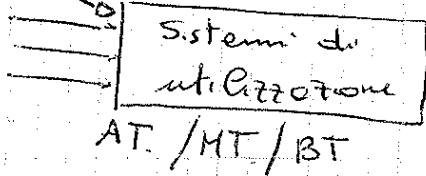
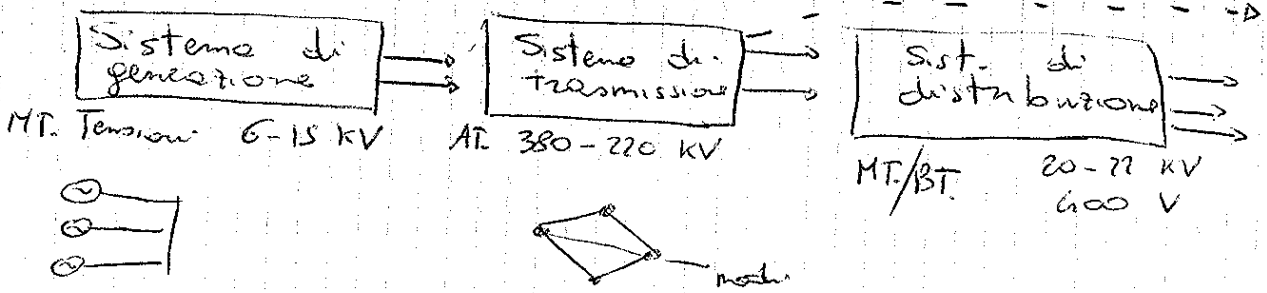


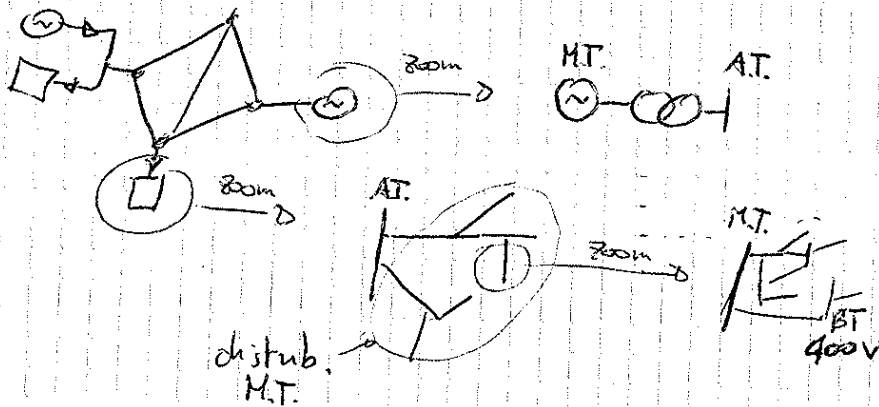
# Elementi di generazione e trasmissione elettrica

①



Rete tensione: - nodi di utilizzatori  
 - nodi di generazione  
 - nodi misti

Poiché la generazione avviene in rete tensione è necessario una trasformazione MT-AT

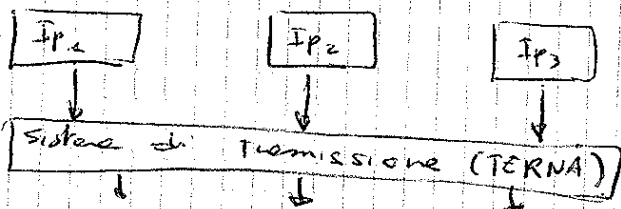


Il sistema è gerarchico perché l'energia fluisce partendo dalle centrali di generazione e fluisce fino agli utilizzatori.

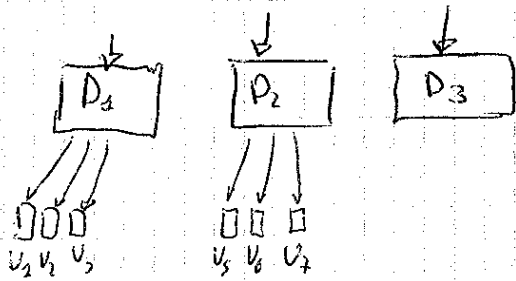
Il sistema elettrico ha 2 direzioni:

- energia (da generazione e utilizzatori)
- flussi finanziari (da utilizzatori e generatori)

Oggi non è più completamente così perché è intervenuto il principio del mercato libero - il sistema di generazione è diviso in tanti sistemi di generazione.



Ip: independent producer



$D_i$ : sistemi di distribuzione

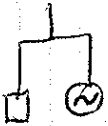
$U_i$ : utenti

Questo è il sistema che si ha negli stati in cui è avvenuto es. liberalizzazione.

Il sistema di trasporto e di distribuzione sono neutrali rispetto ai produttori.

Si hanno anche compagnie finanziarie "Broker" che fanno da intermediario finanziario. (fisicamente non hanno nulla).

Il sistema elettrico ha una caratteristica che lo rende diverso dagli altri: l'energia può essere facilmente trasportata, ma non può essere immagazzinata. La produzione deve avvenire nello stesso istante in cui viene utilizzata. Bisogna fare in modo che le centrali si adattino istante per istante al carico. A complicare le cose c'è il fatto che alcuni utenti non sono più puramente passivi, ma anche attivi: i "prosumatori" - l'energia elettrica che il consumatore produce in parte lo consume in parte viene immessa in rete. Poiché la potenza generata deve essere uguale a quella utilizzata, bisogna tenere presente che i prosumatori. Le centrali sono tutte dotate di sistemi di controllo, mentre i prosumatori preferiscono non averne.



Quindi i sistemi di trasmissione e di distribuzione devono essere modificati e devono pensare alle smart grid, cioè devono essere dotati di sistemi di controllo in modo da poter fronteggiare tutte le situazioni possibili.

Esiste una percentuale del 10-15% di carichi variabili. (se questi aumentano la rete non funziona).

# Sistemi di produzione

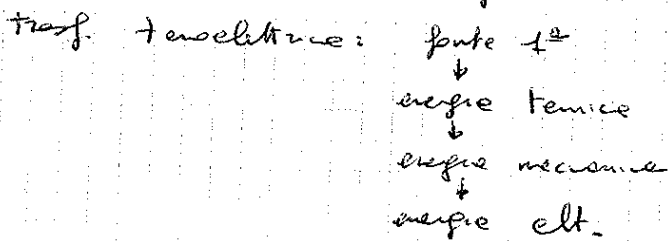
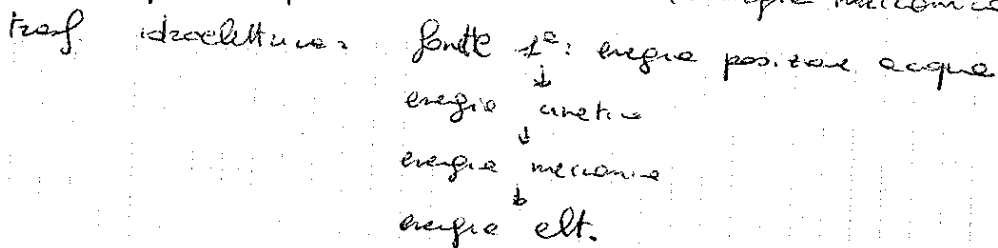
Possono essere divisi in 3 categorie in base alle fonti:

- convenzionali: (oggetto di esame) combustibili fossili.
- rinnovabili: idraulico, solare, eolico, geotermico
- nucleare.



Distinguiamo 2 tipi di centrali:

- trasformazioni dirette fonte primaria - fonte elt. (es. fotovoltaico)
- Bisogna passare per un intermediario (energia meccanica)



energia eolica → meccanica → elt. (tramite questo esemplare). Viene per  
energia fotovoltaico → in elt. DC (invertiti in tensione a 50Hz con inverter).  
trasf. in tensione a 50Hz con inverter. (o rete a 50Hz).

## Dati relativi alla produzione:

Termico trazit.	85%
Eolica	4,31%
Geotermico	1,77%
Fotovoltaico	0,01%
Idroe	12%

} In più acquistata energia dalla Francia.

Dopo il black-out del 2003 l'Italia ha rinnovato il parco di generazione.

## Energie non rinnovabili:

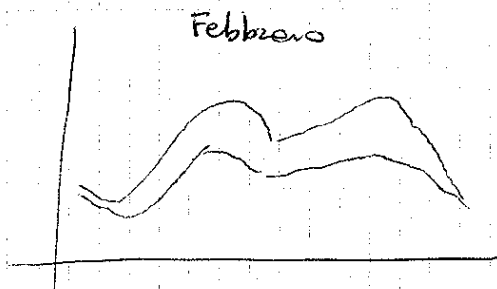
66%	gas naturale	6,8	alt. combust. solidi.
16%	solidi	0,6	alt. combust. gassosi.
8%	petrolio		
7,7%	gas liquef.		

