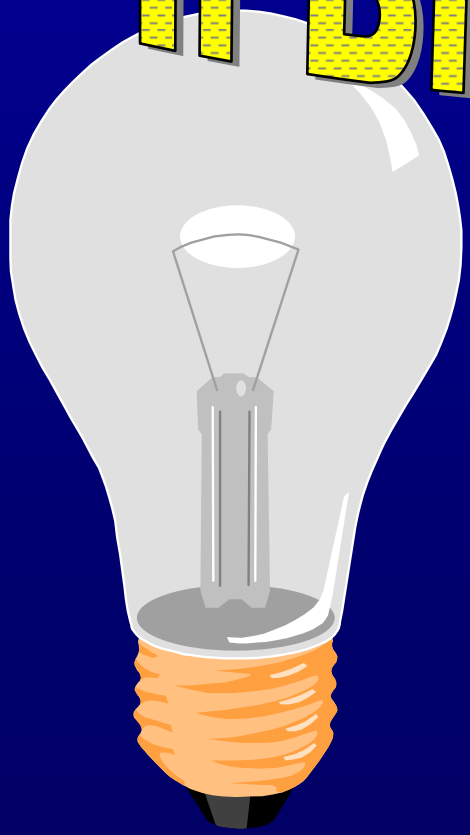
Il Black-Startup



Un simulatore ingegneristico dedicato allo studio della manovra di black-startup di un gruppo termoelettrico ripotenziato con turbogas.

Lavoro realizzato da:

ENEL Ricerca

Università di Bologna

Condizioni di black out

- Guasto che isola una porzione di rete
- Sbilancio tra potenza generata e carico

$P_{GEN} > P_{LOAD}$

Sovravelocità

Derivata potenza attiva elevata ⟶ distacco gruppi

Load rejection gruppi distaccati

$P_{GEN} < P_{LOAD}$

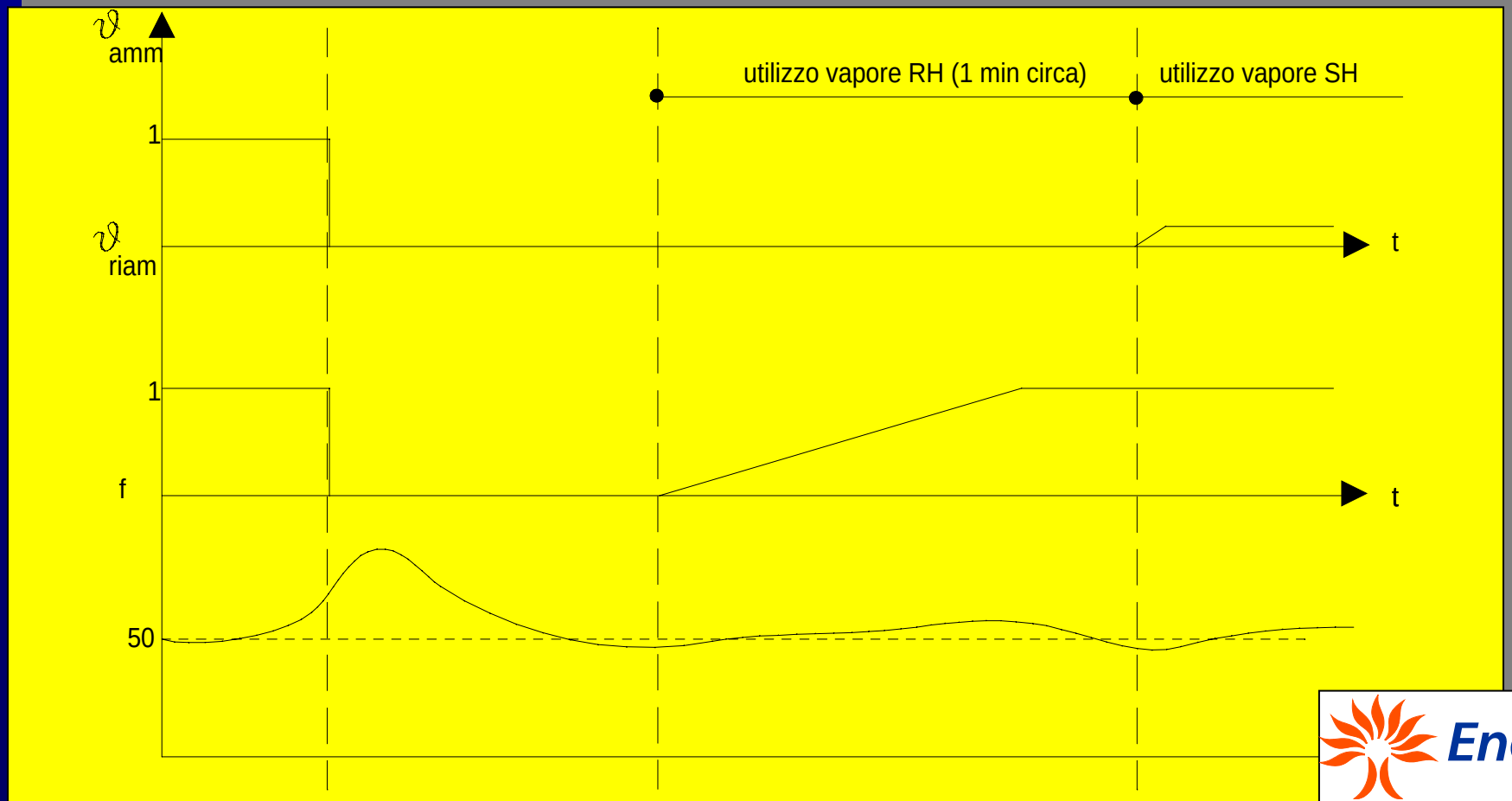
Sottovelocità

Intervento protezioni di rete (alleggerimento carichi)

Se f<47.5 Hz (4s) ,f<46.5Hz (0.1s), opp.f > 55 Hz istantaneamente, si ha scatto turbina, scatto caldaia perdita vuoto condensatore

Manovra di load rejection

- spegnimento fuochi
- chiusura valvole ammissione e riammissione
- lavaggio camera di combustione
- alimento ausiliari con vapore residuo



Manovra di load rejection

- Durante il rifiuto di carico gli ausiliari sono alimentati utilizzando il vapore residuo RH/SH

- Entro 10-15 min si riaccendono i fuochi. Se la riaccensione dei fuochi riesce, il gruppo è pronto per ripartire

- Se la riaccensione dei fuochi non riesce, è necessario rialimentare il gruppo dall'esterno entro 20 min ad evitare di perdere gli ausiliari

Rialimentazione da idroelelettrica

- Raggiungimento della centrale termica a partire da una centrale idroelettrica tramite una direttrice prestabilita
- Le idroelettriche sono preferite alle termiche perché:
  - sopportano forti transitori di frequenza (±10Hz)
  - sono sempre pronte

