



Corso Luigi Einaudi, 55 - Torino

Appunti universitari

Tesi di laurea

Cartoleria e cancelleria

Stampa file e fotocopie

Print on demand

Rilegature

NUMERO: 975

DATA: 08/05/2014

A P P U N T I

STUDENTE: Cane

MATERIA: Essenziale di Propulsione di Veicoli Elettrici e Ibridi

Prof. Guglielmi

Il presente lavoro nasce dall'impegno dell'autore ed è distribuito in accordo con il Centro Appunti.

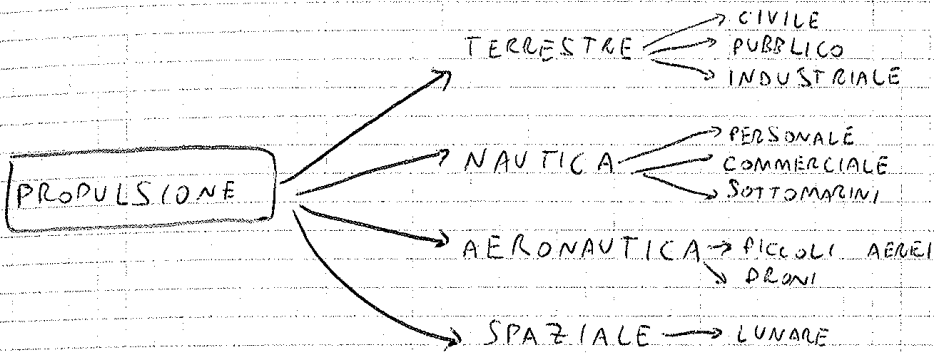
Tutti i diritti sono riservati. È vietata qualsiasi riproduzione, copia totale o parziale, dei contenuti inseriti nel presente volume, ivi inclusa la memorizzazione, rielaborazione, diffusione o distribuzione dei contenuti stessi mediante qualunque supporto magnetico o cartaceo, piattaforma tecnologica o rete telematica, senza previa autorizzazione scritta dell'autore.

**ATTENZIONE: QUESTI APPUNTI SONO FATTI DA STUDENTIE NON SONO STATI VISIONATI DAL DOCENTE.
IL NOME DEL PROFESSORE, SERVE SOLO PER IDENTIFICARE IL CORSO.**

Paolo Guglielmi

331 - 6923927

Dove si trova la **PROPULSIONE**?



PROPULSIONE TERRESTRE CIVILE: automobili (personali, sportive)
moto (personali, sportive)
light electric vehicle (ha omologato...)

PROPULSIONE TERRESTRE PUBBLICA: bus
tram senza fili (elementari solo alle fermate...)

PROPULSIONE TERRESTRE INDUSTRIALE: camion da cantiere
muletto (solo elettrico)
movimentazione terra
trattori agricoli (pochi)

PROPULSIONE NAUTICA COMMERCIALE: grandi navi a trazione ibrida
AZIPOD (brevetto ABB) che è una
nave con il motore in acqua
che si raffredda meglio e fa anche
da timone

PROPULSIONE NAUTICA PERSONALE: attualmente si sta varando una
normativa che impedisce alle grandi
navi di accendere motori termici in
porto. Quindi questa movimentazione

In un veicolo molto elettrico i problemi sono: gli ausiliari (condizionatore ~ 2kW) e la gestione delle perdite (le batterie funzionano bene a 50°C e male a 35°C)
I motivi del perché utilizzare vanno sempre bilanciati con la ragione economica

NORMATIVA

RICHIESTA DI EN. ELETTRICA A BORDO

AUMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA

NO EMISSIONI

} EURO

NORMATIVA: occorre rispettare le normative (emissioni di N_2 e CO_2)
Se il veicolo soddisfa solo queste richieste è MICRO HYBRID (poco elettrico)

RICHIESTA DI ENERGIA ELETTRICA A BORDO

: la richiesta di energia elettrica deve soddisfare gli ausiliari di bordo. Se il veicolo soddisfa anche queste richieste è MILD HYBRID o MINIMAL HYBRID (abbastanza elettrico)

AUMENTO DELL'EFFICIENZA ENERGETICA

: deve massimizzare l'uso dell'energia accumulata a bordo. Se il veicolo soddisfa anche queste richieste è FULL HYBRID (molto elettrico)

LOCALIZZAZIONE EMISSIONI

: facendo un veicolo totalmente elettrico so esattamente dove sono frenati e localmente le saline per la ricarica ed allora posso localizzare le zone di emissione in modo preciso

CLASSIFICAZIONE DI PROPULSIONE : *ingegneria automobilistica*

PROPULSIONE TERMICA $\xrightarrow{\text{SORGENTE}}$ { I.C.E. internal combustion engine
TURBINE

PROPULSIONE ELETTRICA $\xrightarrow{\text{SORGENTE}}$ { BATTERIE (energia elettrica)
FUEL CELLS (idrogeno)

PROPULSIONE BIMODALE (ogni tanto solo elettrico, ma posso anche andare termico)

Ognuno di questi tipi di propulsione viene classificato come sistema di trazione (traction system)

SISTEMA DI TRAZIONE

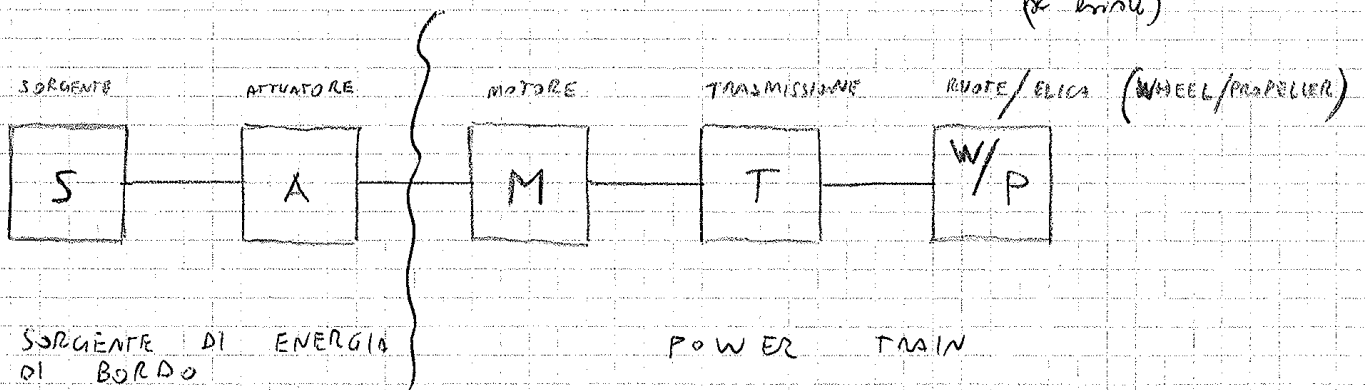
Il sistema di trazione è costituito da:

- POWER TRAIN

- motore (attuatore di coppia)
- trasmissione (fissa, discreta, continua)
- differenziale
- ruote o elica

- SORGENTE DI ENERGIA DI BORDO

- sistema di accumulo
- sistema di conversione (x ruote)



esempio la caduta dell'interiti.

Inoltre usando batterie reversibili (come sorgenti) il sys è reversibile poiché tutti gli altri blocchi sono reversibili (dalle moti alla batteria). L'efficienza del sys visto come reversibile è del 50% circa.