L'Italia è il 1° paese al mondo per importazione di energia elt. Il risultato è che l'energia elt. costa 2 volte quella prodotta in Francia e 3 volte quella prodotta in Svezia. I costi elevati derivano dalle scelte di tipo energetico.

Diagrammi di enordamento. Il carico elt. viene istante per istante durante la giornata. Il carico totale della rete è molto più prevedibile rispetto a quello del singolo utente.

La variazione del carico viene rappresentata nei diagrammi di carico giornalieri.

L'andamento in un giorno feriali è a doppia gobba di cui la prima è maggiore.



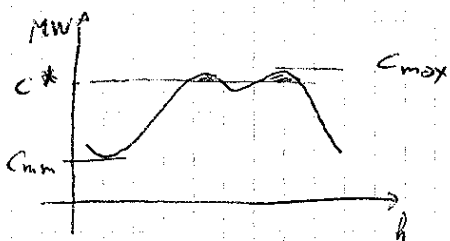
Il fatto che il carico cambi indica che anche le priorità deve cambiare. Il giorno di riferimento è il 3° mercoledì di dicembre.

Le centrali termiche non accettano brusche variazioni di carico. Quelle che accettano variazioni sono quelle idroelettriche e a gas.

Le centrali termiche hanno tempi di risposta delle decine di minuti.

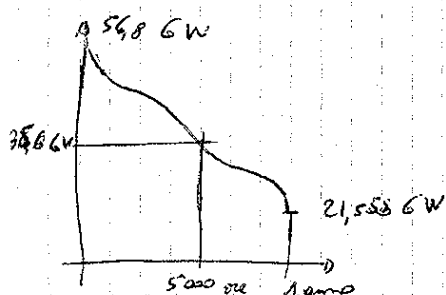
Il carico di base è fornito dalle centrali termiche, le variazioni sono accompagnate dalle centrali idriche e a gas.

Curva di durata del carico Osservare: ore dell'anno ordinate in potenze



Fissato  $C^*$  si determina per quanto tempo il carico  $m$  è mantenuto superiore a  $C^*$ . Al carico  $C^*$  possiamo assegnare il no. di ore in cui il carico è stato superiore.

Se facciamo questo per tutti i valori di carico e tutti i giorni dell'anno otteniamo le curve di durata annuali del carico.



Il carico max si verifica non solo d'inverno, ma anche d'estate a causa dei condizionatori.

Nei anni il carico max è sempre cresciuto come negli ultimi 2 anni.

La curva non viene di zona, ma trasla in alto e in basso. (3)  
E' venute un po' le curve quasi la parte ha utilizzato in  
condizionatori. L'area delle curve rappresenta l'energia utilizzata  
nell'anno.

Considerando l'energia elett. totale utilizzata nel 2007 in Italia e la  
dividiamo per il numero di abitanti ogni italiano ha consumato  $5372 \frac{kWh}{ab. \text{ italo.}}$   
che persone in buone salute sviluppa circa  $100 W$  per  $24 h$  al giorno  
ottenere in un anno  $876 kWh$ . Il consumo di energia elettrica equivale  
allo sforzo di 6 persone  $24$  ore al giorno, se consideriamo otto ore al giorno allora  
le persone sono 19.

### Tipi di centrali

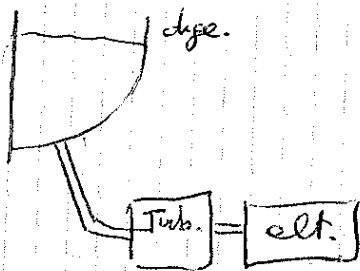
Centrali idroelettriche: l'acqua cade da un livello superiore lungo  
un condotto forzato, durante la caduta mette in rotazione una turbina.  
Sono distinte in:  
- a serbatoio o a bacino  
- ad acque fluente.

Le centrali idroelettriche a serbatoio con impianti di pompaggio è  
il metodo più efficiente per immagazzinare energia elettrica. È  
conveniente perché il valore dell'energia acquisita di giorno è  $\gg$  rispetto  
a quella spesa di notte per immettere l'acqua.

Queste centrali hanno costi di installazione molto elevati, ma i  
costi di esercizio sono molto bassi.

Il movimento delle acque rievoca i fenomeni di utilizzo delle acque per  
la vere centrali. Le centrali idroelettriche sono poco inquinanti,  
hanno tecnologie collaudate, hanno tempi di reazione brevi e velocità  
di presa del carico elevate.

L'acqua è preziosa e proviene in parte da sorgenti naturali (fiumi) ed  
in parte dalle precipitazioni (dalla accumulazione dei ghiacciai). È quindi  
importante prevedere il regime delle acque.



Se mi aspetto precipitazioni e fiumi trovo  
il serbatoio per spegnere l'acqua che  
arriva dal cielo. È fondamentale il servizio  
meteorologico di previsione. Si fa in fretta a  
fare ME in giorni se si sapeva l'utilizzo  
dell'acqua.

Nelle centrali ad acqua fluente conviene invece sfruttare l'acqua corrente tutto il giorno. Ultimamente c'è stato il boom di queste centraline.

Se ho un volume  $V$  d'acqua e devo mettere un serbatoio con turbine e produrre energia.

peso:  $G = \gamma V = 9810 \cdot V \text{ [N]} = 1000 V \text{ [kg]}$

Se il volume è posto all'altezza  $h$

$W = G h$  produttività teorica (ma usano le perdite)

$W_{\text{eff}} = \eta G \cdot h$  nel caso idraulico un 15-20% finisce in perdite.  
 $\eta \approx 0,85$

Energie da disposizione.

Per valutare la potenza bisogna tenere presente la portata.

$Q_v = \frac{\partial V}{\partial t}$  portata volumetrica

$Q_p = \frac{\partial G}{\partial t} \quad \left[ \frac{\text{N}}{\text{s}} \right]$

$P = H \cdot Q$  teorica

$P_{\text{eff}} = \eta \cdot P$  effettiva.

Molto importante è la pulizia delle acque. Se l'acqua contiene fango, lino rovina le macchine. Nell'acqua si può trovare di tutto.

~~Importanti di pompaggio~~

Ci sono diversi tipi di turbine, ~~che sono~~ <sup>che sono</sup> utilizzate a seconda del salto che fa l'acqua. Sullo stesso caso ci sono sia le turbine sia l'alternatore. Durante il montaggio bisogna rispettare le linee d'asse (i giochi sono dell'ordine del decimo di mm). Le strutture non devono modificarsi a causa delle vibrazioni. Si richiede perciò un accurato studio delle strutture. Molto importante è che le vibrazioni non siano alla frequenza di risonanza del sistema. Un altro problema è il rumore (le condotte in cui circola l'acqua possono trasmettere vibrazioni in tutto il territorio). Le norme pongono vincoli sul rispetto della fauna marina, così nonostante le centrali idrauliche hanno tempo di missione di 50-70 anni.

⑥  
L'impianto idroelettrico trascina i suoi aux. Deve disporre di acqua per raffreddare le macchine. L'acqua che arriva alle centrali non è mai pura, bisogna prevedere prima una vasca di decantazione. All'ingresso delle condotte c'è una griglia (che va pulita periodicamente). Il turbino dell'acqua nella pala provoca la cavitazione che comporta microfessure sulla pala. Almeno una volta all'anno bisogna verniciare tutti i componenti. Una volta si evidenziavano le fessure con delle lamine di Fe, oggi si usano delle radiografie o gli ultrasuoni. Sono fondamentali le operazioni di controllo e manutenzione. Tutte le parti dell'impianto vanno monitorate, per segnalare rapidamente eventuali anomalie. Il macchinario è installato all'interno di una caverna.

### Centrali termoelettriche

Si basano sulla produzione del vapore. Si differenziano in base al combustibile:

- solido (carbone)
- liquido (petrolio e suoi derivati)
- gas.

In molti paesi il <sup>combustibile</sup> ~~compos~~ più usato è il carbone (poco costoso, facile da <sup>estrarre</sup> ~~reperire~~, si trova in grandi quantità). Il carbone ha il difetto di produrre molte  $CO_2$  (che si ritiene abbia effetti climatici). Per ridurre la  $CO_2$  ci sono 2 metodi:

- filtrare il prodotto della combustione prima di metterlo nell'ambiente
- decarbonizzare l'ossido carbonico (si chiude l'ossido in gabbie e si spara in un decantato naturale).