Piano di riaccensione ENEL

- Per ogni area seleziona:
  - alcune centrali idroelettriche con capacità di riaccensione (dotate di sistemi di backup con gruppi elettrogeni e sistema di regolazione primaria e secondaria di velocità tipo AURET)
  - alcuni gruppi termici ad esse associate (potenza base rampa pari a quella delle idrauliche)
  - direttrici opportune per raggiungere i gruppi termici (linee + carichi zavorra non soggetti ad alleggerimento automatico per evitare l'alimentazione di lunghe linee a vuoto)

Piano di riaccensione ENEL

Ogni direttrice alimenta singoli gruppi di più centrali e non tutti i gruppi di una centrale

Obiettivo: magliare il più possibile la rete

Svantaggi relativi all'uso delle idroelettriche per la riaccensione

- Necessità di verifica periodica tramite prove di riaccensione (prove costose perché richiedono pianificazione e l'intervento di personale appartenente a varie aree ENEL e distribuito geograficamente)

- Problemi al sud ove si dispone di poche idroelettriche lontane (necessità alimento lunghe direttrici a vuoto)

Impossibilità di utilizzare un GV "stand alone" per la riaccensione

- Supponendo riuscita in tempo la Load Rejection e la riaccensione dei fuochi, la caldaia è a basso carico:
  - bassa pressione e basso titolo
  - alta inerzia termica (è piena d'acqua)

- Questo impone forti limiti
  - sull'entità dei carichi zavorra ad ogni attacco
  - sul carico massimo sopportabile in avviamento (valvola di turbina spalancata già a carico basso)

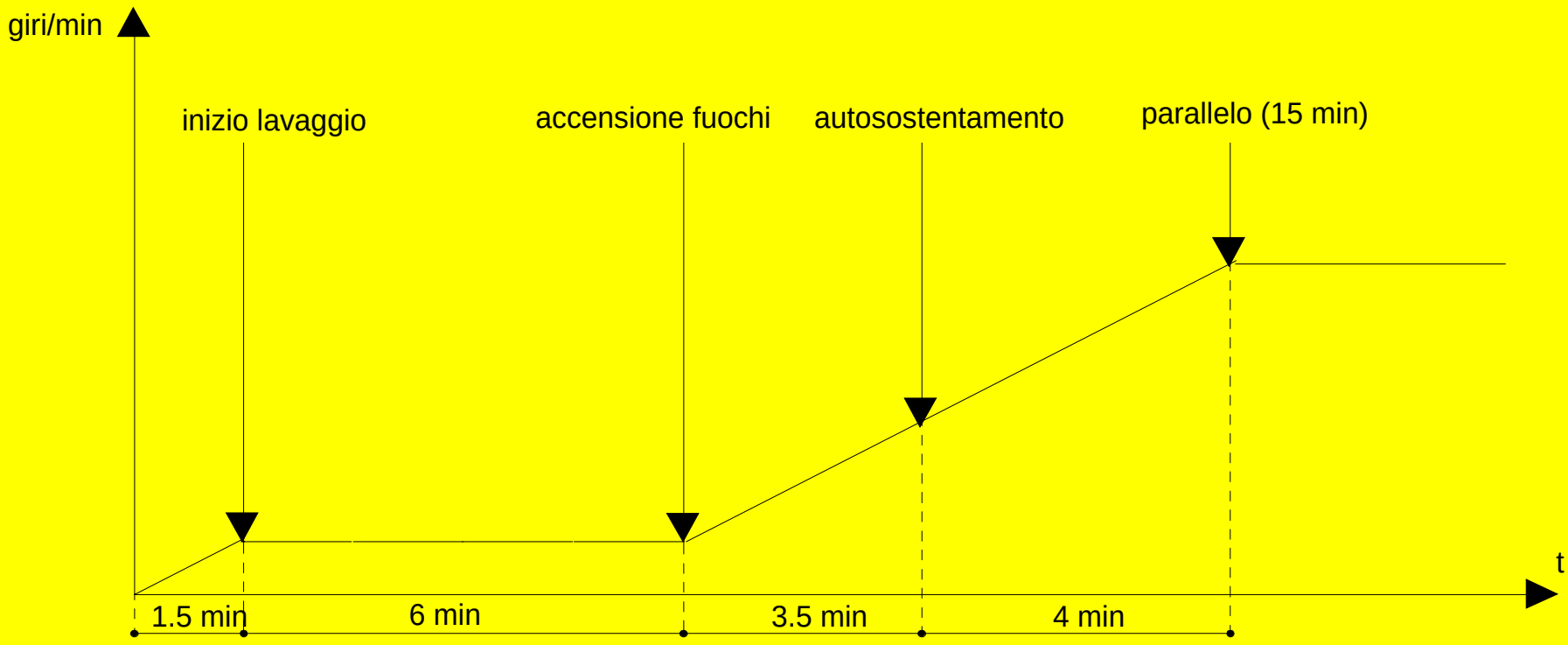
Enel

Quesiti:

1. Utilizzabilità di un TG di repowering (locale) per alimento ausiliari TV

2. Utilizzabilità dell’insieme TG/TV per riaccendere in tempo (20 min) altre centrali

Fase 1: avviamento TG/ alimento ausiliari TV



Gruppo elettrodiesel collegato ad alternatore (usato come motore) tramite convertitore statico