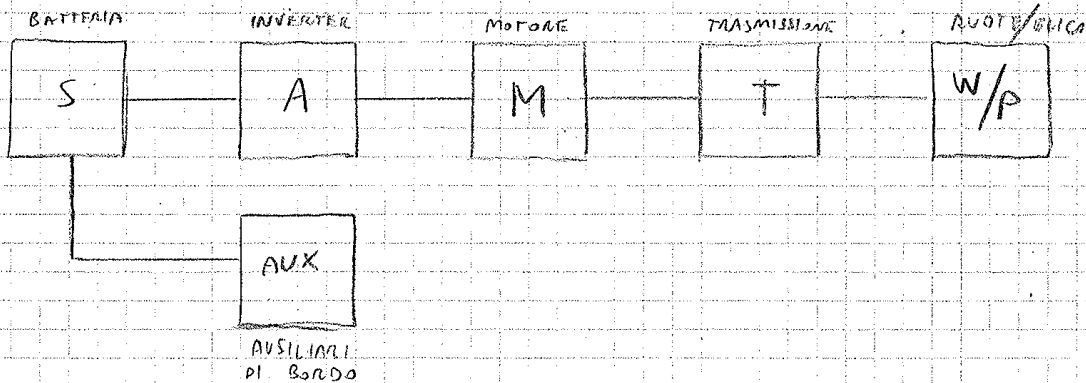
Moto gravitazionale che posso recuperare sia l'energia cinetica (ad esempio quando freno) che l'energia potenziale (quando scendo da montagna e valle).

La differenza tra queste 2 forme di energia è il tempo in cui è distribuita.

La frenata è questione di 2/3 s, ma la discesa a valle ha tempi molto più lunghi. Poiché l'energia potenziale è distribuita in un intervallo di tempo molto lungo la potenza istantanea è praticamente trascurabile (nulla).

$$P = \frac{E}{t} \quad \left[\frac{J}{s} = W \right]$$

Considero gli ausiliari come un consumo in più in fondo allo schema a blocchi (a livello delle moti/elica). Nella realtà il posto migliore dove prendere energia per far funzionare gli ausiliari è alla sorgente, così mi risparmio tutta la catena di rendimenti.



VANTAGGI & SVANTAGGI :

E L E T T R I C O	SVANTAGGI PROPULSIONE ELETTRICA	<ul style="list-style-type: none"> - autonomia (legata alle batterie) - costo (legato alle batterie ed al fatto che non si producono veicoli elettrici su larga scala) - business (chi produce veicoli termici, produce anche motori termici)
I C O	VANTAGGI PROPULSIONE ELETTRICA	<ul style="list-style-type: none"> - reversibilità
T E R M I C O	SVANTAGGI PROPULSIONE TERMICA	<ul style="list-style-type: none"> - scarsissima efficienza - normativa (emissioni CO₂) - riscaldamento (trascurabile)
T E R M I C O	VANTAGGI PROPULSIONE TERMICA	<ul style="list-style-type: none"> - autonomia - tecnologia avanzatissima (ogni dettaglio è curatissimo)

Veicoli ibridi

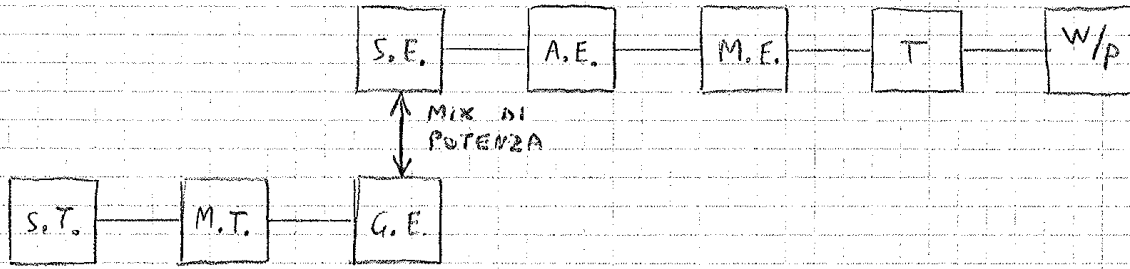
I veicoli ibridi termo-elettrici possono essere :

- semplici
- complessi

Gli ibridi semplici sono caratterizzati da 2 traction system (1) elettrica e (1) termica

Gli ibridi complessi sono tutti quelli che superano questo punto di complessità

Double energy storage

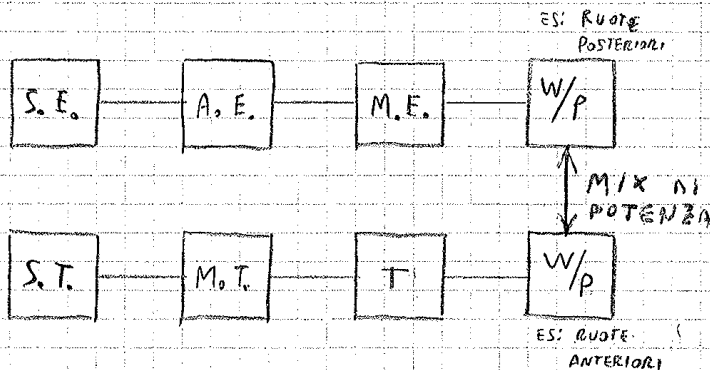


Nel caso Double energy storage posso scegliere quanto energia erogare dal termico, mentre nell'ultimo caso è praticamente impossibile.