L'ultima tecnologia è quella del gas. Il metano è non inquinante, ma ha costi più elevati. In Italia è stata sviluppata una tecnologia "a ciclo combinato" (prevedono una sezione a gas ed una a petrolio). Nelle 1<sup>a</sup> sezione viene bruciato il gas che produce vapore che viene mandato nelle turbine e poi va allo scambiatore. Quando il vapore esce dalle turbine è ancora caldo. Attraverso uno scambiatore di calore il calore del vapore viene usato per produrre vapore per la seconda sezione. Anche in questo caso ci sono problemi del rispetto dell'ambiente.

Possiamo fare un conteggio della produttività di una

centrale termica. Da 1 kg di carboni si ottiene 38 kWh e da 1 m<sup>3</sup> di gas 3,7 kWh. Poiché le centrali termoelettriche sono dell'ordine del MW nessuno rischia per la localizzazione. Vengono emessi fumo e vapore alle vie di trasporto (mare o strada ferata). Non sono necessarie grandi opere civili, ma i costi di gestione sono molto più elevati che nel caso delle centrali idroelettriche.

Centrali geotermoelettriche. È un particolare tipo di centrale termoelettrica. È sufficiente cercare e raccogliere il vapore che fornisce la forza. Purtroppo di sorgenti geotermoelettriche sono poche.

Centrale nucleare: anche essa è un tipo di centrale termoelettrica. Il calore non è prodotto dal processo di combustione, ma con reazione di fissione del nucleo. Da alcune rocce si estrae l'uranio che allo stato naturale è poco reattivo. L'uranio viene arricchito e vengono prodotte le pillole di uranio arricchito. Vengono messe in un tubicino che viene posizionato all'interno di un reattore. ~~l'uranio~~ <sup>le pillole</sup> dell'uranio produce calore che scalda l'acqua (che circola in un circuito chiuso). Si hanno 2 circuiti chiusi di acqua e un terzo circuito che provvede al raffreddamento. La turbina è una classica turbina a vapore. ~~Le storse sono emesse~~  
Una volta che le pillole di uranio hanno terminato l'energia bisogna estrarre le storse e sostituirle con quelle nuove. Per lungo tempo erano considerate rifiuti (venivano messe in appositi siti). Ultimamente è stato sviluppato un processo di ricambio delle pillole radioattive, ne sono pochi. Inghilterra dove c'è la tecnologia per ricambiare. <sup>di mare freat.</sup>  
Le centrali nucleari <sup>di mare freat.</sup> producono nelle nuove scorie di scarto e quella di vecchia generazione. Oggi si parla di riempire nelle scorie di scorie in un anno.

Centrali e fonte primarie rinnovabili non convenzionali:

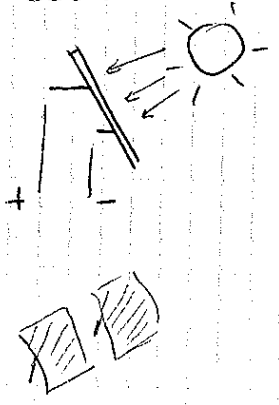
- Centrali eoliche: Il vento fa girare le pale che sono collegate all'alternatore.  $P = \frac{1}{2} \rho A v^3 [W]$ . Solo il 20-25% può essere trasf. in energia elettrica.



L'alternatore non può muoversi e velocità smorza quindi l'energia elettrica va trasformata attraverso convertitori statici. Sono stati fatti anche impianti off-shore (in mare vicino alle coste). Oggi gli ambientalisti chiedono che siano brucati da vetere.

Gli impianti eolici fanno anche scherzi: l'ho per caso si trovano senza carico viene fucata la pala (Per un errore della Geminae quasi tutte l'Europa ha rischiato di rimanere al buio) Questo incidente ci ha insegnato che esistono dei limiti sulle potenze massime da fonti non regolari.

Centrali fotovoltaiche si basano sulle proprietà di alcuni materiali di trasformare in energia elettrica l'energia del sole.



Esistono varie tecnologie di produzione basate di solito sul silicio cristallino (altre sono fibre sottili, tubolari, si spera sulle nanotecnologie in futuro).

Le celle vengono organizzate in strisce esposte ai raggi solari. La tensione prodotta è sempre continua. Per alimentare gli utilizzatori sono necessari gli inverter. Gli inverter possono essere associati all'intero sistema oppure al serbatoio delle singole celle e pannelli; (in questa soluzione si hanno più inverter.) Per l'inverter sono state utilizzate varie tecnologie. Di solito si ha:

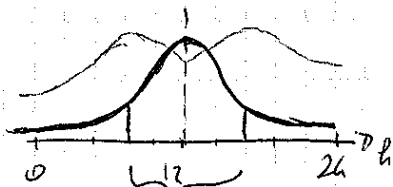
- uno stadio di conversione statica
- il trasformatore.

Gli inverter sono cause di perdite. L'elemento che causa più perdite è il trafo. In alcuni casi si toglie il trafo e si gioca solo con l'elettronica.

Si hanno sistemi con trafo convenzionali, con trafo in alte frequenze o sistemi statici.

Le q.tà di energia solare raccolta dipende dall'ingombro [5-20 m<sup>2</sup>/kWp] e dall'inclinazione delle celle (inclinazione fissa o mobile)

L'ingeggeramento nelle 24 h è di questo tipo  
curve di carico



intervallo minimo di nepp. ed di sotto del quali la prod. è nulla.

In un anno abbiamo circa 1100-1800 h in cui si può sfruttare l'energia solare.

L'energia solare è gratuita.

I moduli fotovoltaici hanno un costo <sup>che</sup> è tale da non consentire un' autonoma giustificazione economica (se non ricorrendo a incentivi non è conveniente utilizzarli).

Per ridurre i costi si fanno sforzi per inserire le celle fotovoltaiche negli elementi architettonici (coperture di tetti o di facciate).



In un'economia di libero mercato se un prodotto è valido trova da se la sua giustificazione economica.

~~Dagli~~ studi sono stati fatti degli studi per capire il costo max dello gener. fotovoltaico per essere conveniente. Le tendenze finali con le attuali

tendenze non porta alla convenienza economica. Il problema è posto nel perché bisogna tenere presente che:

- la produzione fotovoltaica è pulita, non inquinata
- è distribuita (può essere affidata al singolo utente).

Gli stati per favorire la produzione fotovoltaica devono mantenere:

- per l'acquisto e la messa in opera
- certezze di vendere l'energia prodotta (in alcuni casi l'energia prodotta viene scontata sulle bollette, lo stato acquista l'energia ad un prezzo stabilito).

Gli incentivi fanno sì che il tempo di ritorno sia di 10-15 anni. La cella fotovoltaica deve essere pulita (altrimenti diminuisce la produzione).

Alcune celle non sono garantite, i moduli buoni sono garantiti per 20 anni.

Molti paesi industrializzati cercano di mantenere la produzione fotovoltaica.

Ha iniziato la Germania con il programma dei 10000 tetti fotovoltaici. Decisioni sbagliate perché la tecnologia non era ancora sufficientemente evoluta.

In Italia si è avuto un forte problema di programmazione. Sono

stati detti fatti incertivi che hanno comportato un forte boom di installazione. In questo caso sono stati raggiunti gli obiettivi (8 GW) previsti per il 2020 già nel 2011.

E' molto dubbio che le reti non possano superare <sup>temi</sup> ~~scopie~~ di energia massima maggior del 15-20% - Il servizio elettrico deve essere sempre disponibile. Se nell'area in rete centrali fotovoltaiche dobbiamo mettere in rete ~~rette~~ centrali non convenzionali, ne gio' in funzione di base in grado di compensare gli squilibri.

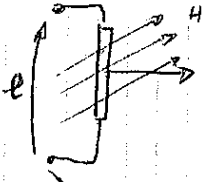
I moduli fotovoltaici sono privi di controllo, cioè non comunicano con il gestore della rete, ne vengono in modo indipendente.

Per la protezione della rete appena c'è un disturbo o irregolarità il modulo viene sgranato dalla rete. La rete elettrica è vecchia, va rinnovata seguendo lo stile della smart-grid che è dotata di moduli di comunicazione e di controllo. Per poter poter creare la smart-grid bisogna che tutti i componenti abbiano le stesse caratteristiche e comunichino nello stesso modo.

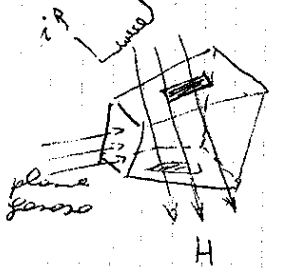
La maggior parte dei moduli fotovoltaici sono prodotti in Cina, qualche buona parte del compenso per la produzione se ne va dall'Italia.

