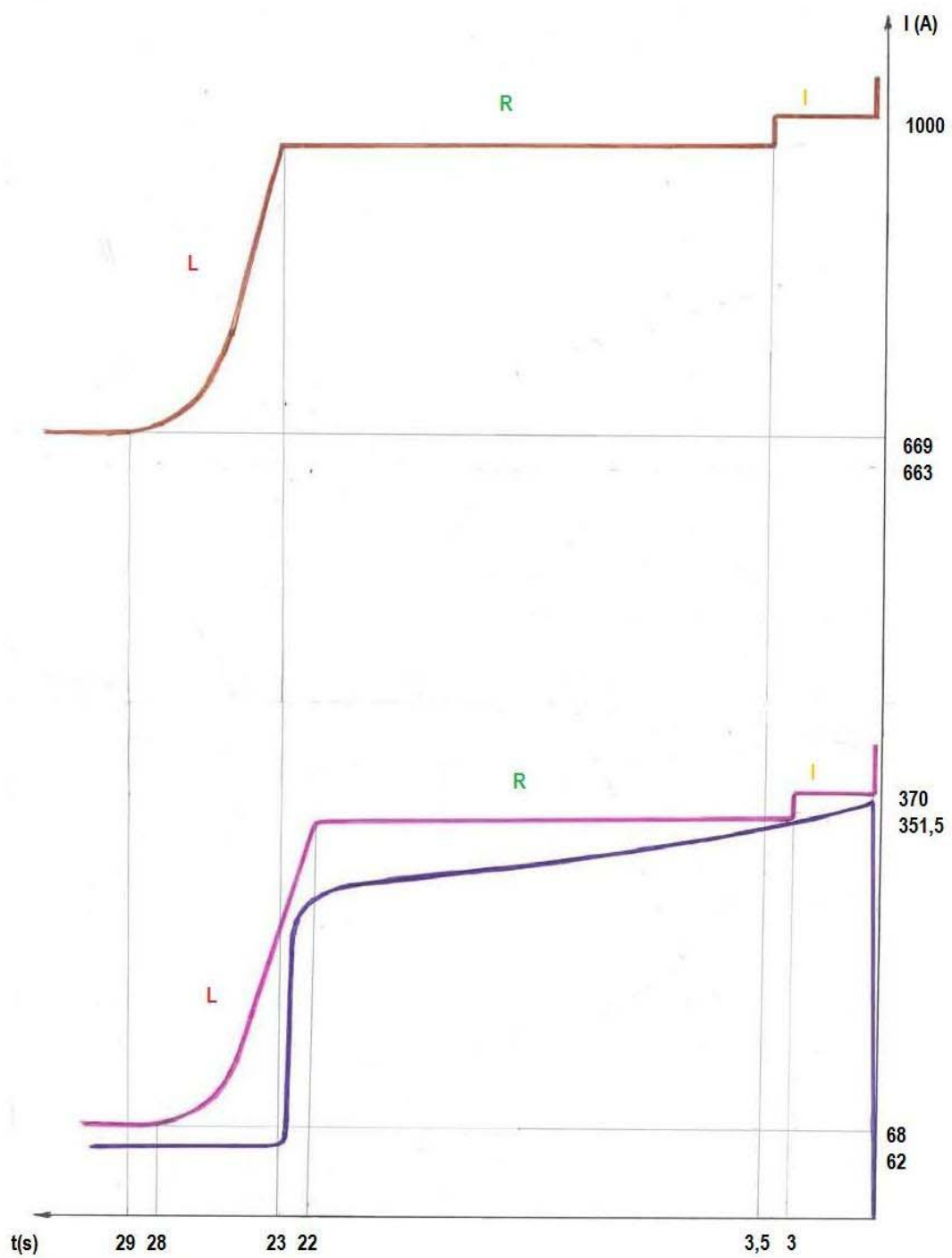


Figura 11; selettività tra interruttori in MT a 6 kV

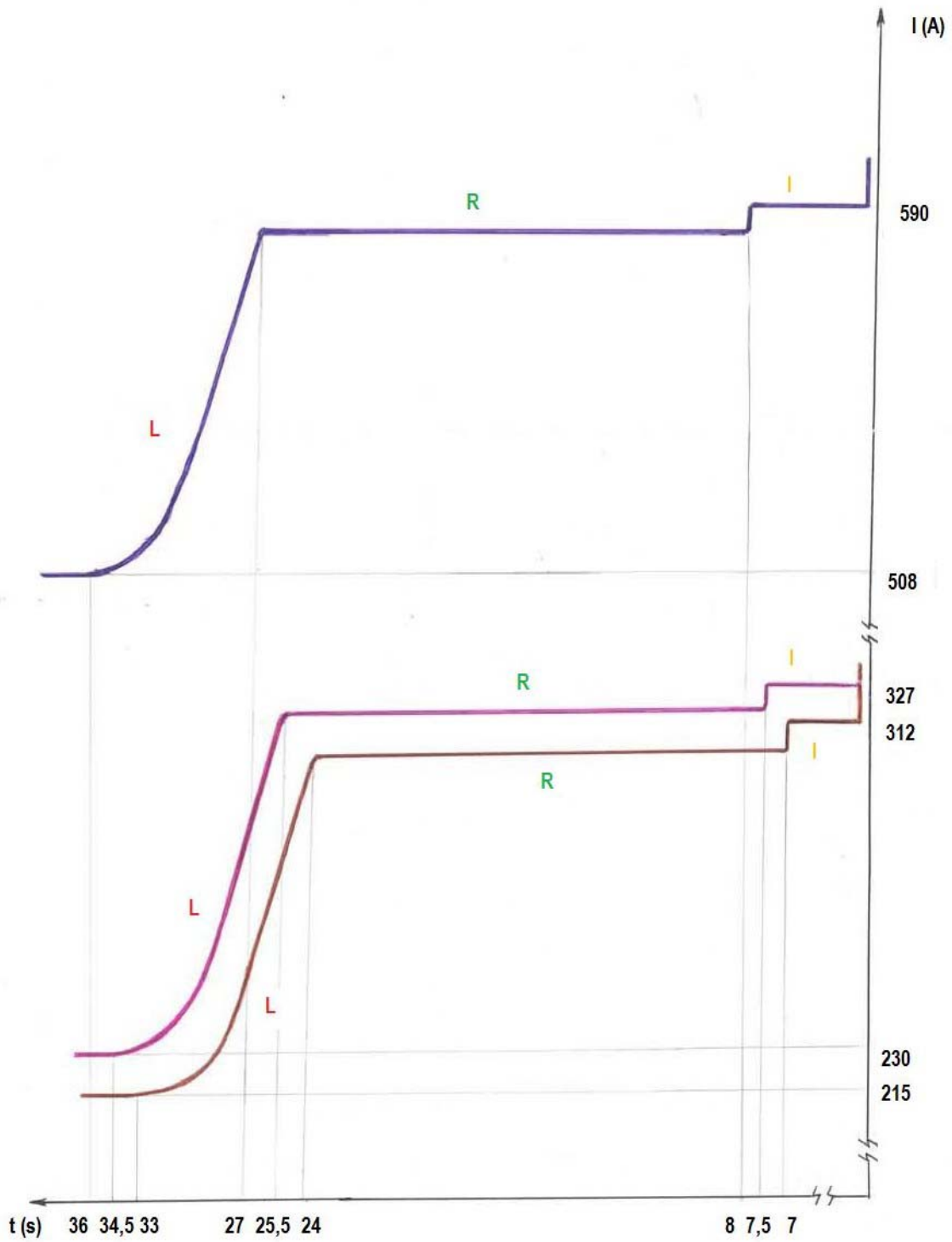


Figura 12: selettività tra interruttori in MT 20 kV

CONCLUSIONI

A conclusione del nostro lavoro si vuole ricapitolare i principali aspetti presi in considerazione e le soluzioni a cui siamo giunti.

L'analisi dell'impianto elettrico del Mose ha permesso di evidenziare la sua particolare struttura circuitale formata da una rete doppio radiale che si articola su quattro livelli di tensione e si sviluppa in modo indipendente per ogni bocca di porto, prevedendo, però, anche la possibilità di realizzare, attraverso opportune connessioni, più vie di alimentazione distinte per ogni utenza necessaria al corretto funzionamento dell'impianto. Quest'ultimo aspetto, necessario per garantire massima continuità di servizio, è risultato essenziale nella valutazione dei dispositivi di protezione da adottare e in particolare modo nella valutazione del massimo carico termico che ogni protezione deve essere in grado di sostenere.