IBRIDI SEMPLICI PARALLELO

Ho 2 traction systems che si devono incontrare a livello meccanico

Dual drive system



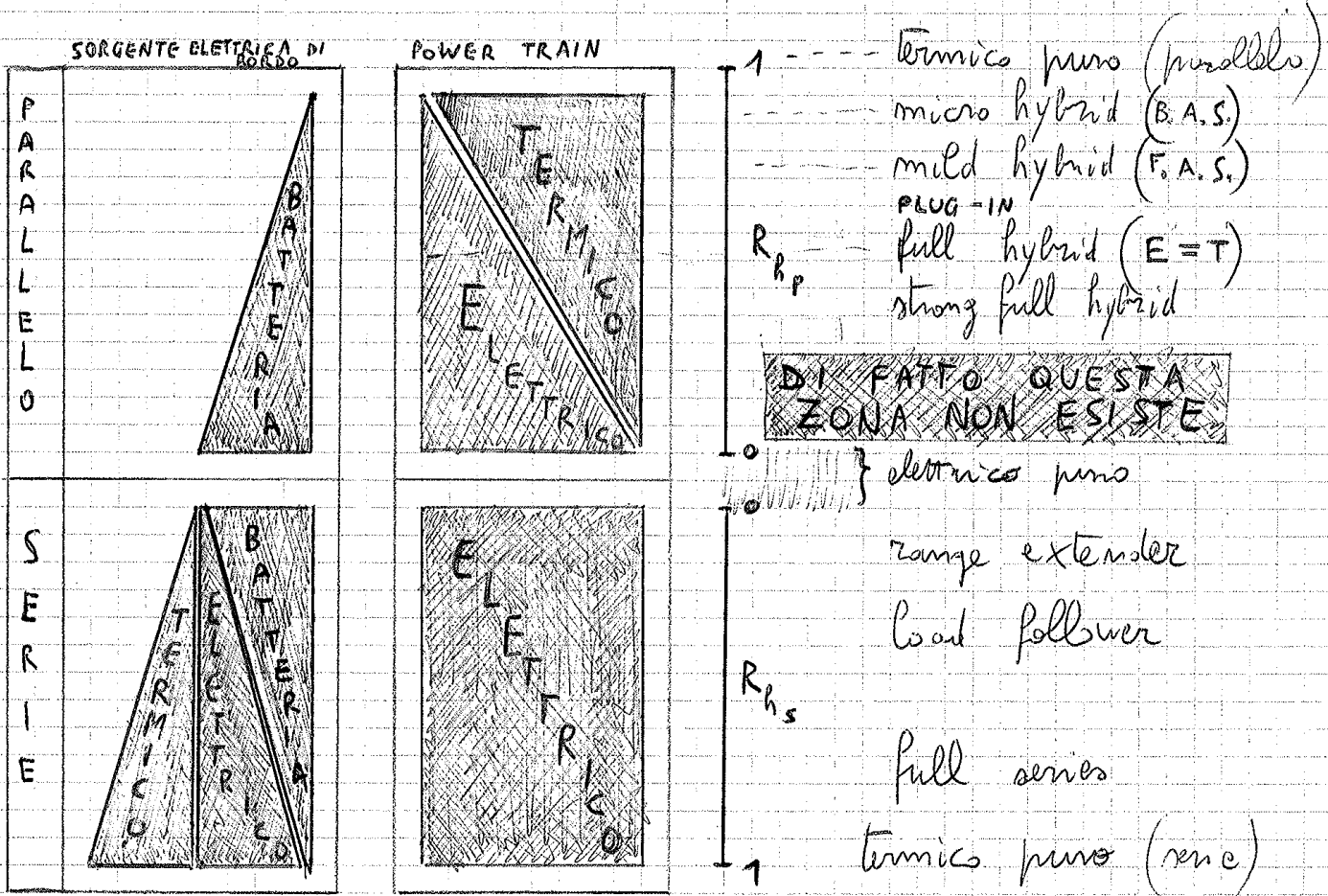
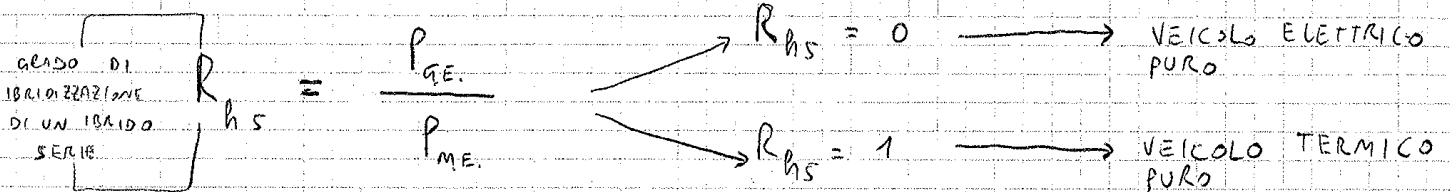
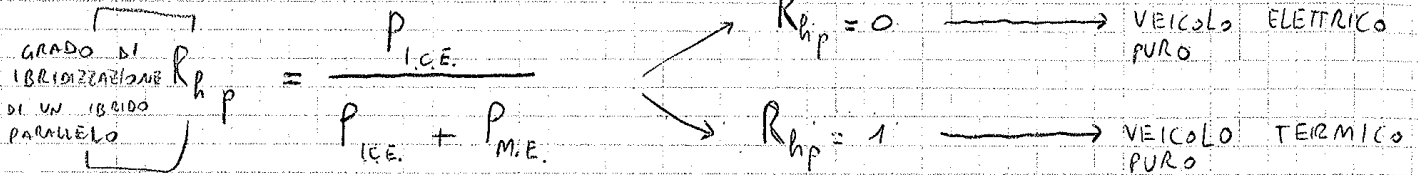
Lo scambio di potenza è a livello delle ruote/fluido

Posso decidere se funzionare solo elettrico, solo termico o tutti e 2 insieme.

GRADO DI IBRIDIZZAZIONE

Questa classificazione è di Badin (1937)

$I.C.E. = M.T.$

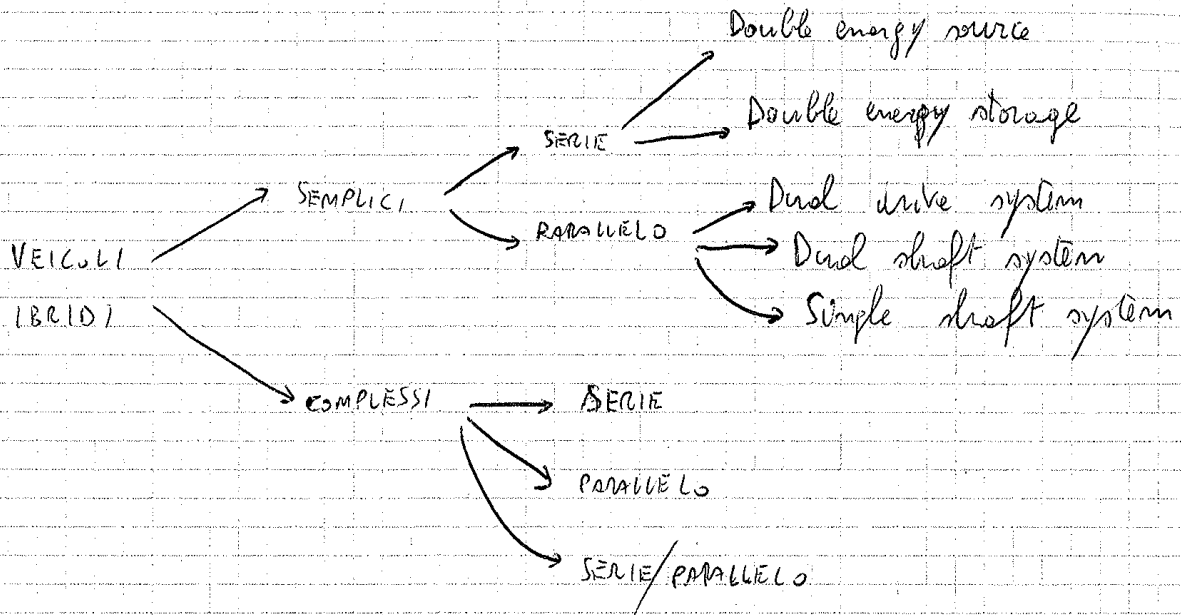


micro-hybrid : (B.A.S.) sono quelli con lo start-stop

mild-hybrid : (F.A.S.) sono usati per sottodimensionare il motore termico visto che ha potenza dal lato elettrico

full-hybrid : $E = T$

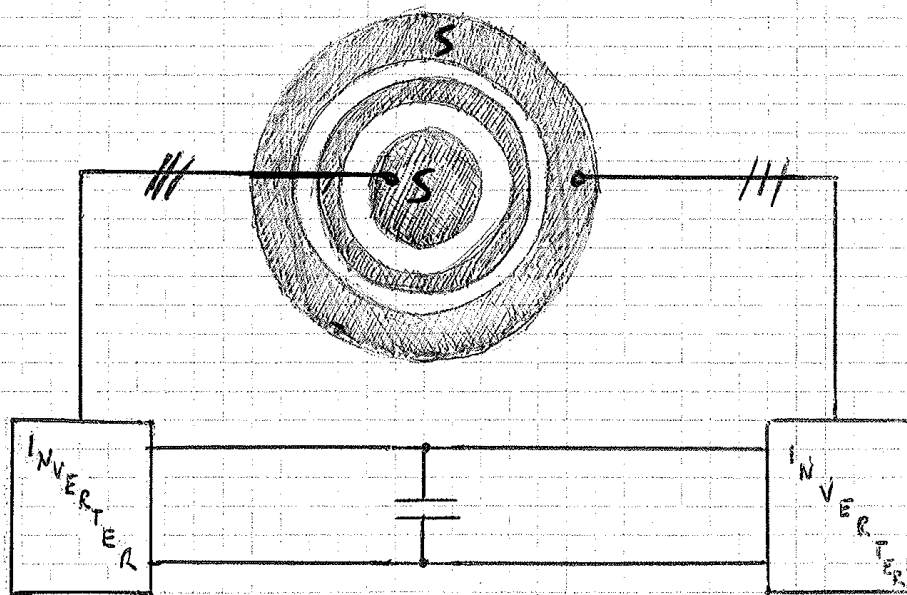
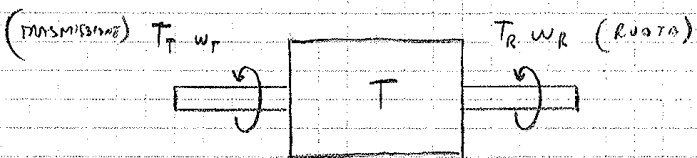
Raccomando:



VARIAZIONE CONTINUA DEL RAPPORTO DI TRASMISSIONE (C.V.T.)