Fase 2: presa di carico TG/TV

TG: costante di tempo maggiore tra combustibile e potenza

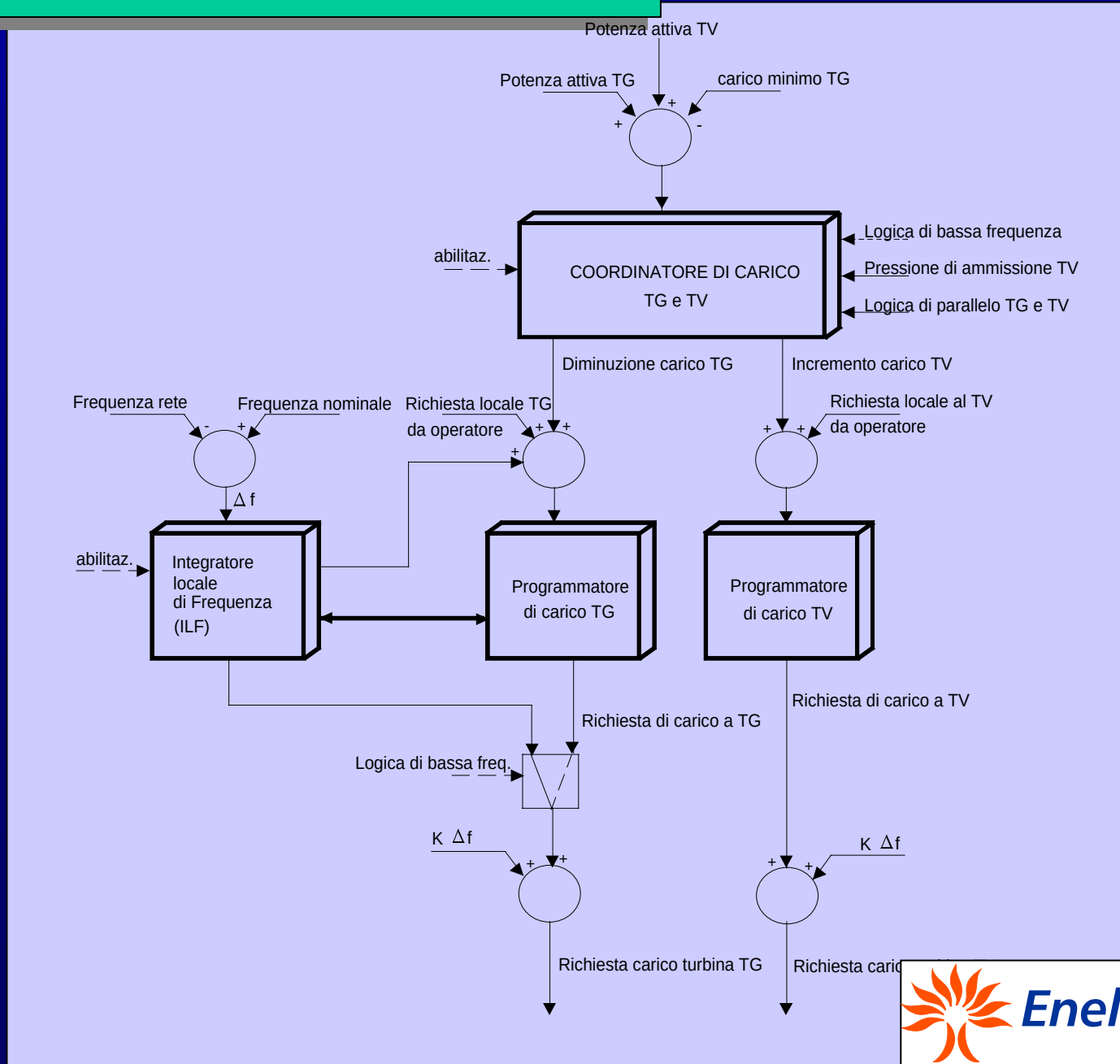
La potenza è disponibile subito

TV costante di tempo minore tra θamm e potenza

Grande inerzia tra combustibile e produzione di vapore

Utilizzare il TG per prendere carico velocemente e riportare a zero l'errore di frequenza (ILF)
Quando frequenza e pressione caldaia sono corrette, scaricare potenza dal TG al TV cosicchè il TG conservi margine per successivi attacchi di carico

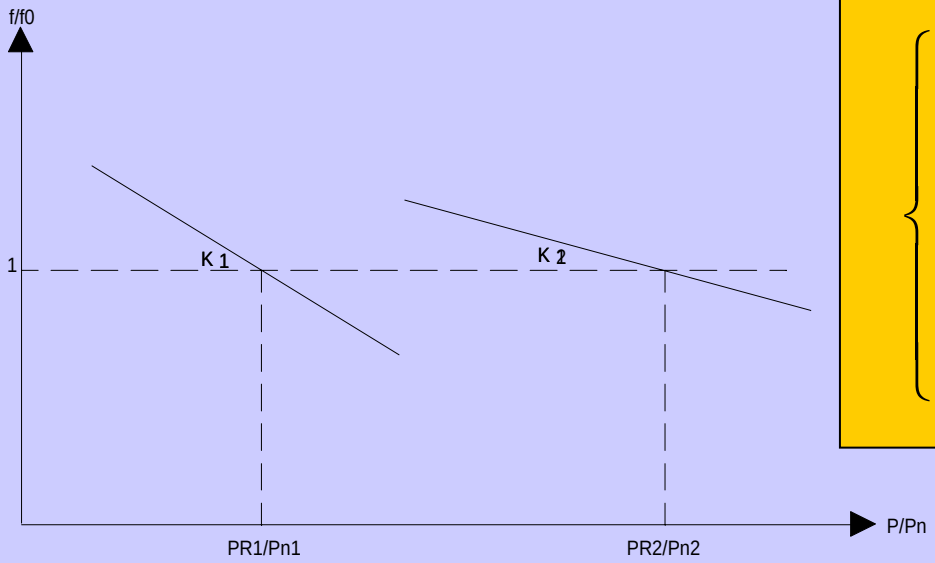
Il coordinatore del carico



Il coordinatore del carico

$$\frac{P_R}{P_n} + \sigma \frac{(f_0 - f)}{f_0} = \frac{P_{mecc}}{P_n} = \frac{P}{P_n}$$

$$\begin{cases} f_1 = f_2 \\ P_1 + P_2 = P_{tot} \end{cases} \qquad \sigma_1 = \sigma_2$$