Esiste anche il solare termico che è destinato alle produzioni di acqua calda.

Produzione MHD (magnetoidrodinamica)



L'alternatore cilindrico induce il moto dei conduttori di rame posti in rotazione da una turbina. Nell'alternatore cilindrico si fa conversione energia meccanica / elettrica.



La conversione MHD si basa sull'aver un conduttore sottile. Si realizza un condotto MHD che viene soggetto all'azione di un campo magnetico H. Se facciamo passare un conduttore sottile nel condotto recuperiamo in <sup>suo</sup> capi una f.e.m. in realtà

facciamo passare un plasma sottile (uso conduttore attraverso opportuni propellenti). Disponendo degli elettrodi ai capi del condotto si ottiene una fem che dipende da H e dalle velocità del plasma. Noi forniamo al sistema l'energia termica per ottenere il plasma, il condotto espande il gas che lo genera. Il plasma va fatto circolare in un circuito chiuso. Questo è un sistema di produzione diretta, non si hanno organi meccanici in movimento.

Queste centrali sono considerate centrali di testa. Il plasma che esce dal condotto è ancora molto caldo e può essere utilizzato per scaldare un fluido che mette in rotazione una turbina.

Queste centrali non avranno successo perché i costi sono molto elevati e sono necessarie tecnologie spinte.

Per diminuire le perdite dovute alle bobine si ricorre alle superconduttività (temperature molto basse).

MHD continua ad essere oggetto di ricerca.

Produzione con idrogeno: grande illusione degli ultimi anni. L'idrogeno non esiste in natura allo stato puro. L'H è un vettore energetico, ma non una fonte. Per ottenerlo si usa il processo di elettrolisi. Il processo di elettrolisi può avvenire in vari modi. Una volta che si ha l'idrogeno come trasformatore l'energia dell'idrogeno in energia elett. ? Utilizzo le celle a combustibile in cui viene prodotta elettricità e calore.

Le speranze sulle qualità dell'idrogeno sono state tante (si ha conversione diretta in H / en. elettrica). Queste conversioni ha grossi problemi:

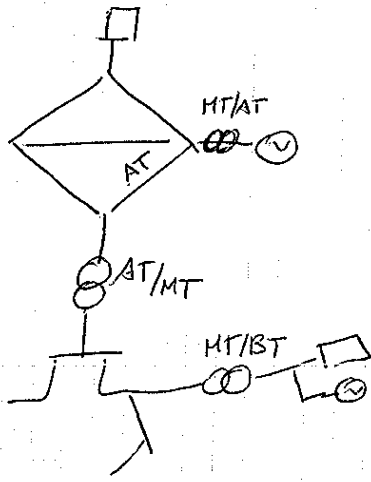
- le celle a combustibile. Esistono diversi tipi di celle, quella per la produzione di en. elettrica che ha avuto più possibilità applicative è la SOFC (solid oxid fuel cell). Inconveniente: dura poco 5-10000 ore.

Le multinazionali hanno constatato che non ci sono campi applicativi per le fuel cell per i prossimi 20 anni e hanno sospeso la ricerca.

Si è pensato quindi alla macchina ad idrogeno. Non è pensabile realizzare un'infrastruttura per il trasporto dell'idrogeno. C'è solo più un ambiente in cui si utilizza l'idrogeno per prod. elett. e ricerca: i sottomarini militari. L'idrogeno è ancora una fonte da utilizzare per l'immagazzinamento dell'energia. Bombole di idrogeno costituiscono riserve di energia. Nei paesi scandinavi utilizza energia eolica per produrre idrogeno che viene immagazzinato per produrre energia elettrica (centrali sperimentali). Anche qualche banca che utilizza gli UPS sta provando ad utilizzare l'idrogeno in sostituzione delle batterie.

# SMART GRID

7



Le smart grid hanno il compito di integrare la generazione distribuita. Si è visto che il sistema elettrico è molto grande (forse il più grande mai costruito dell'uso). Quando è stata costruita la rete elettrica, il generatore alimentava i carichi. Al uscire della

potenza il generatore si è allontanato dai carichi, sono stati inseriti i trasformatori. Fino a giungere alle reti regionali - nazionali e dopo il 1920 sono iniziate le interconnessioni tra gli stati. Oggi il sistema elettrico europeo parte dal Portogallo e arriva in Russia.

Perché è stata fatta l'interconnessione? L'interconnessione presenta molti vantaggi:

- rende il sistema più robusto nei confronti delle variazioni di carico. Se c'è una variazione di carico o una perdita di generazione questo diventa molto meno importante tanto più il sistema è grande.
- I picchi di carico non sono contemporanei in tutti gli stati. Attraverso la politica degli scambi si possono ridurre gli investimenti.

Tuttavia l'interconnessione presenta anche degli svantaggi:

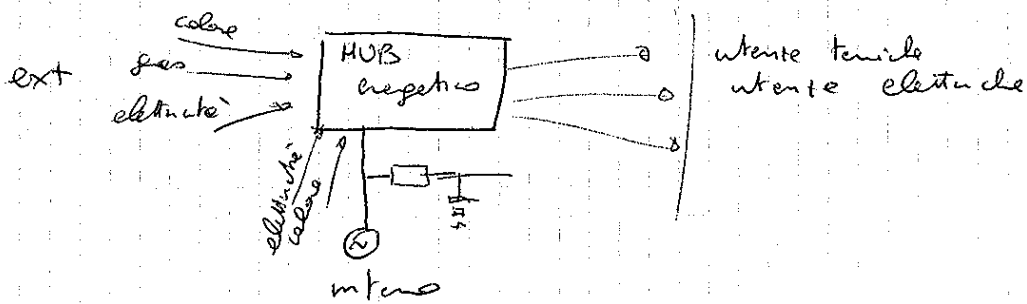
- il sistema è diventato più vulnerabile: un guasto può propagarsi in tutto il sistema.

Dopo le brutte esperienze di black-out si è deciso che bisogna pensare a sistemi più flessibili che siano in grado di sopravvivere autonomamente. L'idea è che se succede un guasto in una zona, questa deve isolarsi dal resto del sistema. Questo è la generazione distribuita.

Questo passaggio dalle generatori centralizzate a quelle distribuite è stato pensato nell'evoluzione tecnologica. Anche le piccole centrali di acqua hanno costi accettabili.

Come è realizzabile la generazione distribuita:

- microgeneratori (1 kW ÷ 1 MW) che possono essere pilotati da microturbine. In diversi casi si ricorre alla cogenerazione (generazione di energia e di calore). La cosa diventa una sorta di HUB energetico.



L'HUB energetico va considerato a livello di case, industria, condominio, ...  
 L'hub energetico deve essere in grado di comunicare con l'esterno e dare attuazione delle politiche di gestione.

La creazione di questi hub energetici è il punto primo per la generazione distribuita. La cogenerazione non è sempre fattibile (i consumi elett. e termici non seguono lo stesso diagramma).

In certe centrali termoelettriche convenzionali è del 35-40%, quindi il 60% dell'energia va in calore. Anche nelle centrali grandi nasce il problema della cogenerazione. Per sfruttare il calore alcuni operatori fanno ricorso al teleriscaldamento.

Un ultimo ritrovato è la trigenerazione: calore, elettricità e freddo. In alcuni casi è possibile utilizzare la trigenerazione.

La cogenerazione deve anche confrontarsi con il livello dell'inquinamento. Il petrolio comburebbe completamente se si potesse immagazzinare l'energia elettrica.

LUT

# TRASMISSIONE DELL'ENERGIA ELETTRICA

8

la trasmissione è a 220-380 kV, molto articolata al nord, meno al sud. la rete è una 41000 km.

la rete è obbligatoriamente meshata, perché è un'infrastruttura critica. (infrastruttura da cui dipende la vita sociale ed economica dell'intero paese).

Nel 2005 l'UE ha stabilito le infrastrutture critiche europee.

L'infrastruttura critica europea comporta obblighi tra gli stati. Se uno stato provoca un disservizio e un altro stato lo subisce, la paese che lo ha provocato è disservizio paga i danni. I potenziali candidati sono:

- infrastruttura dei trasporti
- " " gas
- " " acqua
- " " elettricità

Ogni stato può richiedere ad un altro stato di essere infrastrutture critiche europee.

Il sistema di trasmissione è stato nazionalizzato da ogni stato. È diviso in linee e nodi (o stazioni). Le stazioni possono essere neutrici di trasformazione (AT/AT, AT/MT, MT/BT). Il sistema deve essere monitorato istante per istante.