Lo studio del regime di guasto della rete, invece, ha posto in evidenza i massimi sforzi elettrodinamici cui sono soggette le protezioni e le massime correnti che devono essere in grado di interrompere.

Coniugando, quindi, lo studio sui flussi di potenza con lo studio della rete in presenza di guasto è stato possibile individuare, tra le varie proposte commerciali, alcune possibili protezioni della casa ABB che rispettino tutte le prescrizioni previste dal progettista e che ovviamente siano dimensionate per reggere a tutti i tipi di sollecitazione presunti per il luogo dell'impianto dove sono installate.

Si può quindi concludere che, seppur svolto come applicativo universitario, questo lavoro ha mostrato, per quanto a campione, la validità delle assunzioni di progetto e ha consentito di verificare l'idoneità delle protezioni prodotte da alcuni costruttori (ABB), fermo restando la possibilità di impiego anche di altri prodotti.


APPENDICE

Allegato A

2

SCELTA E ORDINAZIONE INTERRUTTORI

Caratteristiche generali interruttori estraibili per contenitori CBE e parti fisse CBF (12 - 17,5 - 24 kV)

Interruttore		HD4/C 12						
Nome	IEC 62271-100	■						
	CEI 17-1 (fascicolo 1375)	■						
Tensione nominale	Ur [kV]	12						
Tensione nominale di isolamento	Us [kV]	12						
Tensione di tenuta a 50 Hz	Ud (1 min) [kV]	28						
Tensione di tenuta ad impulso	Up [kV]	75						
Frequenza nominale	fr [Hz]	50-60						
Corrente termica nominale (40°C) ⁽¹⁾	Ir [A]	630	1250	1250	1600	2000	2500	3150 ⁽²⁾
Potere di interruzione nominale	Isc [kA]	16	16	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—
		25	25	—	25	25	25	—
		31,5	31,5	—	31,5	31,5	31,5	31,5
		—	—	40	40	40	40	40
		—	—	50	50	50	50	50
Corrente nominale ammissibile	Ik [kA]	16	16	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—
		25	25	—	25	25	25	—
		31,5	31,5	—	31,5	31,5	31,5	31,5
		—	—	40	40	40	40	40
		—	—	50	50	50	50	50
Potere di stabilimento	Ip [kA]	40	40	—	—	—	—	—
		50	50	—	—	—	—	—
		—	—	—	63	63	63	—
		80	80	—	80	80	80	80
		—	—	100	100	100	100	100
		—	—	125	125	125	125	
Sequenza operazioni	[O-0.3s-CO-15s-CO]	■						
Durata di apertura	[ms]	45						
Durata d'arco	[ms]	10-15						
Durata totale di interruzione	[ms]	55-60						
Durata di chiusura	[ms]	80						
Dimensioni di ingombro massime		H [mm]	636		702	702	702	704
		L [mm]	532		682	882	882	882
		P [mm]	659		640	640	640	640
		I [mm]	150		210	275	275	275
Interasse poli				210	275	275	275	
Peso	[kg]	120		177	210	220	230	
Tavola normalizzata dimensioni		TN 7184		TN 7151	TN 7153	TN 7155	1VCD000017	
Pressione assoluta del gas ⁽³⁾	[kPa]	380						
Temperatura di funzionamento	[°C]	- 5 ... + 40						
Tropicalizzazione	IEC: 60068-2-30, 60721-2-1	■						
Compatibilità elettromagnetica	IEC: 60694	■						