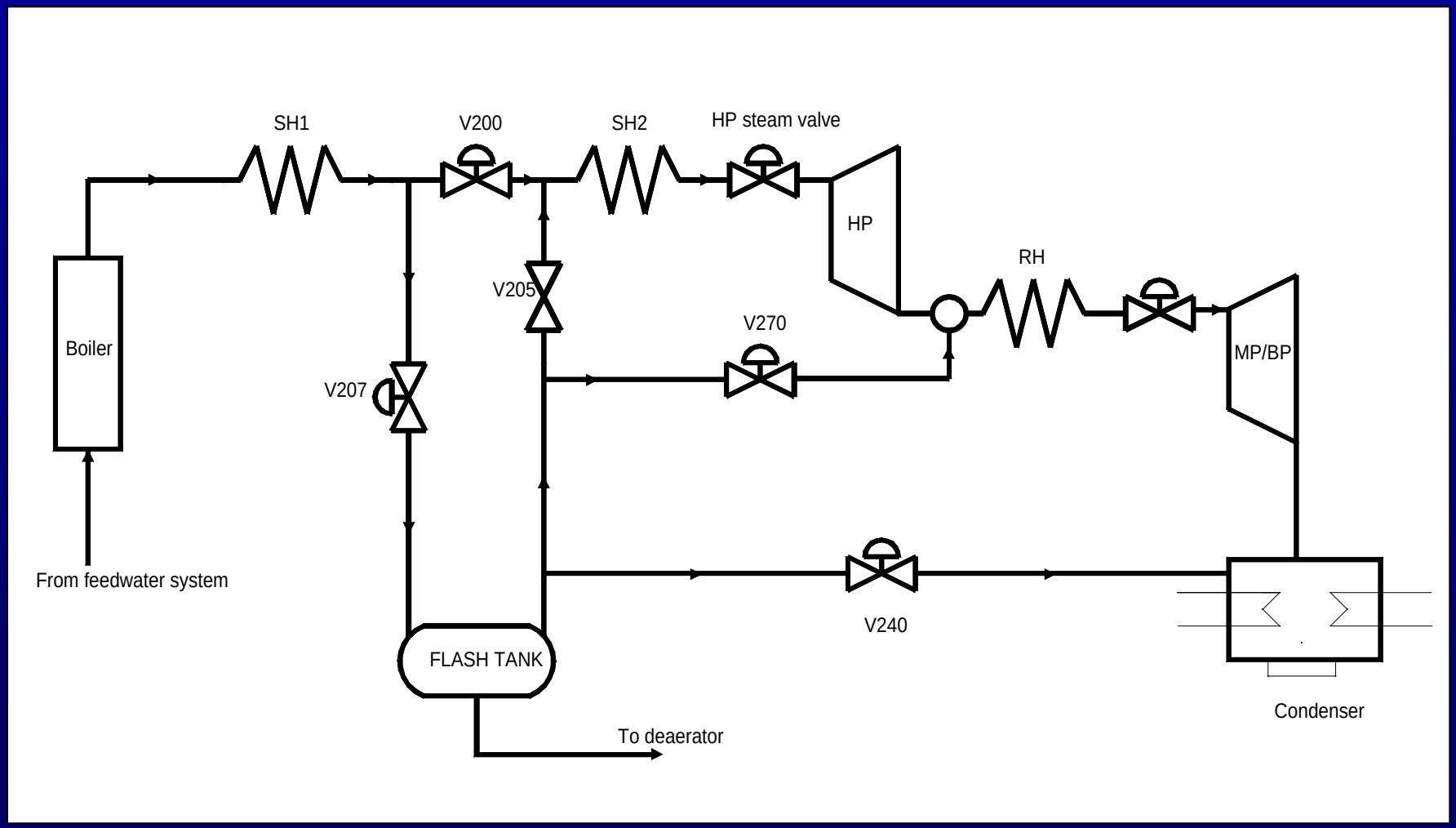


$$\begin{cases} P_1 = \dfrac{P_{n1}\,(P_{tot} - P_{R2}) + P_{n2}\,P_{R1}}{P_{n1} + P_{n2}} \\[2ex] P_2 = \dfrac{P_{n2}\,(P_{tot} - P_{R1}) + P_{n1}\,P_{R2}}{P_{n1} + P_{n2}} \end{cases}$$

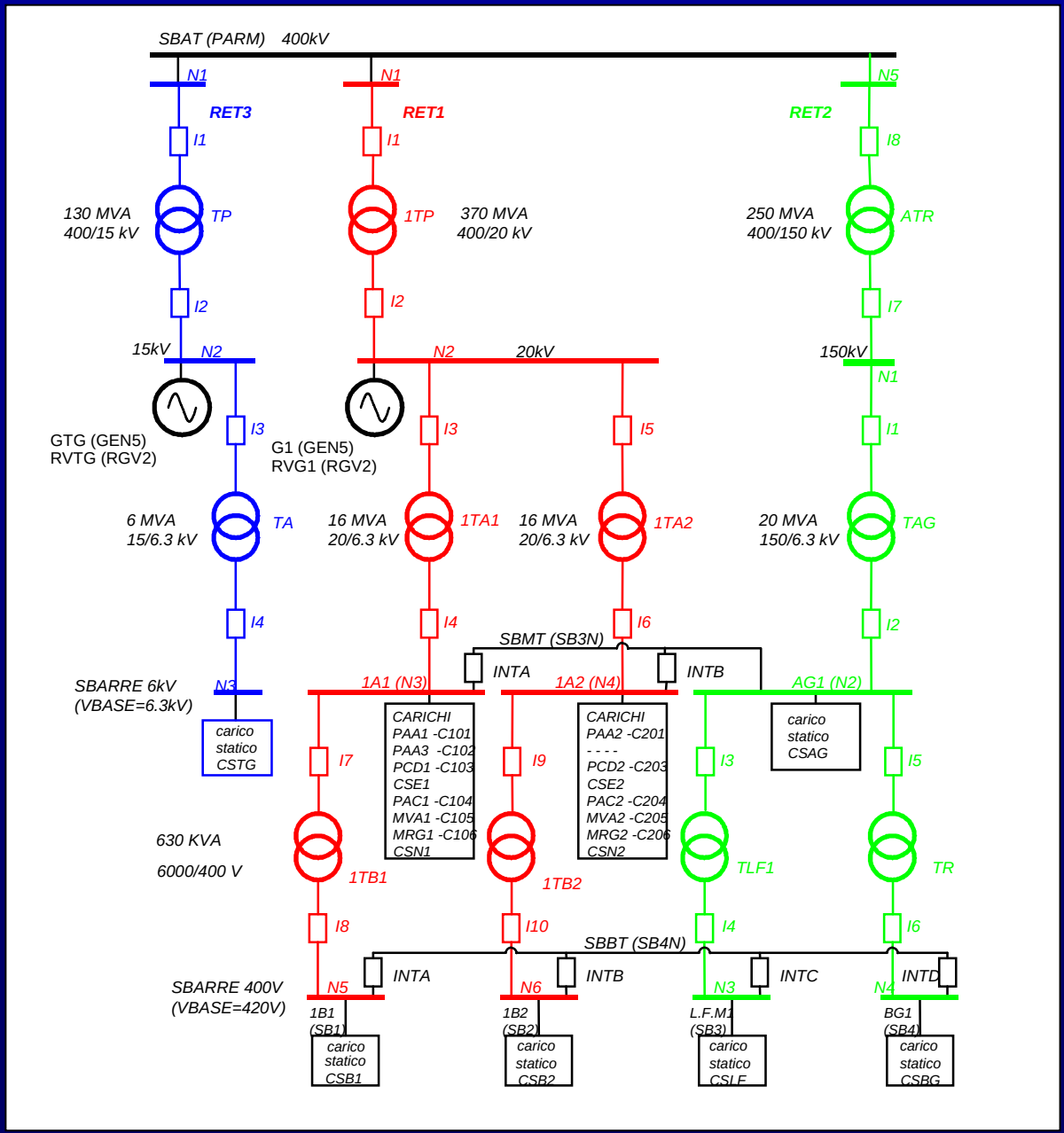
Principali assunzioni modellistica

- La termica non è rappresentata: variazioni ed attacchi di carico evidenziano ΔT_{max}=5-10C
- Portata alimento proporzionale a portata combustibile ad ogni carico
- Produzione vapore proporzionale alla portata alimento, con c.d.t. che aumenta al diminuire del carico
- trascurati drenaggi F.T. (ma considerata opportuna maggiorazione nafta che si annulla quando nel F.T. entra solo vapore)
- Considerati accumuli massa in SH1,FT,SH2