La rete nazionale appartiene a TERNA (che è proprietaria e gestisce la rete di trasmissione).

Terna gestisce la rete con l'obbligo di neutralità. Poiché non c'è un libero mercato è stato creato il GME (gestore mercato elettrico).

Per produrre e acquistare energia elettrica bisogna passare per il GME. L'acquisto e le vendite avvengono:

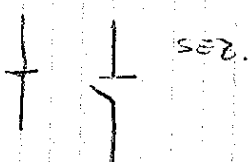
- per contratto
- in borsa: funziona come le normali borse delle azioni

## COMPONENTI del SISTEMA di TRASMISSIONE

- INTERRUTTORI
  - SEZIONATORI
- } sono apparecchi di manovra e protezione. L'interruttore è in grado di interrompere correnti sotto il suo relè di protezione (potere di interruzione).

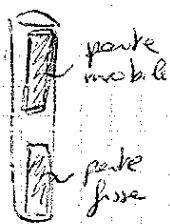


Il sezionatore non è in grado di interrompere correnti (così viene manovrato a vuoto).



L'interruttore quando apre una corrente deve riuscire a dissipare l'arco elettrico che si forma.

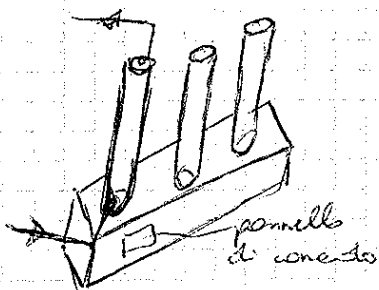
Quindi l'apertura e la chiusura di un interruttore comportano la formazione di un arco elettrico che tende a mantenere chiuso il circuito. Per vincere la resistenza sono necessari diversi accorgimenti. Il tipico interruttore ad alte tensione è costituito da una una colonna con una parte fissa ed una



mobile. Quando si apre l'interruttore le due parti vengono allontanate. L'allontanamento viene comandato da una molla comandata, la molla è precomprimata ed è bloccata da un nottolino. Aprire l'interruttore significa

spingere il nottolino. C'è una molla di apertura ed una di chiusura.

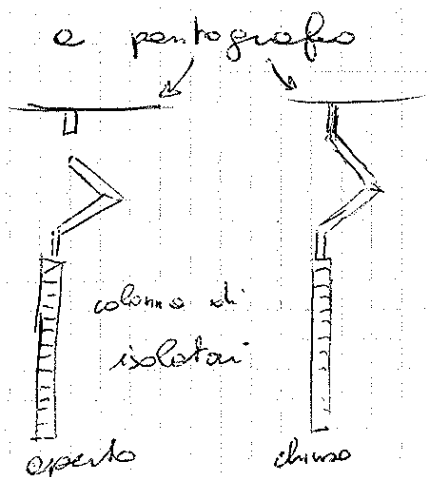
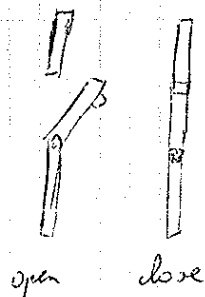
Il tipico interruttore AT si presenta come un sistema a tre conduttori.



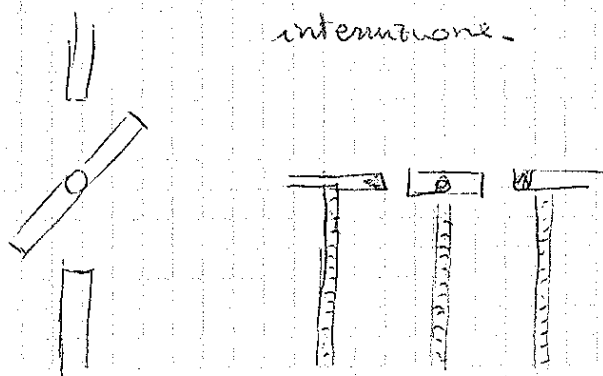
Siano in AT quindi ci sono parti a 220-380 kV. Quindi il tutto sarà montato su catene di isolatori.

L'interruzione è quindi un'operazione complessa che avviene in un volume chiuso.

Le norme dice che per considerare aperto il circuito è necessario che l'allontanamento tra elettrodo mobile e fisso sia controllabile ad occhio nudo. Per questo si usa il sezionatore. Siccome il sezionatore è all'aperto non è in grado di interrompere corrente.



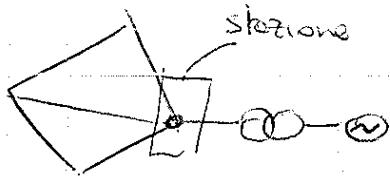
sezionatore a doppia interruzione.





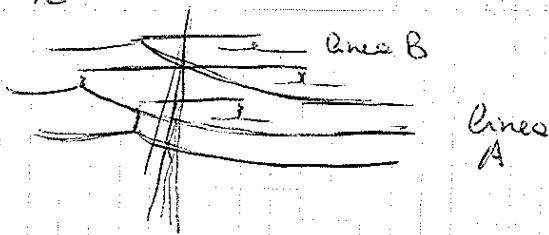
In alta tensione tutte le volte che si mette l'interruttore bisogna mettere 1 o 2 sezionatori. Infatti l'interruttore è un organo complesso e necessita di manutenzione. Per poter fare manutenzione è necessario che non ci sia tensione.

### Schemi di collegamento delle stazioni AT

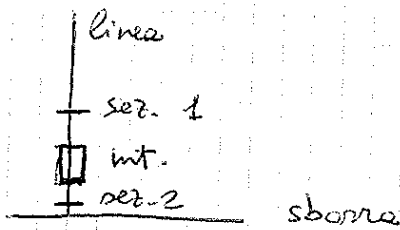


- 1 Linea in arrivo
- 3 Linea in partenza

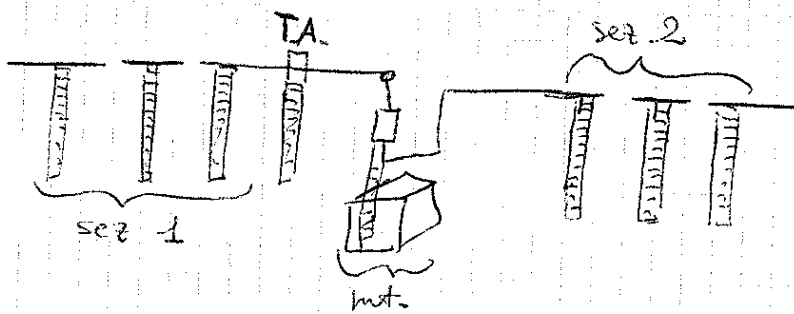
Comre



Consideriamo la Linea A che arriva in stazione. La Linea deve essere manovrata e protetta quindi ci deve essere un interruttore di protezione.



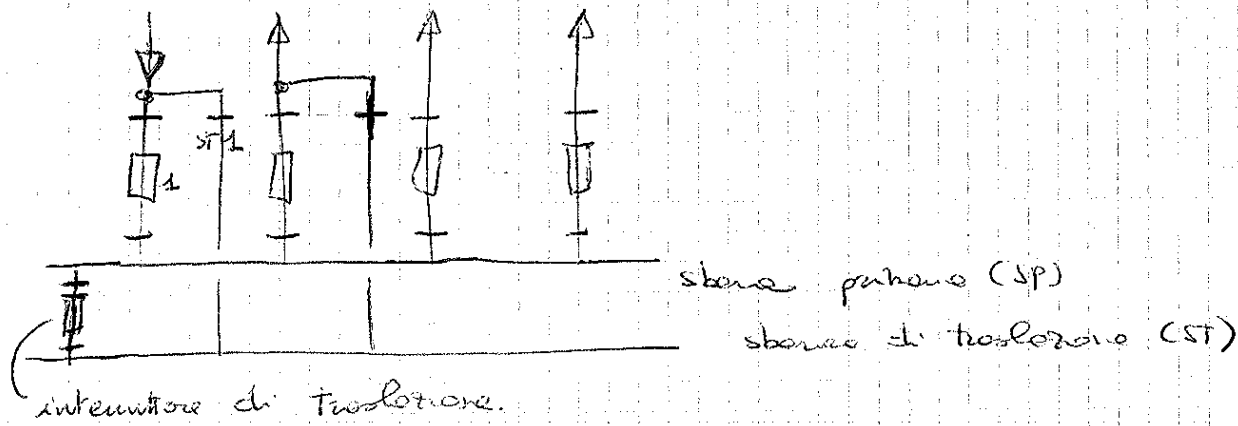
I due sezionatori possono essere aperti solo una volta che l'interruttore è aperto.