HD4/C 17						HD4/C 24					
■						■					
17,5						24					
17,5						24					
38						50					
95						125					
50-60						50-60					
630	1250	1250	1600	2000	2500	630	1250	1250	1600	2000	2500
16	16	—	—	—	—	16	16	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	20	20	—	—	—	—
25	25	—	25	25	25	25	25	—	—	25	25
31,5	31,5	—	31,5	31,5	31,5	—	—	31,5	31,5	31,5	31,5
—	—	40	40	40	40	—	—	40	40	40	40
—	—	50	50	50	50	—	—	—	—	—	—
16	16	—	—	—	—	16	16	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	20	20	—	—	—	—
25	25	—	25	25	25	25	25	—	—	25	25
31,5	31,5	—	31,5	31,5	31,5	—	—	31,5	31,5	31,5	31,5
—	—	40	40	40	40	—	—	40	40	40	40
—	—	50	50	50	50	—	—	—	—	—	—
40	40	—	—	—	—	40	40	—	—	—	—
50	50	—	—	—	—	50	50	—	—	—	—
—	—	—	63	63	63	63	63	—	—	63	63
80	80	—	80	80	80	—	—	80	80	80	80
—	—	100	100	100	100	—	—	100	100	100	100
—	—	125	125	125	125	—	—	—	—	—	—
■						■					
45						45					
10-15						10-15					
55-60						55-60					
80						80					
636		702		702	702	792		792	838	838	838
532		682		882	882	682		682	882	882	882
659		640		640	640	799		799	788	788	771
150		210		275	275	210		210	275	275	275
120		177		210	220	125		177	177	177	220
TN 7184		TN 7151		TN 7153	TN 7155	TN 7186		TN 7156	TN 7157	TN 7158	TN 7159
380						380					
- 5 ... + 40						- 5 ... + 40					
■						■					
■						■					

Interruttori automatici aperti Emax per distribuzione

Dati comuni			
Tensioni			
Tensione nominale di impiego	Ue	[V]	690 ~
Tensione nominale di isolamento	Ui	[V]	1000
Tensione nominale di tenuta ad impulso	Uimp	[kV]	12
Temperaturadi impiego		[°C]	-25...+70
Temperaturadi stoccaggio		[°C]	-40...+70
Frequenza	f	[Hz]	50 - 60
Numero poli			3-4
Esecuzione			Fisso - Estraibile



				X1			E1	
				B	N	L	B	N
Livelli di prestazione			[kA]					
Corrente ininterrotta nominale (a 40 °C)	Iu		[kA]	630	630	630	600	600
			[kA]	800	800	800	1000	1000
			[kA]	1000	1000	1000	1250	1250
			[kA]	1250	1250	1250	1600	1600
			[kA]	1600	1600			
Potere di interruzione nominale limite in corto circuito	Icu	220/230/380/400/415 V ~	[kA]	42	66	160	42	50
		440 V ~	[kA]	42	66	130	42	50
		500/525 V ~	[kA]	42	50	100	42	50
		660/690 V ~	[kA]	42	50	60	42	50
			[kA]					
Potere di interruzione nominale di servizio in corto circuito	Ics	220/230/380/400/415 V ~	[kA]	42	50	100	42	50
		440 V ~	[kA]	42	50	130	42	50
		500/525 V ~	[kA]	42	42	100	42	50
		660/690 V ~	[kA]	42	42	66	42	50
			[kA]					
Corrente ammissibile nominale di breve durata	Ibw	(1s)	[kA]	42	42	15	42	50
		(3s)	[kA]				36	36
Potere di chiusura nominale in corto circuito (valore di cresta)	Icm	220/230/380/400/415 V ~	[kA]	88,2	143	330	88,2	105
		440 V ~	[kA]	88,2	143	288	88,2	105
		500/525 V ~	[kA]	88,2	121	230	88,2	105
		660/690 V ~	[kA]	88,2	121	132	88,2	105
Categoria di utilizzo	CEI EN 60947-2			B	B	A	B	B
Attitudine al sezionamento	CEI EN 60947-2			■	■	■	■	■
Protezione di massima corrente				■	■	■	■	■
Sganciatori elettronici per applicazioni in AC				■	■	■	■	■
Tempi di manovra								
Durata di chiusura (max)			[ms]	80	80	80	80	80
Durata di interruzione per I _{low} (max) ^{*)}			[ms]	70	70	70	70	70
Durata di interruzione per I _{low} (max)			[ms]	30	30	12	30	30
Dimensioni di ingombro								
Fisso: H = 418 mm - P = 302 mm	L	(3/4 poli)	[mm]	H=383 mm - P=181 mm - U(2/3)=270/290			296/358	
Estraibile: H = 461 - P = 395,5 mm	L	(3/4 poli)	[mm]	H=343 mm - P=264 mm - U(2/3)=264/284			324/414	
Pesi (interruttore completo di sganciatori e TA, accessori esclusi)								
Fisso 3/4 poli			[kg]	11/14	11/14	11/14	45/54	45/54
Estraibile 3/4 poli (compresa la parte fissa)			[kg]	32/42,5	32/42,5	32/42,5	70/82	70/82