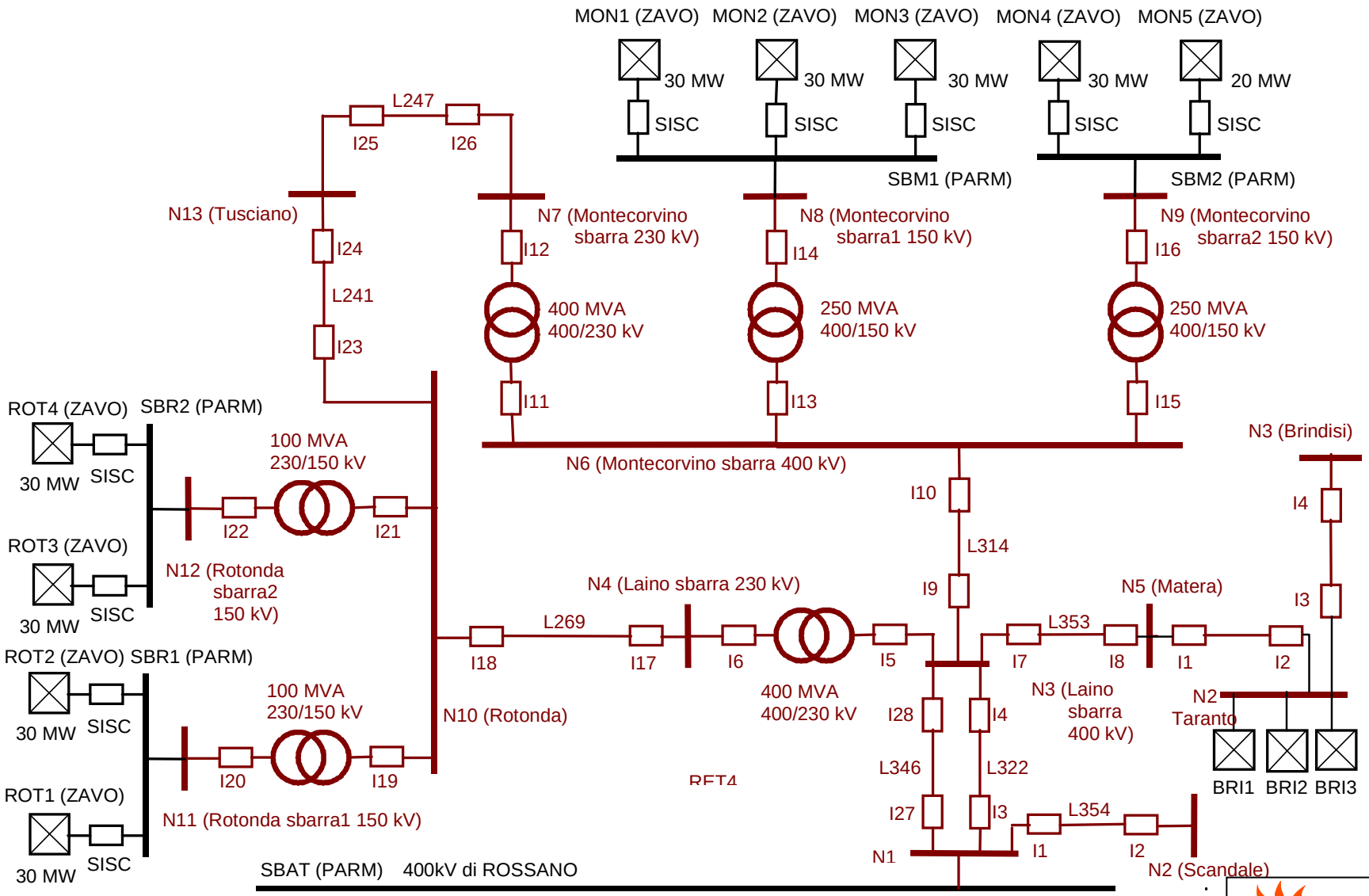
Struttura di processo del gruppo TV



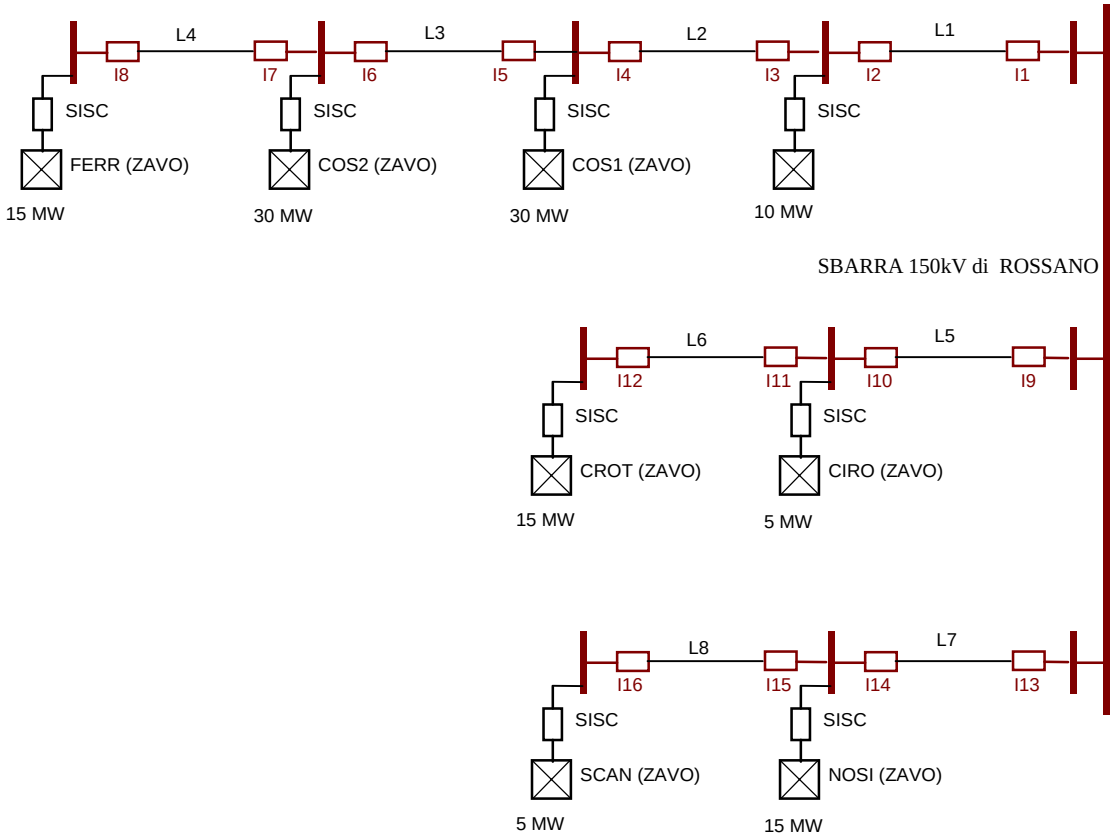
Sistema elettrico ausiliari