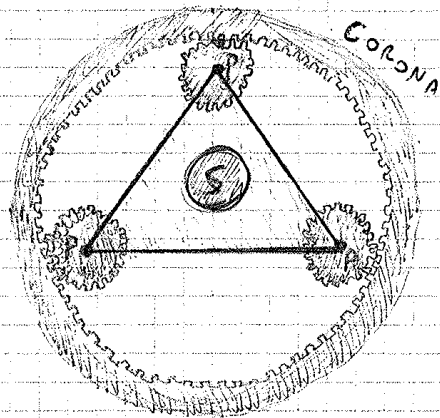
Può essere elettromagnetico o elettromeccanico

C.V.T. elettromagnetico (Tesi di dottorato di Gianmarco Pellegrino)



CV.T elettromeccanico

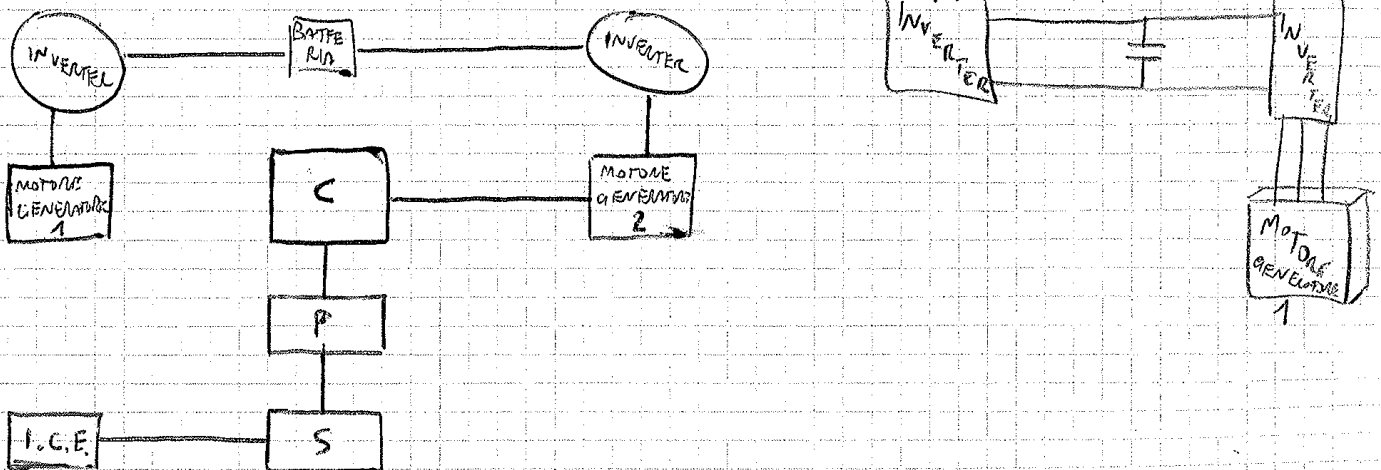
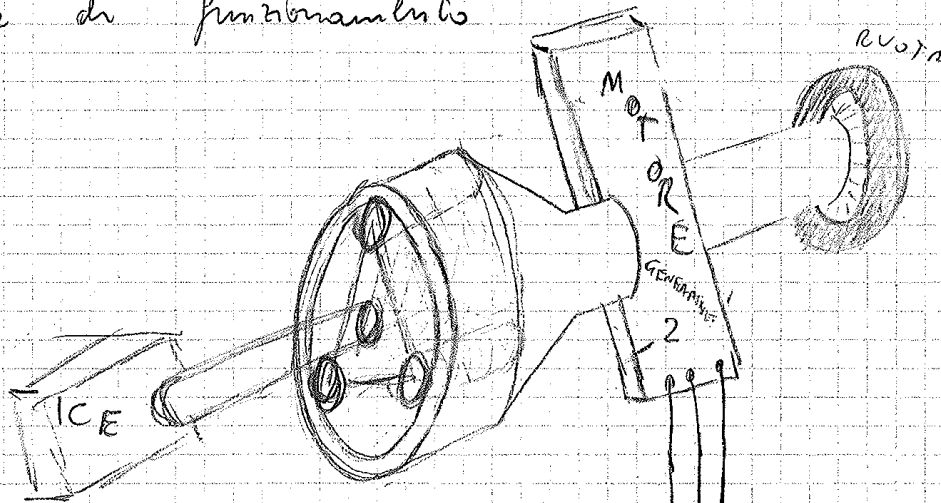
È un rotismo epicicloidale



P = pianeta
S = sole

$$T_c \omega_c = T_s \omega_s + T_p \omega_p$$

Ho il vincolo dei diametri fissi, ma ho tutti e 3 gli organi in rotazione (corona, pianeti, sole); mentre nel CVT elettromagnetico me vero solo 2 ma con qualsiasi combinazione di funzionamento



La composizione è:

- motore elettrico brushless a bobina di denti cioè un alternatore modificato (simile agli alternatori da moto sportiva)
- batteria al piombo da 12V (al massimo da 24V)
- inverter a mosfet: è l'elemento più complesso perché deve fare funzionare in un range di velocità molto alto (1000 - 20.000 rpm). Inoltre deve fare la partenza (start) che richiede in:
 - cold cranking (accensione a freddo) che è la funzione di momento di avviamento in cui è richiesta molta coppia
 - restart

Queste 2 funzioni richiedono un sovradimensionamento dell'inverter in corrente.

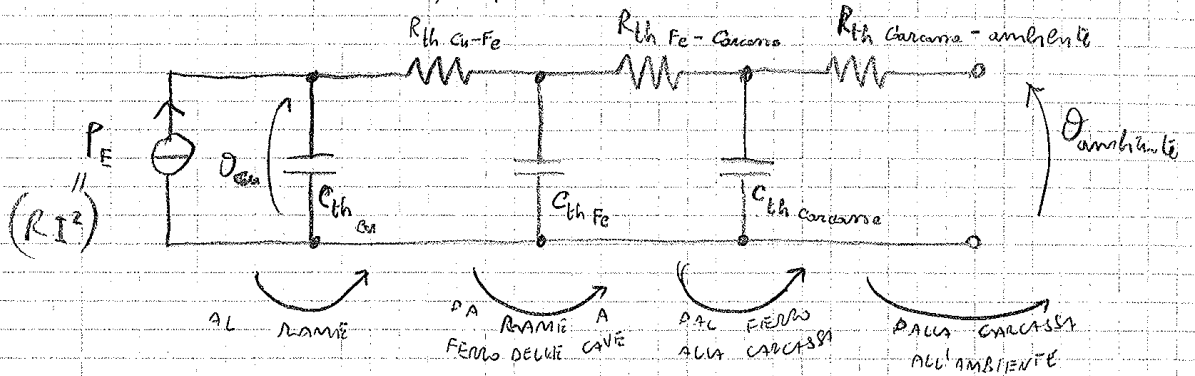
La traction system elettrica deve comunicare col resto del sistema (controlline) in modo intelligente ed è quindi richiesta la funzione di:

- gestione Start & Stop
- valutazione S.O.C. (state of charge) della batteria

La potenza elettrica generata massima è di circa 6kW che è l'insieme di:

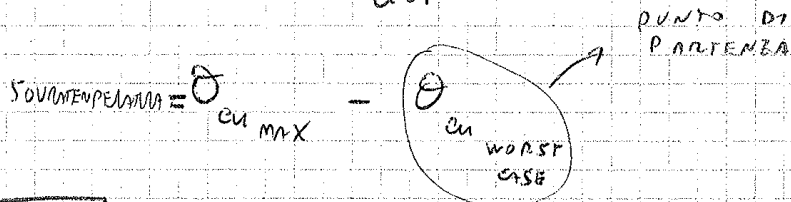
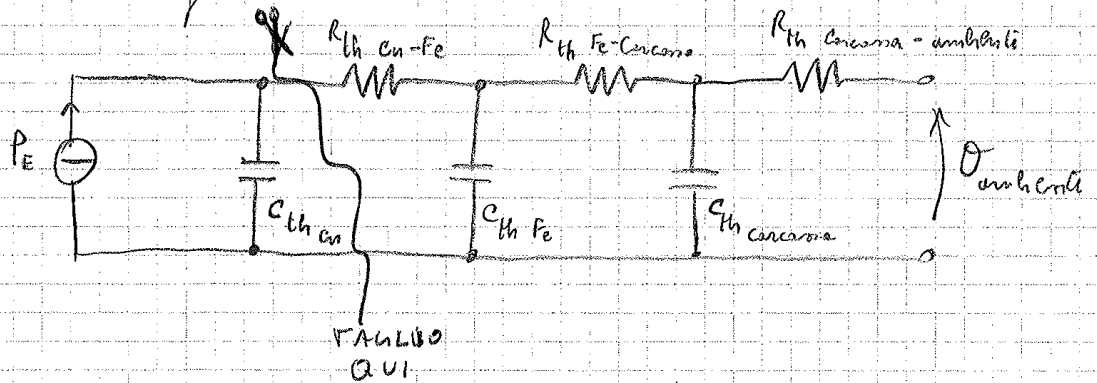
- potenza standard generata di bordo
- mantenere la batteria carica il più possibile perché ci sono tanti Start & Stop

Ipotesizzando che il motore non abbia MP e che a riluttanza, faccio un modello termico



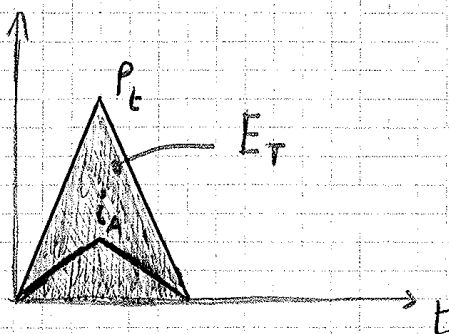
Il limite di meccanico di un motore a riluttanza è l'aumento di temperatura del rame.

Ipotesizzando che tutto lo scambio di calore avvenga molto rapidamente ($< 100 \text{ ms}$) posso considerare la trasformazione adiabatica e dire che tutta l'energia finisce nel riscaldamento degli avvolgimenti. Il che è equivalente a togliere il modello termico:



MASSIMA ENERGIA CHE POSSIAMO UTILIZZARE

$$E_T = \frac{1}{2} C_{th\ Cu} (\theta_{Cu\ MAX}^2 - \theta_{Cu\ WORST\ CASE}^2)$$



$$\int_{t_{MIN}}^{t_{MAX}} P_E(t) dt = E_T$$

L'efficienza del motore è trascurabile poiché un motore molto efficiente costa anche molto poiché gli MP costano molto (anche le fermi).

MILD HYBRID

È un ibrido semplice parallelo. Le funzionalità richieste sono:

- generazione di bordo (come nei micro-hybrid)
- Start & Stop
- trazione in puro elettrico (limitata)
- frenata rigenerativa
- boost elettrico
- down-sizing

Generazione di bordo

Ci sono tutti i soliti carichi (luci, altoparlanti, radio, satellitare, carico-batterie, ...) che nel micro-hybrid erano attivati meccanicamente ora sono attivati elettricamente con le batterie da 12V.
Averebbe una po' di potenza elettrica in più, posso attivare ^{anche} il condizionatore che nel micro hybrid era attivato meccanicamente.

Start & Stop

Le strategie di Start & Stop dei mild-hybrid sono diverse da quelle del micro-hybrid, perché ^{non} dipende dalla localizzazione fisica nel veicolo del motore elettrico. In alcuni casi non è presente lo Start & Stop in particolare nelle strutture diesel drive in cui il mix di potenza avviene a livello della strada o del fluido. (Se la parte elettrica è poca e agisce solo sulle ruote dietro ad esempio, con lo Start & Stop rischio di non partire neanche.)

Frenata rigenerativa

In questo modo riesco a recuperare energia cinetica, ma si complica la S.O.C. cioè la stima dello stato delle batterie, visto che è una cosa molto dinamica.

Boost - elettrico / Down - sizing

Il boost-elettrico significa che alla potenza del sito di trazione termico sommo quella del sistema elettrico ottenendo una potenza maggiore per brevi istanti (es: durante un sorpasso). Questo si traduce in un down-sizing (sotto dimensionamento) del motore termico.

Praticamente a regime la massima velocità è quella data dal termico puro.

Transitoriamente però posso avere la somma delle potenze termica e di quella elettrica.

Tutto ciò mi fa dimensionare il motore termico solo per velocità massima e rimane esente da accelerazioni e sprinti che ne fanno tipicamente aumentare la taglia.

L'obiettivo del boost elettrico è quello di coppia.

CARATTERISTICHE GENERALI

Nel mild-hybrid l'elemento nuovo sono le batterie (mentre nel micro-hybrid era l'inverter) perché devono:

- gestire più potenza
- gestire più energia

Servono tensioni elevate per cui abbiamo il BVAL VOLTAGE (uno minore di 59V e uno maggiore di 59V) e la norma di riferimento è la **63**.

altre specifiche generali:

- Protezione dell'acqua
- Interruzione dell'uomo (occorre evitare che chi apre il cofano tocchi)
- Fault (cosa succede se il dispositivo si guasta)
- Rispetto della normativa CRASH (per esempio si associa la batteria ad un essere umano perché è molto delicata e vive in condizioni ambientali proibite e quelle in cui sta bene l'uomo. Quindi da mettere in posizione safe)
- Manutenzione (devo poter cambiare il dispositivo)
- Rispetto delle normative
- Mass production (bisogna che i dispositivi vengano prodotti come minimo 100000 all'anno)
- Affidabilità