^{*)} senza intera interruzione
^{*)} la prestazione è 600 V e pari a 100kA

				X1 B	X1 N	X1 L	E1 B-N	
Corrente ininterrotta nominale (a 40 °C)	Iu		[kA]	600	1250	1600	600	1000-1250
Vita meccanica con regolare manovra tensione ordinata			[Nr. Manovre x 1000]	12,5	12,5	12,5	25	25
Frequenza manovre			[Manovre/ora]	60	60	60	60	60
Vita elettrica (440 V ~)			[Nr. Manovre x 1000]	8	4	3	10	10
Vita elettrica (690 V ~)			[Nr. Manovre x 1000]	3	2	1	10	8
Frequenza manovre			[Manovre/ora]	30	30	30	30	30




E2				E3					E4			E6	
B	N	S	L	N	S	H	V	L	S	H	V	H	V
1800	1000	800	1150	2900	1000	800	800	2000	4000	3200	3200	4000	3800
1000	1250	1000	1600	3200	1250	1000	1250	2900	4000	4000		5000	4000
	1600	1150			1600	1150	1600					6300	5000
	2000	1800			2000	1800	2000						6300
		2000			2500	2000	2400						
					3200	2500	3200						
					3100								
100	100	100	100	100	100	100	100	100	50	50	50	50	50
42	65	85	130	65	75	100	130	130	75	100	150	100	160
42	65	85	110	65	75	100	130	110	75	100	150	100	160
42	55	65	85	65	75	85	100	85	75	100	130	100	130
42	55	65	85	65	75	85	100	85	75	85	100	100	100
42	65	85	130	65	75	85	100	130	75	100	125	100	125
42	65	85	110	65	75	85	100	110	75	100	125	100	125
42	55	65	65	65	75	85	85	65	75	100	130	100	100
42	55	65	65	65	75	85	85	65	75	85	100	100	100
42	55	65	10	65	75	75	85	15	75	100	100	100	100
42	42	42	-	65	65	65	65	-	75	75	75	65	65
68,2	143	187	286	143	165	220	286	286	165	220	330	230	330
68,2	143	187	242	143	165	220	286	286	165	220	330	230	330
68,2	121	143	187	143	165	187	220	187	165	220	286	230	286
68,2	121	143	187	143	165	187	220	187	165	187	220	230	220
B	B	B	A	B	B	B	B	A	B	B	B	B	B
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
30	30	30	12	30	30	30	30	12	30	30	30	30	30
286/386				404/530					666/666			182/308	
324/414				432/558					694/694			810/936	
50/61	50/61	50/61	52/63	66/80	66/80	66/80	66/80	72/83	97/117	97/117	97/117	140/160	140/160
78/93	78/93	78/93	80/95	104/125	104/125	104/125	104/125	110/127	147/165	147/165	147/165	210/240	210/240

E1 B-N-S				E2 L		E3 N-S-H-V							E4 L		E5 S-H-V		E6 H-V			
600	1000-1250	1600	2000	1250	1600	600	1000-1250	1600	2000	2500	3200	3200	2000	2500	3200	4000	3200	4000	5000	6300
25	25	25	25	30	20	20	20	20	20	20	20	20	15	15	15	15	12	12	12	12
60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
15	15	12	10	4	3	12	12	10	9	8	8	8	2	1,8	7	5	5	4	3	2
15	16	10	9	3	2	12	12	10	9	7	5	5	1,5	1,3	7	4	6	4	2	1,6
30	30	30	30	20	20	20	20	30	20	20	20	20	20	20	10	10	10	10	10	10