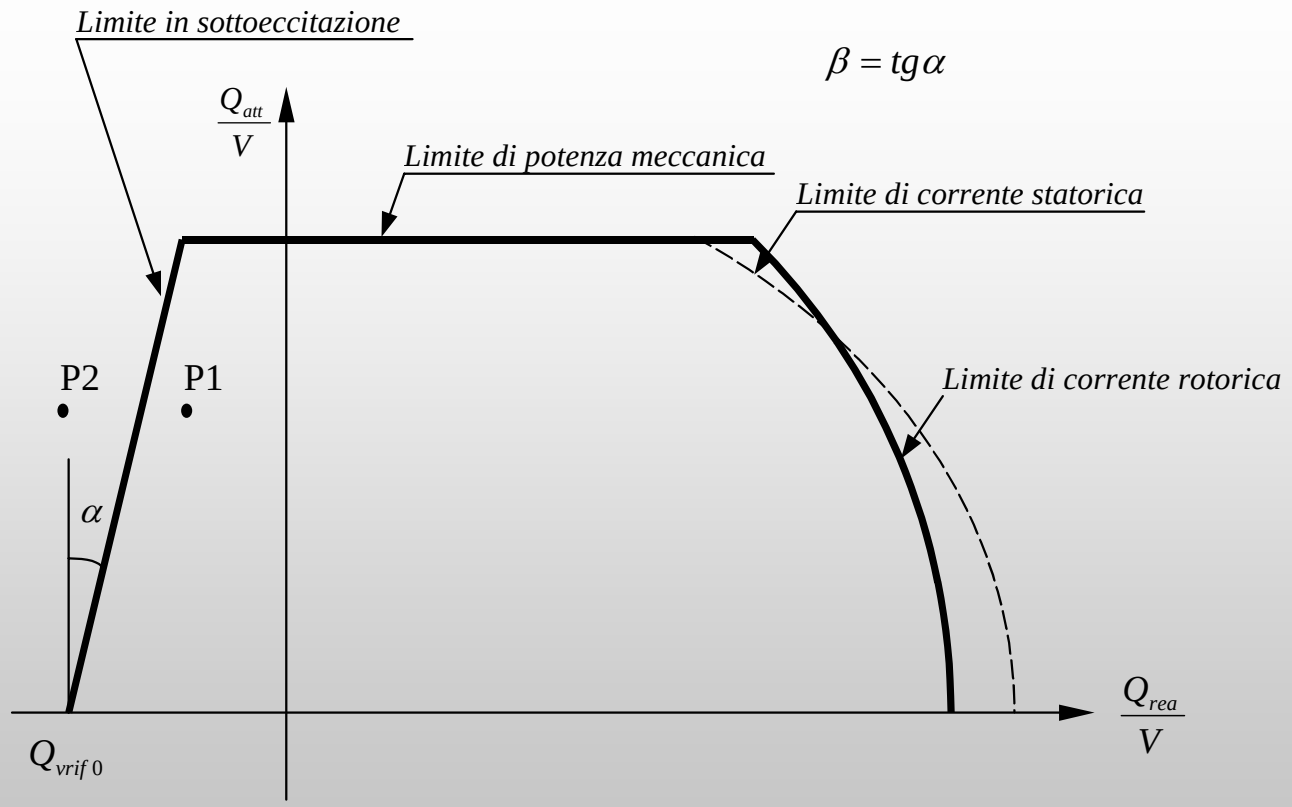
Rete esterna 400/230 kV



Rete esterna 150 kV



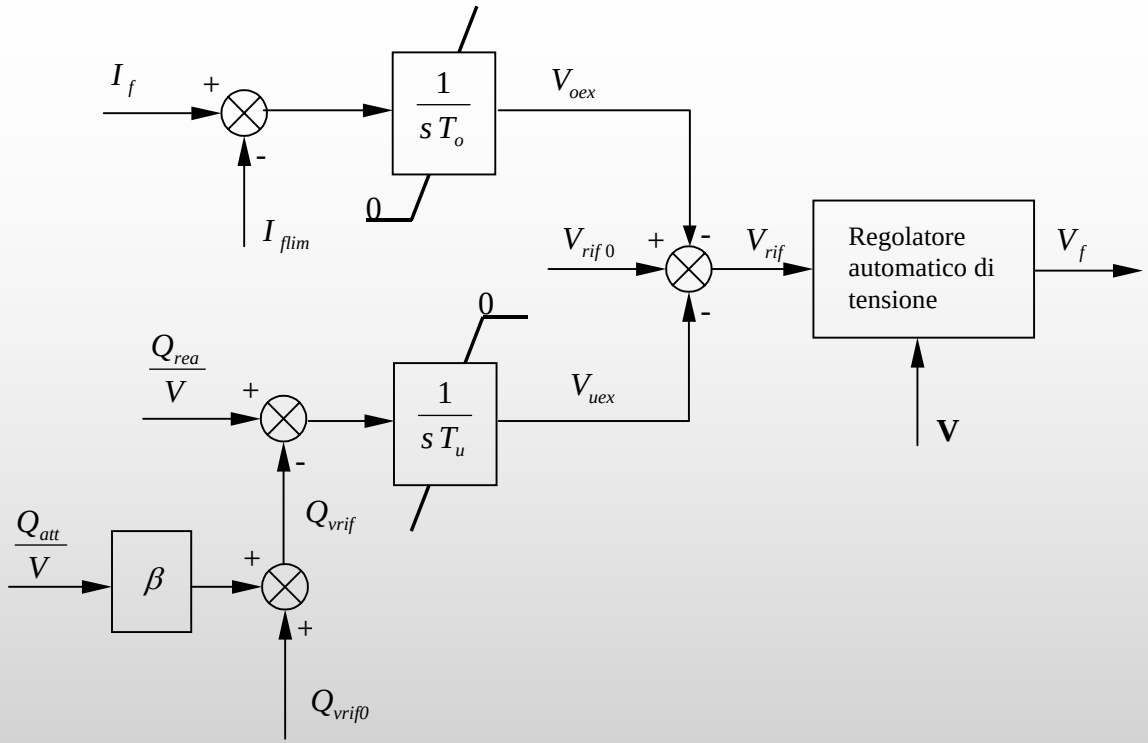
Regolazione di tensione: curve di capability