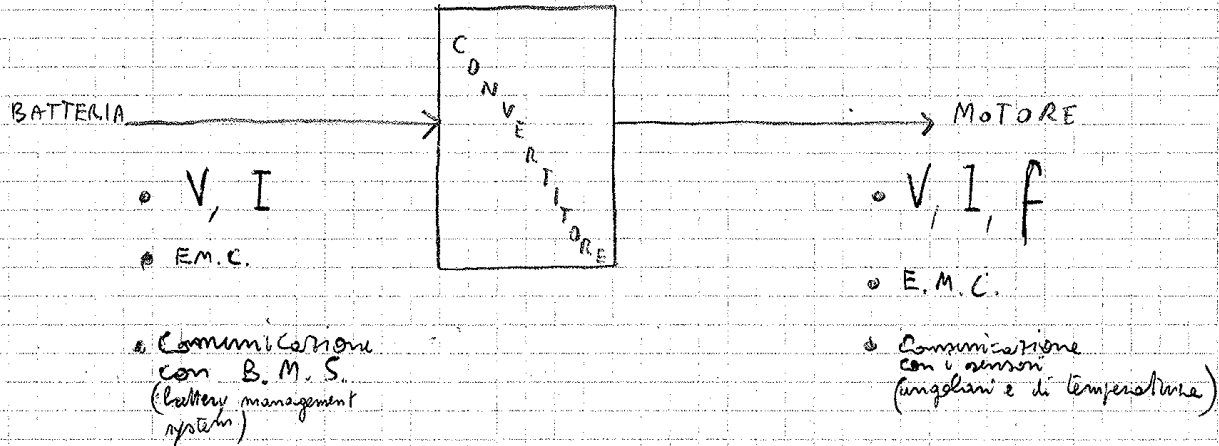
Possiamo notare come il costo non sia una specifica, poiché viene eliminata dalla mass production

Specifiche MOTORE

- Velocità massima di rotazione
- Potenze massima in ingresso e in uscita
- Potenze massima continuativa in ingresso e in uscita (può essere richiesto sovrecarico e questo si ripercuote sulle batterie)
- Relazione coppia velocità sul range (0 - ω_{max})

Specifiche CONVERTITORE

Le specifiche elettriche in ingresso al convertitore sono quelle elettriche della batteria, mentre le specifiche elettriche in uscita dal convertitore devono soddisfare quelle del motore



L'idea è che la batteria è intelligente, il motore è un attuatore

Quindi le specifiche sono diverse e vanno definite per il sistema

- accoppiamento batteria/motore in modo "intelligente"
- Rendimento eccettabile (come nel caso del motore ci è fornita la capacità di smaltimento del calore e le dimensioni in cui va fatto stare e il progettista calcola il rendimento)
- Volume
- Peso
- Ambiente (dove è messo il convertitore, può essere inserito nella batteria, così da ridurre le E.M.C. o può essere messo vicino al motore o addirittura inglobato nel motore)
- Altre specifiche generali
- Specifiche di controllo
- Specifiche dell'alimentazione a 12 V

Derating significa fermarsi sempre prima del limite per non danneggiare un componente onesto perché non sono in fase di progetto soddisfare tutti i climi (biondo, umido, gelido) e tutti gli ambienti (pallido, salite, sabbioso)

Il dimensionamento non è più quello di worst case, ma si usa il criterio economico

Il componente che beneficia maggiormente del derating è la batteria che rischia di esplodere.

Nel multi-hybrid chi pone il vincolo sul progetto? Il cold cranking!

COLD CRANKING = avviamento a freddo

Volendo fare l'avviamento in puro elettrico a freddo, questo implica una specifica di coppia sul motore elettrico, che a sua volta implica una specifica di corrente sul convertitore (quindi la potenza ^{istantanea} sulle batterie) che a sua volta ha un effetto sull'energia termica e causa dei tempi brevissimi in cui avviene il fenomeno.

Normalmente la coppia di sovraccarico è di $1,5 \div 2 p_n$ ed è funzione della temperatura del motore termico.

Quindi normalmente il progettista ha a disposizione:

- temperatura ambiente
- temperatura della carcassa
- coppia di sovraccarico richiesta per un certo tempo

Ovviamente se riesco a fare il cold cranking riesco automaticamente a fare lo Start & Stop

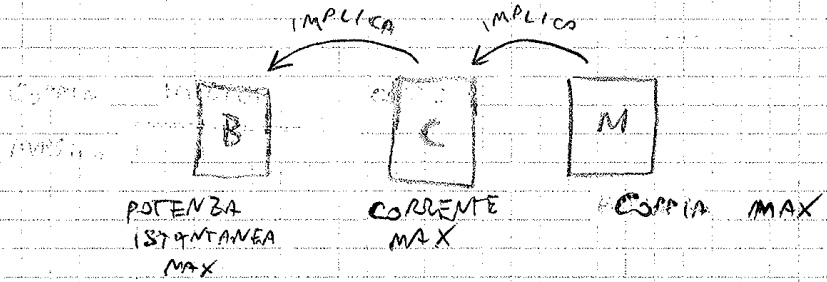
Da quelle temperature, resta solo lo switched reluctance perché non ha magneti ma è solo un pezzo di ferro.

Caso F.A.S. 2 CLUTCHES :

Anche nel caso con 1) frizione abbiamo la 2^a frizione, ma è messa dentro al cambio (gill box). Se invece facciamo 2) clutches, la frizione verso il cambio è robotizzata e automatizzata ed il convertitore deve essere in grado di "parlare" anche con chi "cambia"

1^a funzionalità correlata con la traction system elettrica (P_{max} ISTANTANEA)

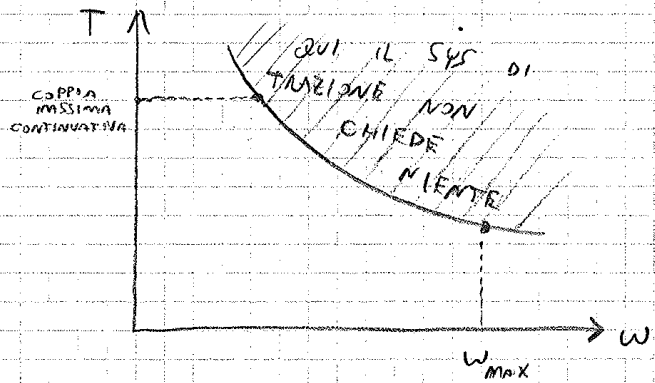
Prissomando possiamo dire che nelle specifiche del sys (batteria + convertitore + motore) la peggiore è quella di cold cranking che :



Il caso peggiore ce l'ho nel F.A.S.

2^a funzionalità correlata con la traction system elettrica (P_{max} CONTINUATIVA)

La potenza massima continuativa invece non deriva dalle traction system. Queste potenze continuative mi dà le specifiche su motore e convertitore



Le specifiche è date all'elbero motore quindi devo riportarmi (tramite i rendimenti stimati η_{MOTORE} , $\eta_{CONVERTITORE}$) alla batteria

3^a funzionalità correlata con lo traction system elettronica: Velocità ω

Le velocità vengono fuori dal posizionamento del motore ed occorre considerare se il motore elettrico è:

- sulle ruote :
 - presa diretta
 - in riduzione
- sul lato opposto del motore termico
- attaccato al motore termico (F.A.S.)