L'interruttore è automatico, quindi è azionato da relais. Abbiamo quindi bisogno di un ampermetro e un voltmetro. Si hanno quindi le colonne che portano i TA ed i TV.

Non posso mettere fuori servizio l'intera linea per fare manutenzione. Quindi lo schema precedente non va bene.

Considero l'esempio a 4 linee (3 input - 1 output). Faremo 2 sbarre 3φ



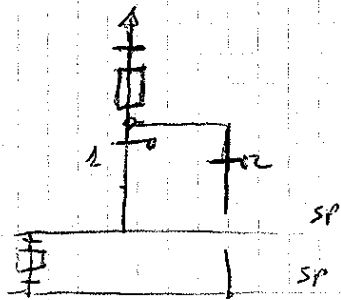
Manovra 1: chiudo i sezionatori dell' mt. di trasl. e il sezionatore ST1

Manovra 2: chiudo l'intermittore di traslazione

Manovra 3: apro l'intermittore 1 e successivamente i 2 sezionatori. In questo caso posso fare manutenzione senza togliere il servizio. Tuttavia non posso fare manutenzione a 2 linee contemporaneamente.

Inoltre se scatta una protezione per un guasto di linea tipo corrente a tutte e due le linee. Inoltre il relè dell' mt. di protezione è tarato per una certa protezione quindi devo verificare la taratura per garantire la protezione. Facciamo le linee uguali in modo da non doverci preoccupare delle tarature dell'intermittore.

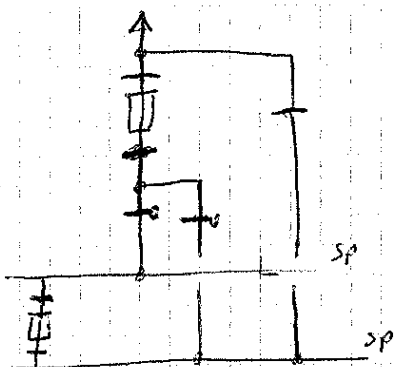
Manutenzioni sulle sbarre



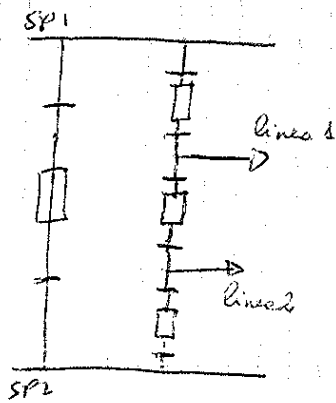
Per mettere i 2 percorsi in parallelo posso manovrare sui sezionatori.

I sezionatori 1 e 2 devono essere sezionatori sotto carico, non può fare manutenzione sul intermittore di linea.

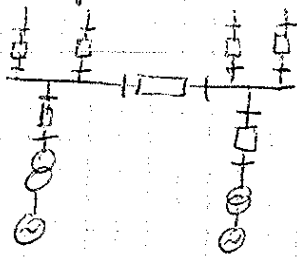
Devo usare il circuito sottostante:



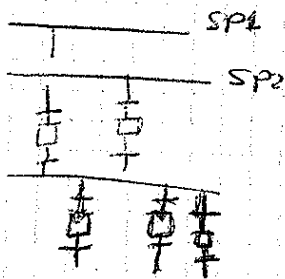
Schema ad un interruttore e mezzo



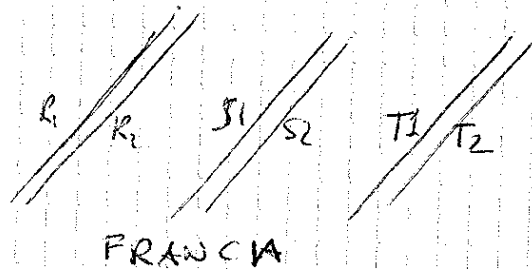
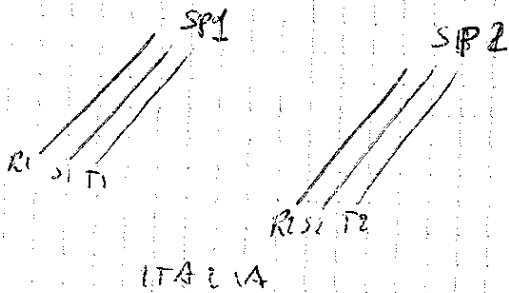
Si possono anche usare le sbarre secondarie



oppure sbarre secondarie



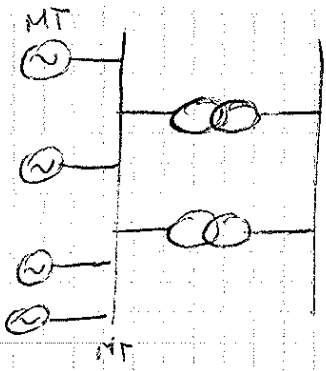
Per creare il sistema di sbarre in Italia i sistemi di sbarre sono costosi:



il punto del sistema francese è che richiede una maggiore attenzione durante la manutenzione perché mentre lavorano su R1 o su R2 rimane in tensione.

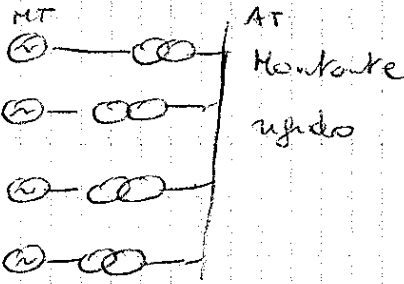
In Italia utilizzano un interruttore unico, mentre in Francia hanno interruttori unipolari.

Linee che provengono dai generatori



AT  
montante  
flessibile

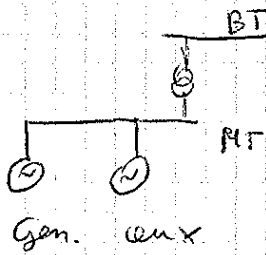
~~Si~~ Si cura sempre di far funzionare il trajo nelle condizioni di massimo rendimento. Quindi conviene il montante rigido.



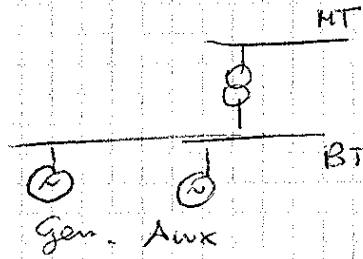
Nessuna stazione può funzionare se non sono attivi i servizi aux. I servizi aux ci devono essere per forza e devono essere in ridondanza e piani alimentati.

Alimentazione dei servizi AUX

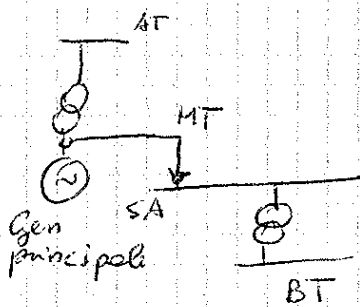
Devono essere alimentati parte in media e parte in alta tensione.



oppure

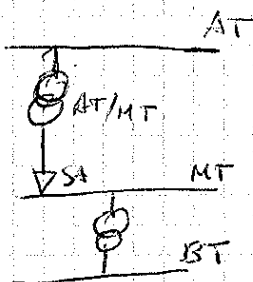


oppure



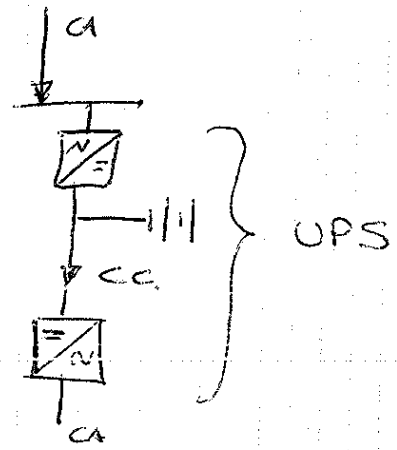
Problema: se netto fuori servizio il generatore principale mi saltano i servizi aux.

oppure



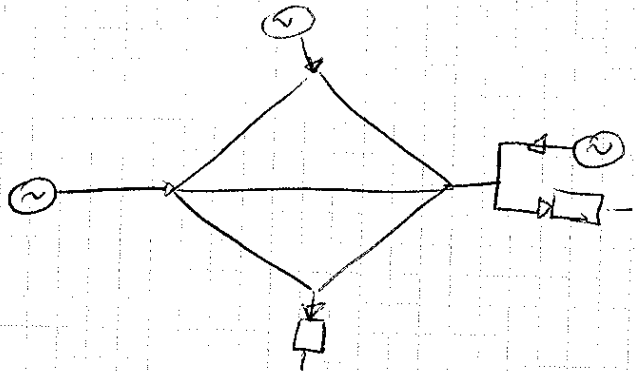
Preleva dalle linee di AT la tensione per poter alimentare i servizi aux in MT e BT.