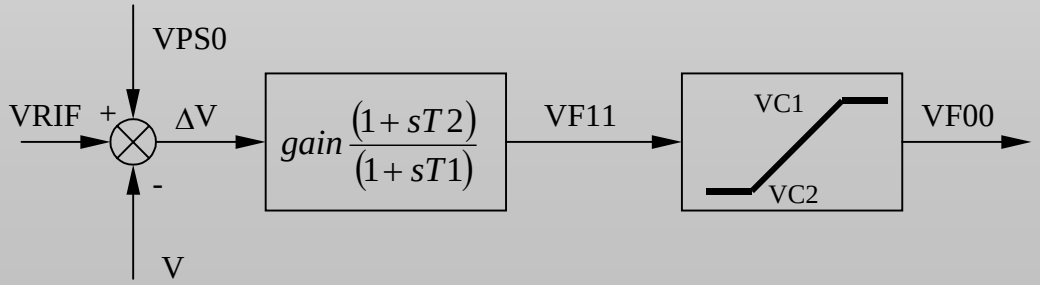


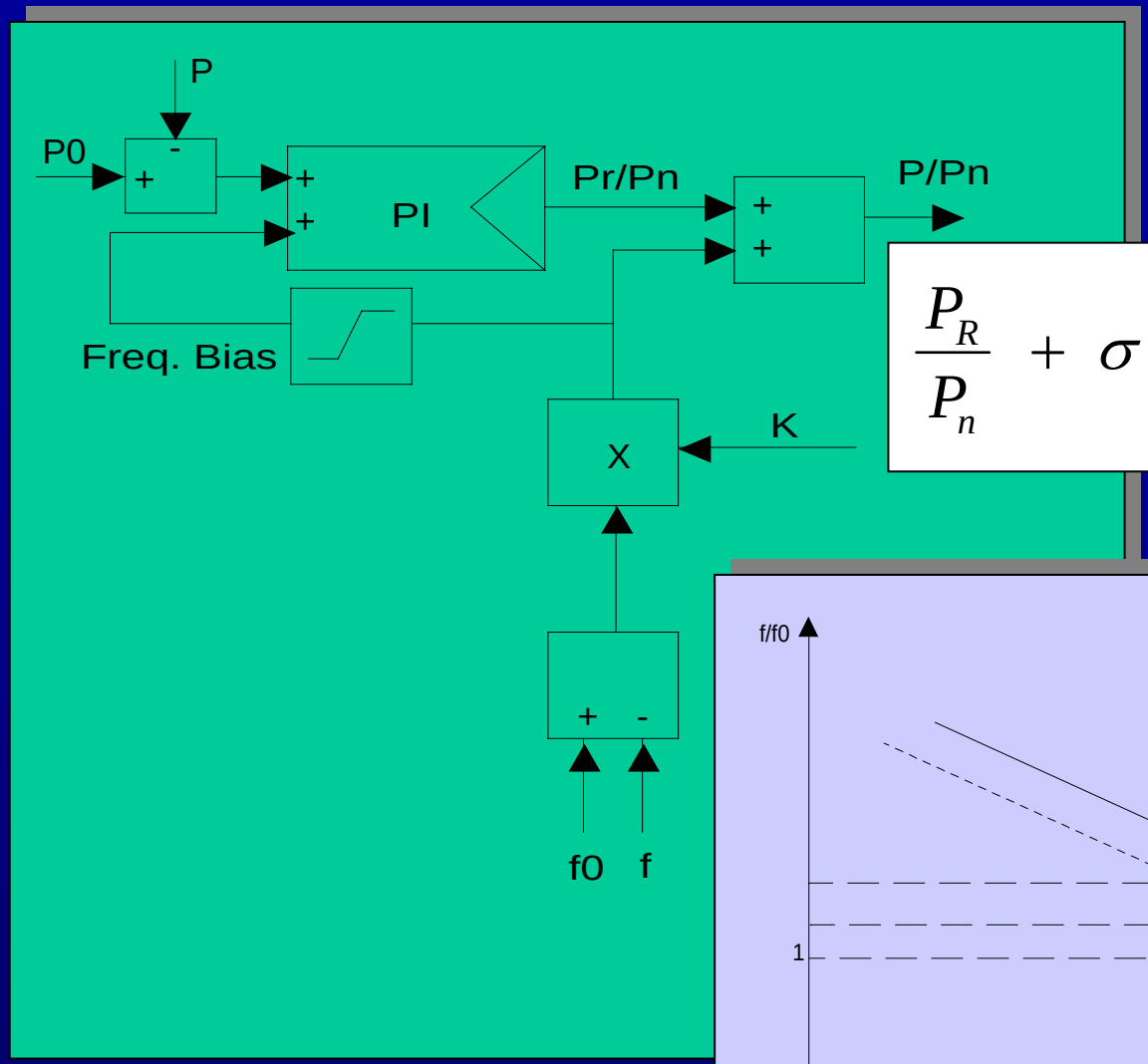
P1 *punto di funzionamento ammissibile;*