Le velocità sono:

$(\omega_{MAX})_{ASSOLUTA}$ = massima velocità pensabile per quel sys fuori dalle condizioni operative

$(\omega_{MAX})_{OPERATIVA}$ = massima velocità alla quale deve poter ancora operare (per esempio da generatore)

ω_{base}

ω_{MIN} = tipicamente è zero perché vogliamo fare lo Start elettrico

$\omega_{NEGATIVA}$ = massima velocità in retromarcia (rear gear)

Analora avem ω solo positive, il convertitore basta a 2 quadranti

Le velocità influenzano la $f_{ELETTRICA}$ del convertitore

FULL HYBRID

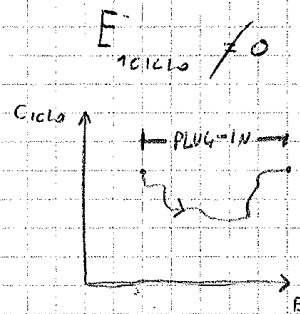
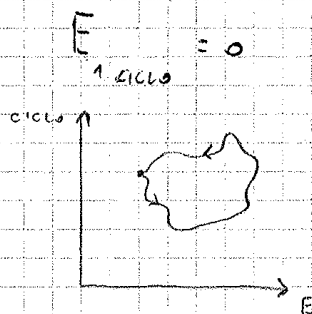
Sono ibridi parallelo semplici (con 1^a traction system elettrica)
 Praticamente è un mild-hybrid in cui la potenza elettrica è pari a quella termica. Le funzionalità sono le stesse del mild hybrid con l'aggiunta di:

- plug-in
- generazione di bordo
- Start & Stop (marginale)
- Trazione in puro elettrico
- frenata rigenerativa
- boost/elettrico e down-sizing

SONNI AL MILD-HYBRID

Plug-in

È possibile ricaricarsi da una presa perché nel veicolo è presente più energia e più potenza elettrica. Il plug-in permette di "comprare" il veicolo di energia di 1^o ciclo uguale a zero.



Cambia il dimensionamento della batteria (ho molta potenza elettrica)

L'effetto collaterale è che nel full-hybrid la $(T_{max})_{motore}$ e $(P_{max})_{BATTERIA}$ sono direttamente correlate alle specifiche di traction elettrica e tutte le altre funzionalità passano in secondo piano. Ad esempio la Start & Stop diventa marginale dal momento che viaggiamo in elettrico. E anche il cold cranking tanto avviamo col motore termico

Es Voglio $P = 100 \text{ kW}$

Valuto una batteria di energia e una di potenza

BATTERIA DI
ENERGIA

$$\frac{1}{10} \left[\frac{\text{W}}{\text{kg}} \right]$$

POSSIAMO
ARRIVARE
A...

$$1 \left[\frac{\text{Wh}}{\text{kg}} \right]$$

BATTERIA DI
POTENZA

$$1 \left[\frac{\text{W}}{\text{kg}} \right]$$

POSSIAMO
ARRIVARE
A...

$$\frac{1}{10} \left[\frac{\text{Wh}}{\text{kg}} \right]$$

Posso decidere di non fare la frenata rigenerativa perché le batterie volate all'energia "soffrono" e ricaricate in tempi brevi.

Allora al massimo rigenero negli ausiliari così non butto via l'energia in frenatura.

Vita dei componenti

Motore: il motore non ha problemi di invecchiamento, qualche problema esiste sulle plastiche e sui MP (corrosione), ma il vero problema è il crash e la sua riciclabilità.

Convertitore: anche nel convertitore non ha problemi di invecchiamento a parte i condensatori elettrolitici, il cablaggio e il Silicio. Ma normalmente il convertitore non dà mai problemi.

Batteria: qui ho grossi problemi ed il risultato è che devo confrontare la vita della batteria con la vita del veicolo. Al tempo gli ausiliari hanno effetto sulla vita della batteria e gli effetti peggiori li danno il riscaldamento e il

Praticamente il range extender è un veicolo elettrico con autonomia migliorata.

Il range extender insieme all'elettrico puro e al full hybrid plug-in sono le uniche (3) tipologie di veicoli in cui esiste il carica batteria, significa che devo prevedere on-board o off-board un elemento in più (il carica batterie). Questo varia a seconda del tipo di batteria.

Il problema del carica batterie pone il problema dell'interfacciamento con la rete. C'è delle specifiche della batteria e da quelle della rete nasce il BATTERY CHARGER (carica batterie).

Il carica batterie on-board è preferito, ma ha il problema dell'ingombro (peso, volume). Il vantaggio è che sappiamo esattamente la batteria che il carica batterie andrà a caricare, sappiamo quante volte la batteria è stata ricaricata, quanti cicli ha fatto, ecc...

Il BATTERY CHARGER deve essere sempre isolato dalla rete con un trasformatore.

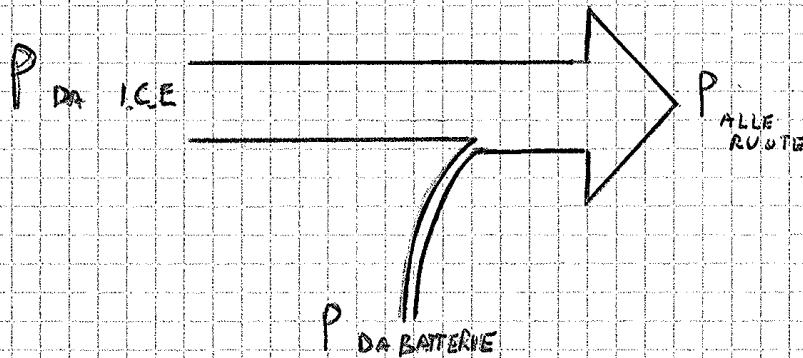
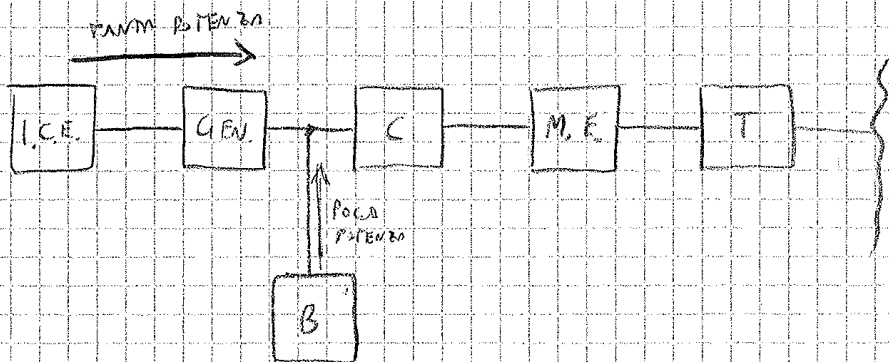
Il carica batterie off-board ha lo svantaggio che deve innanzitutto "capire" con quale batteria sta "parlando".

$P_{\text{elettrica}} \text{ MAX}$ $\xrightarrow{\text{INFLUISCE SU}}$ Batteria

$P_{\text{ALLE RUOTE}} \text{ MAX}$ $\xrightarrow{\text{INFLUISCE SU}}$ motore elettrico + convertitore

FULL SERIES

La potenza delle batterie è praticamente nulla, e comunque le batterie non partecipano alla trazione.



Preferendo:

Per tutti i veicoli le specifiche più qualificanti sono:

- cold cranking
- trazione elettrica
- potenze massime in batterie
- cicli

ha masse del veicolo $[M]$ è una specificazione che può essere rivista e migliorata a fine progetto

L'inerzia totale (di tutti gli elementi che hanno un'inerzia e che devono essere accelerati) riportata alle ruote $[J_{TOT}]$ è una scelta costruttiva e dipende dal tipo di veicolo. Dal full-hybrid in giù si considerano le masse legate alla catena elettrica.