Interruttori automatici scatolati Tmax per distribuzione

Dati comuni		Tmax T1 1p		Tmax T1		Tmax T3						Tmax T5		
Tensioni		[Y]	690*											
Tensione nominale di impiego, U _e		[Y]	8											
Tensione nominale di tenuta ad impulso, U _{imp}		[Y]	800...1000*											
Tensione nominale di isolamento, U _i		[Y]	3000...3500											
Tensioni di prova a frequenza ind. pari 1 min.		[Y]	3000...3500											
Numero poli			3-4											
* 240V per T1 1p * 300V per T1 1p														
Corrente interruttore nominale, I_n (A)		[L]	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	160	
Potenza di interruzione nominale limite in corto circuito, I_{cs} (A)														
(AC) 60-60 Hz 220/230V		[kA]	25 ^A	25	40	60	25	40	65	85	100	120	60	85
(AC) 60-60 Hz 380/415V		[kA]		16	25	36	16	25	36	60	70	85	36	60
(AC) 60-60 Hz 440 V		[kA]		10	15	22	10	15	30	45	65	75	25	40
(AC) 60-60 Hz 500 V		[kA]		8	10	15	8	10	25	30	36	50	20	30
(AC) 60-60 Hz 690 V		[kA]		3	4	6	3	4	6	7	8	10	5	8
(DC) 250 V - 2 poli inserie		[kA]	25 (0,125 V)	15	25	36	16	25	36	60	70	85	36	60
(DC) 250 V - 3 poli inserie		[kA]		20	30	40	20	30	40	65	85	100	40	65
(DC) 500 V - 2 poli inserie		[kA]												
(DC) 500 V - 3 poli inserie		[kA]		15	25	36	16	25	36	60	70	85	36	60
(DC) 750 V - 3 poli inserie		[kA]												
Potenza di interruzione nominale di servizio in corto circuito, I_{cs} (A 415 V)		[% I _n]	75%	100%	75%	75%	100%	100%	100%	100%	100%	75% ^A	75%	60% ^B
Potenza di chiusura nominale in corto circuito, I_{cc} (A 415 V)		[kA]	52,5 (0,220/230 V)	32	52,5	75,6	32	52,5	75,6	105	154	187	75,5	105
Durata di apertura (415 V)		[ms]	7	7	6	6	3	3	3	3	3	3	7	6
Corrente di breve durata ammissibile nominale per I_{cs}, I_{cs}		[kA]												
Categoria di utilizzazione (EC 60947-2, EN 60947-2)			A	A			A						A	
Articolo al sezionamento			■	■			■						■	
Nome di riferimento IEC 60947-2, EN 60947-2			■	■			■						■	
Scandenza														
termomagnetico														
T fisso, M fisso (10xIn)		TWF	■											
T reg., M fisso (10xIn)		TWD		■				■					■	
T reg., M reg. (5...10xIn)		TWA												
T reg., M fisso (3xIn)		TWG												■
T reg., M reg. (2,5...6xIn)		TWG												
solo magnetico														
M regolabile (6...12xIn)		MA						■ (MF fino a In 12,5A)						■
elettronico														
PR221 DS (L-LSI)									■					
PR222 DSVP (LSI-LSIG)														
PR222 MP														
PR223 DSVP														
PR223 EF														
PR231 P (L-LSI)														
PR232 P (LSI)														
PR231 P (LSIG)														
PR232 P (L-LSI-LSIG-LSIFC)														
Intercambiabilità														
Versioni			F	F			F - P						F - P	
Terminale			FC Cu	FC Cu - EF - FC Cu/N - HR			F - FC Cu - FC Cu/N - EF - ES - R						F - FC Cu - FC Cu/N - EF - ES - R	
Rimovibile (F)							F - FC Cu - FC Cu/N - EF - ES - R						F - FC Cu - FC Cu/N - EF - ES - R	
Estraibile (W)														
Fissaggio su profilato DIN				DIN EN 60022			DIN EN 60022						DIN EN 60022	
Vita meccanica		[N. manovre / apertura]	25000 / 240	25000 / 240			25000 / 240						25000 / 240	
Vita elettrica (a 415V)		[N. manovre / apertura]	8000 / 120	8000 / 120			8000 / 120						8000 / 120	
Dimensioni base fisso		3/4 poli	L											
			P											
			H											
Pesi														
fisso		3/4 poli	[kg]	0,4 (1 polo)	0,9 / 1,2		1,1 / 1,5						1,5 / 2	
rimovibile		3/4 poli	[kg]											
estraibile		3/4 poli	[kg]				1,5 / 1,9						2,7 / 3,7	