Possono servirsi anche servizi aux in cc.



Ovviamente in una centrale non si mette un solo sistema, ma più di uno. Si avranno ovvero tutti in parallelo in modo da una funzione.

CONTROLLO del SISTEMA di GENERAZIONE e TRASMISSIONE



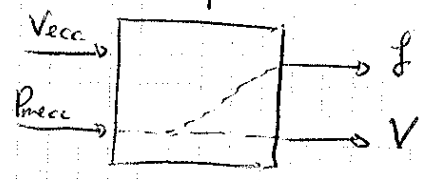
VINCOLI.

- frequenza:  $50 \text{ Hz} \pm 1\%$
- tensione:  $V_n \pm 10\%$

Se si esce fuori dalla fascia di ammissibilità della tensione le utenze funzionano male,

la frequenza è ancora più delicata della tensione (specialmente nei motori). Se aumenta il carico e non aumenta la produzione (non si riduce la velocità dei generatori) si abbassano la tensione e la frequenza.

In ogni nodo io devo verificare la tensione e la frequenza. Sull'alternatore devo quindi avere  $V_{acc}$  e  $P_{acc}$  per poter mettere a posto la tensione e la frequenza.



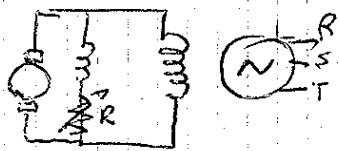
Ovviamente non avendo la potenza verso la frequenza, ne anche in poco la tensione. In generale si può trasmettere la

var. tensione per variazione di potenza.

Quando l'ecutoria va bene molto la tensione, ma poco la frequenza.

In prima approx si può supporre che  $V_{acc} \rightarrow V$  canale reattivo  
 $P_{acc} \rightarrow f$  canale attivo

## Canale di regolazione reattivo (di tensione)



L'eccitazione viene comandata da un dinamo ad eccitazione parallelo.

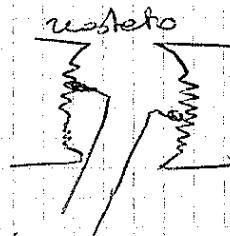
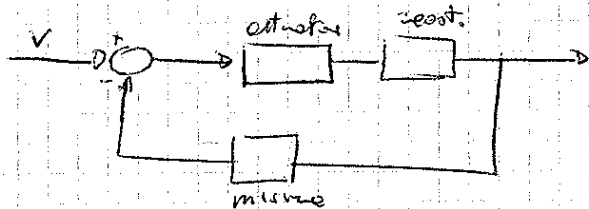
Quando l'eccitazione, varia  $V_e$

Per variare la corrente di eccitazione si usava un reostato variabile sull'eccitazione delle dinamo, ma questo metodo è troppo lento.

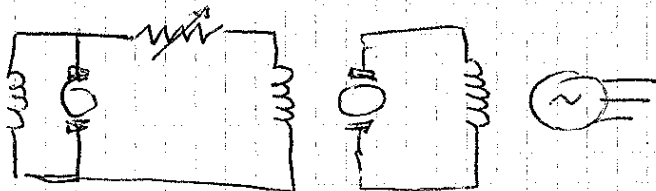
Una regolazione più rapida si ottiene con una resistenza messa in serie all'eccitazione

dell'alternatore. Ovviamente il reostato non era comandato a mano, ma da un circuito automatico.

Schemi del dispositivo di aut.



Il reostato era regolato da un motore.

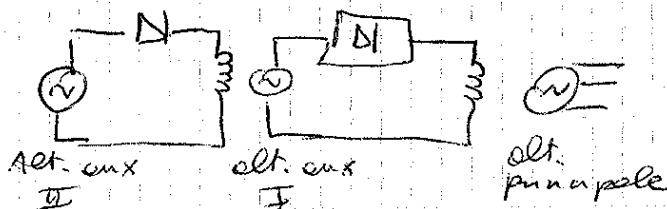


PINAMO  
AUX

PINAMO  
PRINC.

Le dinamo e l'alternatore sono coemali. Questo sistema è stato usato fino alle II guerra mondiale. La potenza impegnata nel circuito di eccitazione dell'1% rispetto a quella del circuito principale. Idem per le dinamo. In sostanza noi abbiamo fatto 2 amplificatori in cascata.

Nel momento in cui l'elettronica di potenza ha fornito gli "invertitori" (raddrizzatori) il circuito è fatto così:

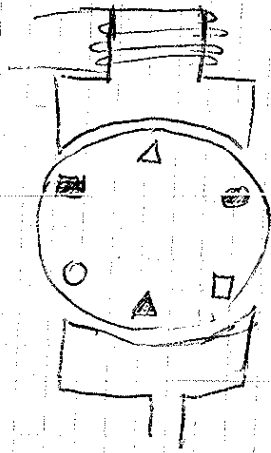


alt. aux  
II

alt. aux  
I

alt.  
principale

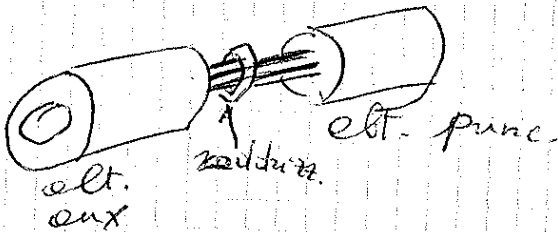
In questo modo si sono eliminate le spazzole della dinamo.  
Tuttavia ci rimanevano le spazzole che portano l'excitatore all'alternatore.  
Sono quindi nati gli alternatori Brushless (cioè che rotore e statore rovesciate) -



Alt. aux.

- In questo modo abbiamo:
- eccitazione sul rotore
  - utilizzatore sullo statore

L'alternatore principale viene una normale macchina sincrona.  
Quindi l'excitatore dell'alternatore principale viene preso dall'excitatore rotore dell'alt. secondario brushless. Di conseguenza non ci sono spazzole.



Per variare la tensione si agisce sull'excitazione dell'alt. aux.

Oggi sono spente le dinamo, non si usano i reostati, ma l'elettronica di potenza.



Se cade la tensione il sistema deve reagire per far tornare la tensione al valore voluto.

Un sistema di controllo di qualità accettabile deve avere le seguenti caratteristiche:

- rapidità del transitorio (T il più piccolo possibile).

- il transitorio deve essere preciso
- esente da eccessive oscillazioni

Se devo alzare la tensione posso fare la "foratura dell'excitazione" cioè pongo un obiettivo maggiore -

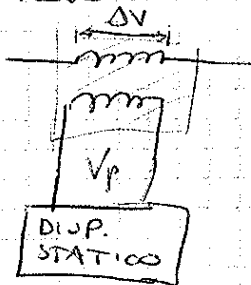
Per farare un motore si usano invece alla "contro eccitazione" cioè impiego come valore finale  $-V_m$  e poi questo raggiunge

lo zero intensifica l'eccezione.

Non possiamo intervenire oppure varia il carico, ma quando la tensione esce della fascia di ammissibilità.

Per regolare la tensione nei vari punti della rete nelle centrali abbiamo a disposizione i circuiti di regolazione, molte hanno altri strumenti:

- i trasformatori sono a rapporto spire variabile. Si può variare il rapporto spire con il "reatore sotto carico".
- i condensatori sincroni che immettono in rete potenza reattiva
- condensatori di risonanza
- FACTS (flexible, alternating current transmission system) sono un ritrovato dell'elettronica di potenza



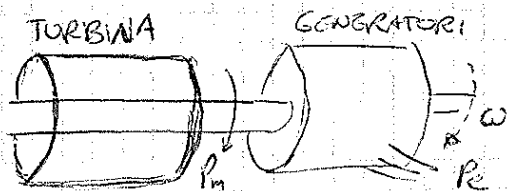
Se verso  $V_p$  verso  $V_s$  e regola la tensione di linea.

I facts danno una grande flessibilità e l'inerzia è molto piccola.

L'altro nemico che oppone all'entrata è la distribuzione generatore distribuita che non ha sistemi di controllo.

### Canale attivo

Se varia la potenza  $P_e$  devo varare la potenza meccanica



Devo aumentare la potenza fornita dalla turbina.

Se la turbina è idraulica.

vario la portata d'acqua. Se la turbina è termica vario il combustibile.

Se fornisco alla turbina una  $P_m$  che regala c'è con la  $P_e$  che va a finire al carico?