P2 *punto di funzionamento non ammissibile;*

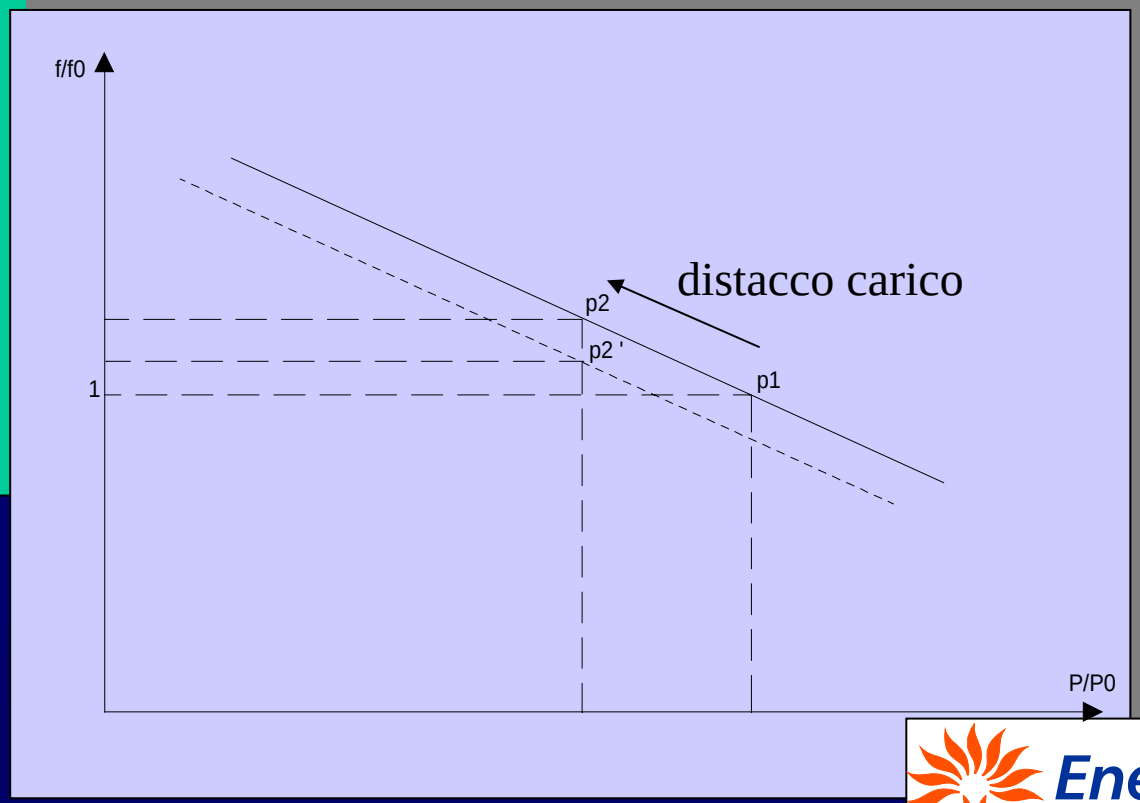
Regolazione di tensione





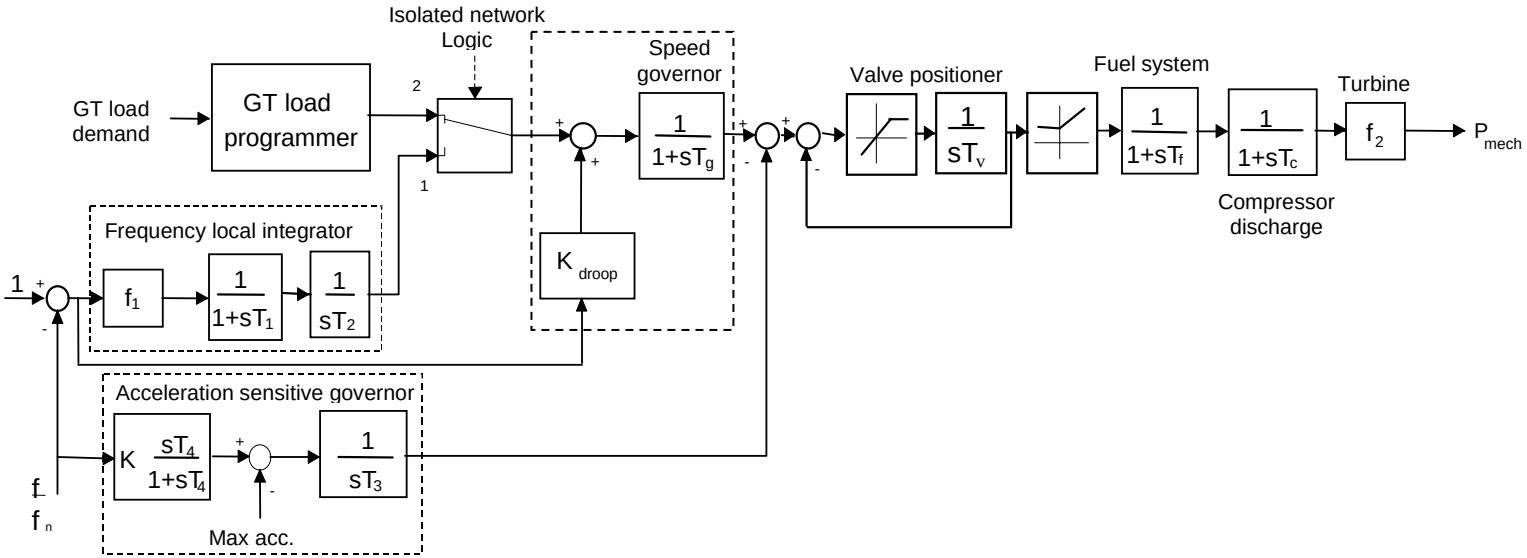


$$\frac{P_R}{P_n} + \sigma \frac{(f_0 - f)}{f_0} = \frac{P_{mecc}}{P_n} = \frac{P}{P_n}$$

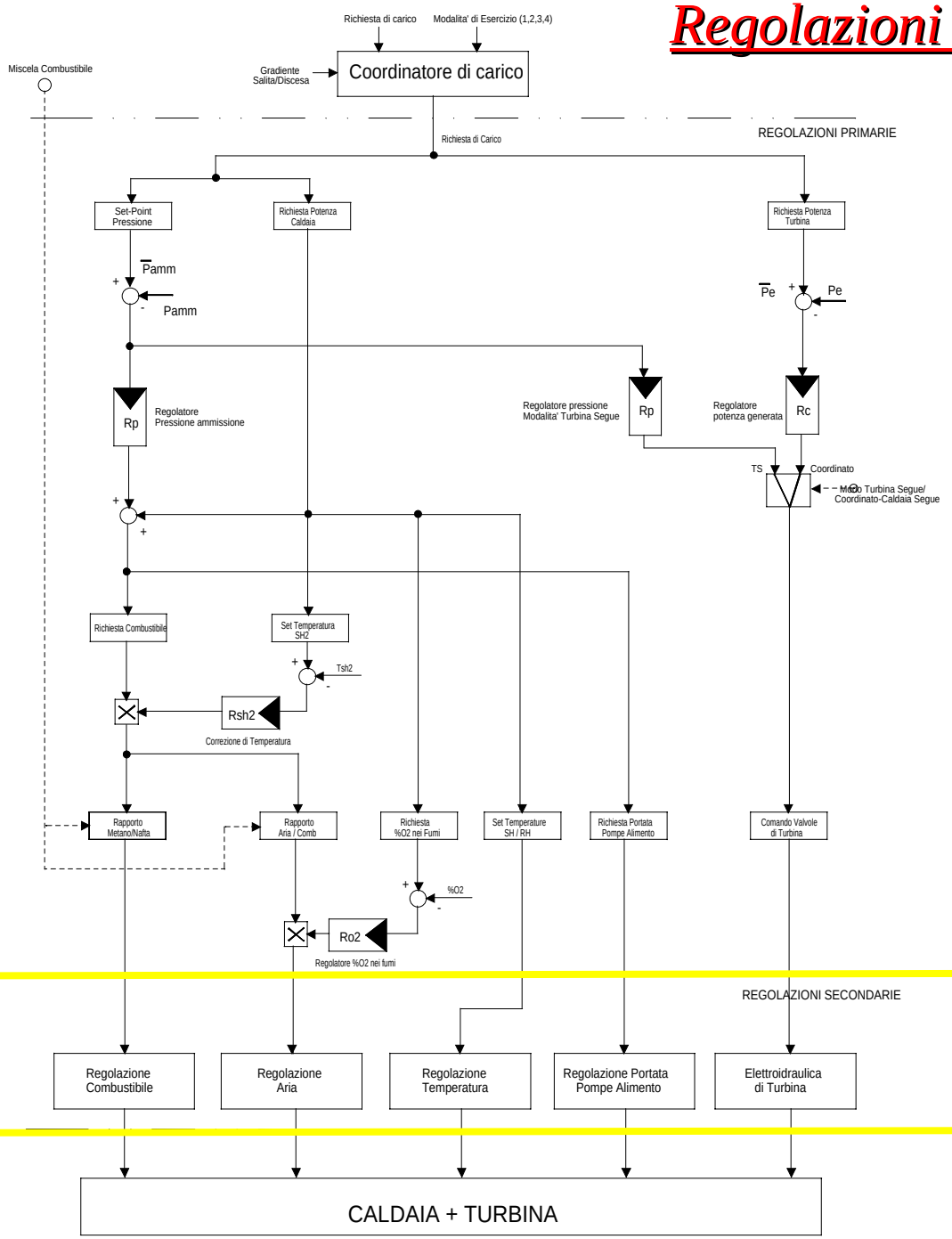


Regolazione primaria di frequenza

Regolazione velocità turbogas



Fasi startup gruppo vapore e modalità di regolazione

- 0-110MW funzionamento su circuito avviamento; richiesta combustibile a programma in funzione del carico richiesto e regolazione carico (potenza) con valvola ammissione
- 110MW esclusione circuito di avviamento e passaggio in turbina segue: richiesta combustibile a programma e regolazione pressione ammissione con valvola ammissione; set point pressione ammissione inizialmente incrementato a rampa fino a 170bar (pressurizzazione) ed, in seguito stabilito in funzione del carico
- a carico stabilizzato passaggio in modo coordinato: regolazione pressione ammissione col combustibile ed il carico con la valvola di ammissione

Regolazioni GV