Allegato D

		XT1					
Taglia ^(G2.1)	[A]	160					
Poli	[Nr.]	3, 4					
Tensione nominale d'impiego, Ue ^(G2.4)	(AC) 50-60Hz	[V]	690				
	(DC)	[V]	500				
Tensione nominale d'isolamento, Uj ^(G2.5)		[V]	800				
Tensione nominale di tenuta ad impulso, Uimp ^(G2.6)		[kV]	8				
Versioni			Fisso, Rimovibile ⁽⁹⁾				
Poteri di interruzione secondo IEC 60947-2			B	C	N	S	H
Potere di interruzione nominale limite in cortocircuito, Icu^(G2.7)							
Icu @ 220-230V 50-60Hz (AC)	[kA]	25	40	65	85	100	
Icu @ 380V 50-60Hz (AC)	[kA]	18	25	36	50	70	
Icu @ 415V 50-60Hz (AC)	[kA]	18	25	36	50	70	
Icu @ 440V 50-60Hz (AC)	[kA]	15	25	36	50	65	
Icu @ 500V 50-60Hz (AC)	[kA]	8	18	30	36	50	
Icu @ 525V 50-60Hz (AC)	[kA]	6	8	22	35	35	
Icu @ 690V 50-60Hz (AC)	[kA]	3	4	6	8	10	
Icu @ 250V (DC) 2 poli in serie	[kA]	18	25	36	50	70	
Icu @ 500V (DC) 3 poli in serie	[kA]	18	25	36	50	70	
Potere di interruzione nominale di servizio in cortocircuito, Ics^(G2.8)							
Ics @ 220-230V 50-60Hz (AC)	[kA]	100%	100%	75% (50)	75%	75%	
Ics @ 380V 50-60Hz (AC)	[kA]	100%	100%	100%	100%	75%	
Ics @ 415V 50-60Hz (AC)	[kA]	100%	100%	100%	75%	50% (37,5)	
Ics @ 440V 50-60Hz (AC)	[kA]	75%	50%	50%	50%	50%	
Ics @ 500V 50-60Hz (AC)	[kA]	100%	50%	50%	50%	50%	
Ics @ 525V 50-60Hz (AC)	[kA]	100%	100%	50%	50%	50%	
Ics @ 690V 50-60Hz (AC)	[kA]	100%	100%	75%	50%	50%	
Ics @ 250V (DC) 2 poli in serie	[kA]	100%	100%	100%	75%	75%	
Ics @ 500V (DC) 3 poli in serie	[kA]	100%	100%	100%	75%	75%	
Potere di chiusura nominale in cortocircuito, Icm^(G2.10)							
Icm @ 220-230V 50-60Hz (AC)	[kA]	52,5	84	143	187	220	
Icm @ 380V 50-60Hz (AC)	[kA]	36	52,5	75,6	105	154	
Icm @ 415V 50-60Hz (AC)	[kA]	36	52,5	75,6	105	154	
Icm @ 440V 50-60Hz (AC)	[kA]	30	52,5	75,6	105	143	
Icm @ 500V 50-60Hz (AC)	[kA]	13,6	36	63	75,6	105	
Icm @ 525V 50-60Hz (AC)	[kA]	9	13,6	46,2	73,5	73,5	
Icm @ 690V 50-60Hz (AC)	[kA]	4,5	6	9	13,6	17	
Poteri di interruzione secondo NEMA-AB1							
@ 240V 50-60Hz (AC)	[kA]	25	40	65	85	100	
@ 480V 50-60Hz (AC)	[kA]	8	18	30	36	65	
Categoria di utilizzo (IEC 60947-2)				A			
Norma di riferimento				IEC 60947-2			
Attitudine al sezionamento				✓			
Fissaggio su profilato DIN				DIN EN 50022			
Vita meccanica ^(G2.14)	[Nr. Manovre]	25000					
	[Nr. Manovre orarie]	240					
Vita elettrica @ 415V (AC) ^(G2.13)	[Nr. Manovre]	8000					
	[Nr. Manovre orarie]	120					
Dimensioni Fisso				76,2 x 70 x 130			
(Larghezza/Profondità/Altezza)	3 poli	[mm]		101,6 x 70 x 130			
	4 poli	[mm]					
							