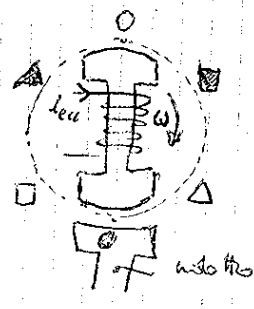
$$P_m = P_e + P_w + P_{\omega}$$

perdite  
acc. del sist. rotante

$$P_w = J \frac{d\omega}{dt} = J \dot{\omega}$$



Le perdite rappresentano un qualche % di  $P_m$  e le trascuriamo momentaneamente. At

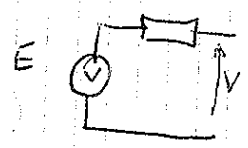


Le tre correnti 3φ che circolano negli avvolgimenti di stator generano una reazione d'indotto che ruota anche lui a pulsazione  $\omega$ .

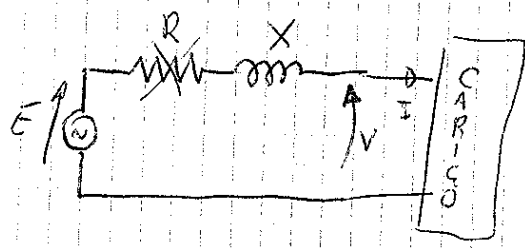
Abbiamo quindi 2 campi magnetici:  
 - d'indotto  
 - di eccitazione.

In condizioni di equilibrio i 2 campi magnetici ruotano alla stessa velocità

Rappresentiamo il generatore equivalente. La forza elettromotrice  $\vec{E}$  dipende dall'eccitazione. La reaz. d'indotto la interpretiamo come impedenza equivalente.

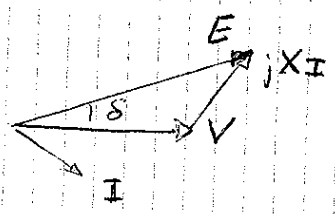


Se chiudo sul carico l'av. statorico  $V \neq E$  perché circola una corrente  $i$  e c'è la reazione d'indotto.



Poiché trascuro le perdite, trascuro la resistenza.

$$I = \frac{E - V}{jX}$$



Nel caso disregolato

$$\vec{V} = V + j0$$

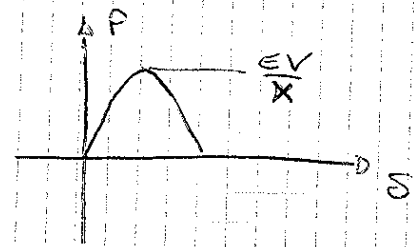
$$\vec{E} = E \cos \delta + j E \sin \delta$$

$$\vec{I} = \frac{E - V}{jX} = \frac{-jE \cos \delta}{X} + \frac{jV}{X} + \frac{E \sin \delta}{X}$$

$$= \frac{E \sin \delta}{X} - j \left( \frac{E \cos \delta}{X} - \frac{V}{X} \right)$$

$$S = V I^* = P + jQ$$

$$P = \frac{EV}{X} \sin \delta$$

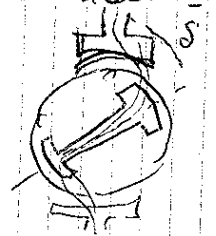


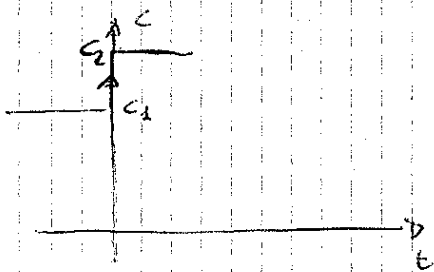
In generale

campo ~~rotore~~ d'indotto e campo di eccitazione non sono

in questo caso:

Più aumentato  $\delta$  più aumentata la potenza erogata. Il max è per  $\delta = 90^\circ$  ma si rischia l'instabilità delle macchine.

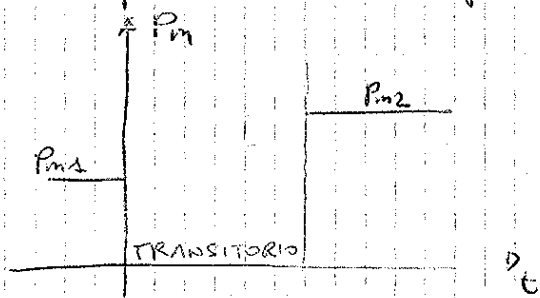




Immaginiamo che c'è un carico  $C$  cost. per  $t < 0$ . in  $t = 0$   $C$  cresce con un salto e guadino. Per  $t < 0$   $P_m = P_e = C_1$ . All'istante  $t = 0$  a' scade un transitorio.

Al termine del transitorio  $P_m = P_e = C_2$  - d'esp. E' ponere da  $S_1$  a  $S_2$ .

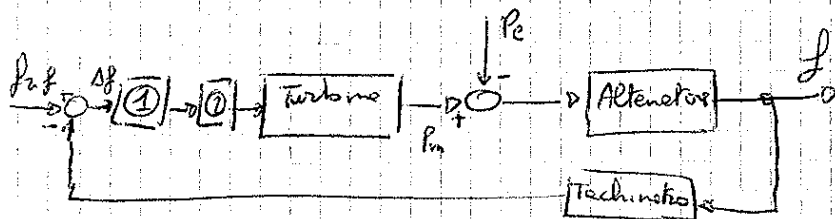
Le componenti delle potenze  $P_m$  sono come repr. in figura.



Bisogna avere un sistema di controllo.

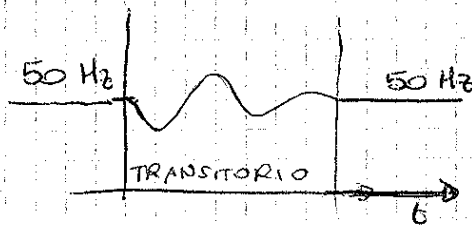
Schema a blocchi del controllo.

Se



- ① servomotore
- ② Distributore

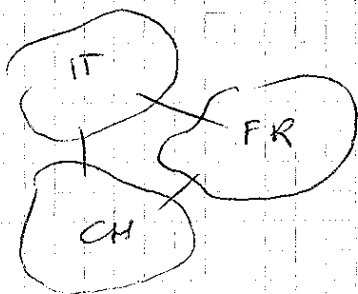
Se  $P_m = P_e$  la frequenza  $f$  è costante. Se aumento il carico la macchina frena e scende  $f$ .



Quali sono i requisiti del transitorio:

- rapido ( $T \approx$  minuto)
- preciso (al termine del transitorio deve tornare a 50 Hz)
- non eccessivamente tormentato (regolatamente smorzato)

I sistemi oggi sono interconnessi. L'interconnessione è



utile perché la variazione di velocità dipende dal momento d'inerzia (la variazione di  $P_m$  la variazione di  $C$  è piccola perché  $C$  è piccola e  $C$  variazione di velocità).

Nel sistema continentale europeo se si perde una centrale la frequenza cambia di poco.

Il problema è che se si ha una variazione di carico in IT la frequenza varia, tutte le macchine hanno rallentato. Ovviamente per tornare a 50 Hz la potenza la deve dare l'Italia. Ognuno si fa carico delle sue cose. Questa è la regolazione primaria (ovvero la reg. di velocità).

Dopo aver finito il transitorio le potenze scambiate devono essere quelle di prima. (Ovvero quelle previste contrattualmente). Questo è la regolazione secondaria.

In ogni sistema il carico cambia continuamente. Più il controllo interviene più si usano. Non tutte le macchine fanno la regolazione. In un area solo poche macchine fanno la regolazione. (quelle che sono dotate di controllo). Ovviamente le centrali fotovoltaiche ed eoliche non possono essere regolate. Ci vuole una riserva di generazione che sia in grado di fare regolazione primaria e secondaria. Bisogna che le variazioni non portino le macchine in zone di instabilità ( $\delta > 90^\circ$ )

Inoltre dopo la regolazione primaria e secondaria si fa una regolazione terziaria. Finito il transitorio non si è più in sincronismo con il tempo andato, la regolazione deve cancellare il parasso. Se la frequenza era diminuita bisogna aumentarlo in modo da riportare a zero i ritardi/anticipi rispetto al tempo andato. (Ogni area ha l'Istituto metrologico che comunica i tempi. Questo è ritardo/anticipo supera una certa quantità una centrali riporta in pari i tempi).

Con il sistema liberalizzato le centrali appartengono a proprietari diversi. Accounto al mercato delle vendite dell'energia c'è il mercato della regolazione (servizi ausiliari).