Tempo di apertura totale							
Interruttore con sganciatore apertura	[ms]	15					
Interruttore con sganciatore minima	[ms]	15					
Sganciatori di protezione per distribuzione di potenza							
TMD/TMA				■			
TMD							
Ekip LS/I							
Ekip I							
Ekip LSI							
Ekip LSIG							
Sganciatori di protezione per protezione motori							
MF/MA							
Ekip M-I							
Ekip M-LIU							
Ekip M-LRIU							
Sganciatori di protezione per protezione generatori							
TMG							
Ekip G-LS/I							
Sganciatori di protezione per Protezione Neutro Maggiore							
Ekip N-LS/I							
Sganciatori di protezione intercambiabili							

XT2					XT3		XT4				
160					250		160/250				
3, 4					3, 4		3, 4				
690					690		690				
500					500		500				
1000					800		1000				
8					8		8				
Fisso, Rimovibile, Estraibile					Fisso, Rimovibile		Fisso, Rimovibile, Estraibile				
N	S	H	L	V	N	S	N	S	H	L	V
65	85	100	150	200	50	85	65	85	100	150	200
36	50	70	120	200	36	50	36	50	70	120	150
36	50	70	120	150	36	50	36	50	70	120	150
36	50	65	100	150	25	40	36	50	65	100	150
30	36	50	60	70	20	30	30	36	50	60	70
20	25	30	36	50	13	20	20	25	45	50	50
10	12	15	18	20	5	8	10	12	15	20	25 (90°)
36	50	70	120	150	36	50	36	50	70	120	150
36	50	70	120	150	36	50	36	50	70	120	150
100%	100%	100%	100%	100%	75%	50%	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	75%	50% (27)	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	75%	50% (27)	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	75%	50%	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	75%	50%	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	75%	50%	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	75%	75%	50%	100%	100%	100%	100%	75% (20)
100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%	100%	100%	100%	100%	100%
143	187	220	330	440	105	187	143	187	220	330	440
75,6	105	154	264	440	75,6	105	75,6	105	154	264	330
75,6	105	154	264	330	75,6	105	75,6	105	154	264	330
75,6	105	143	220	330	52,5	84	75,6	105	143	220	330
63	75,6	105	132	154	40	63	63	75,6	105	132	154
40	52,5	63	75,6	105	26	90	40	52,5	63	75,6	110
17	24	30	36	40	8,5	13,5	17	24	30	40	52,5
65	85	100	150	200	50	85	65	85	100	150	200
30	36	65	100	150	25	35	30	36	65	100	150
A					A		A				
IEC 60947-2					IEC 60947-2		IEC 60947-2				
✓					✓		✓				
DIN EN 50022					DIN EN 50022		DIN EN 50022				
25000					25000		25000				
240					240		240				
8000					8000		8000				
120					120		120				
90 x 82,5 x 130					105 x 70 x 150		105 x 82,5 x 160				
120 x 82,5 x 130					140 x 70 x 150		140 x 82,5 x 160				
15					15		15				
15					15		15				
■					■		■				
■					■		■				
■					■		■				
■					■		■				
■					■		■				
■					■		■				
▲					▲		▲				
▲					▲		▲				
■					■		■				
▲					▲		▲				
▲					▲		▲				
✓					✓		✓				

RINGRAZIAMENTI

Al termine di questo lavoro vorrei ringraziare per l'aiuto fornitomi:

- Il Professor Fellin per la sua disponibilità a chiarire ogni mio dubbio e per l'attenta correzione di questo elaborato
- Il Professor Turri per la sua disponibilità a seguirmi nella presentazione e nella discussione della tesi.
- I miei genitori per avermi sempre sostenuto economicamente e moralmente
- I miei compagni di corso, in particolare Sandro Zambelli
- ABB spa, stabilimento Monselice per avermi fornito tutti i cataloghi tecnici delle protezioni