Sapendo l'attrito dell'aria, la potenza lo risolviamo da:

$$P = C_x \cdot A_f \cdot v^3$$

↓
↓
 AREA FRONTALE VELOCITÀ AL CUBO

$$C_x = \frac{F_{AVANZAMENTO}}{A_f \cdot v^2}$$

F_{AVANZAMENTO} ← FORZA DI AVANZAMENTO (SI MISURA)

$[C_x]$ dipende da:

- forma del veicolo
- densità dell'aria {
 - pressione
 - temperatura
 - umidità
 - altitudine

Inoltre occorre sapere l'attrito rotolante delle ruote

$$P_w = F_r v^2 + F_0$$

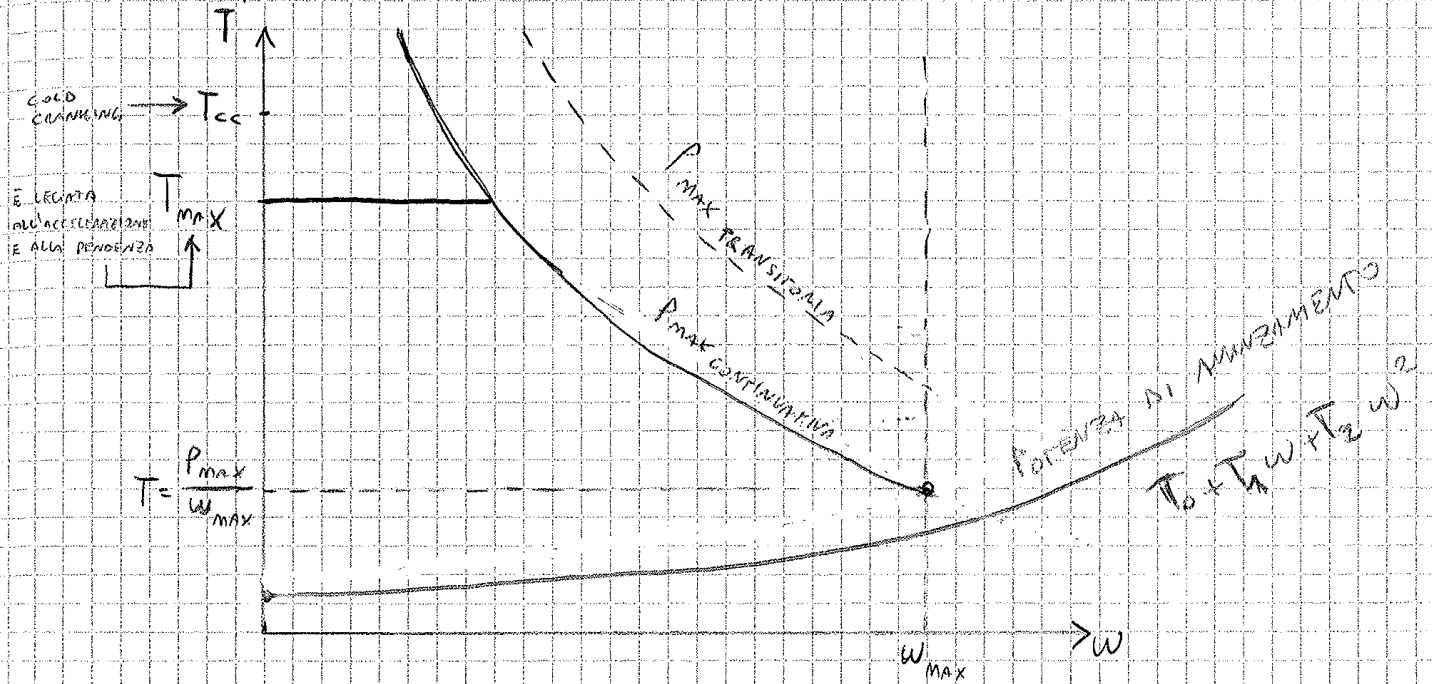
$$forza = F_r v$$

Esso dipende dalle condizioni dell'asfalto, dello pneumatico, può non essere trascurabile (l'attrito rotolante) poiché a $50 \div 60 \frac{km}{h}$ pareggia l'attrito dell'aria.

NB: sono le batterie e ricordarci che abbiamo una potenza massima!

ho T_{max} (coppia massima) e convenienti averla alle ruote

Ho un diagramma fatto così:



Ho

una $P_{max\ TRANSITORIA}$ e una $P_{max\ CONTINUATIVA}$ perché mi

motore che batterie possono essere sovraccaricati transitoriamente

l'estra potenza in più tra $P_{max\ TRANSITORIA}$ e $P_{max\ CONTINUATIVA}$ e per far fronte alle pendenze

Le [2] curve zone della potenza ci utilizzano l'uso che me stiamo facendo del veicolo

La curva verde è il tipo di veicolo.

tipicamente la $P_{max\ CONTINUATIVA}$ è data dalle w_{max}

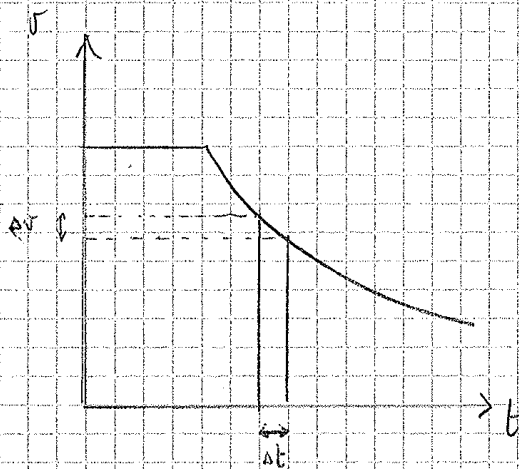
t Form generale velle:

$$\begin{aligned}
 \text{POTEZZA DI TRAZIONE } P &= Ma + \int_{\text{TOT}} \frac{dw}{dt} \omega \\
 &= M \frac{dv}{dt} + \int_{\text{TOT}} \frac{dw}{dt} \omega
 \end{aligned}$$

Facendo il cost-down cioè diminuendo fino a $130 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ e poi mettendola in folle, dalle folle in poi $P=0$.
 Diminuisce l'inerzia:

$$F_0 + F_1 v + F_2 v^2 = -M \frac{dv}{dt}$$

↑
DECELERAZIONE



Facendo il cost-down comprimiamo
 ma ogni $\Delta t = 1 \text{ s}$ la velocità
 e con la (M) ho:

$$-M \frac{dv}{dt}$$

$$-M \frac{dv}{dt} = F_0 + F_1 v + F_2 v^2$$

$$P = (F_0 + F_1 v + F_2 v^2) v$$

$$C_x = \frac{P}{A_c v^3}$$

In frenata si può avere il problema del riscaldamento delle batterie, poiché la frenata elettrica è proporzionale all'accelerazione elettrica cioè è molto efficiente.

$$F_{\frac{120 \text{ km}}{h}} = F_0 + F_1 v + F_2 v^2$$

$$= 113,5 + 0 + 0,034 \cdot 120^2 = 603,1 \text{ N}$$

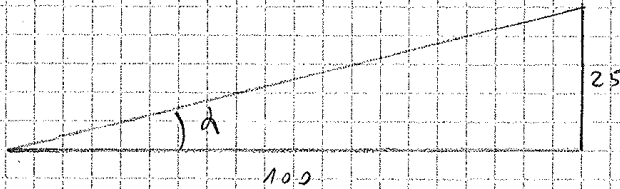
CORRISPONDENZA ALLA RUOTA

$$T_R = F_{\frac{120 \text{ km}}{h}} \cdot R = 603,1 \cdot 0,2 = 120,62 \text{ Nm}$$



Con $\left(\frac{25}{100}\right)$ di pendenza ho che

NORMATIVA VEICOLI ELETTRICI



$$\tan(\alpha) = \frac{25}{100}$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{25}{100}\right)$$

$$F_{\text{SLOPE}} = M g \sin\left(\arctan\left(\frac{25}{100}\right)\right)$$

$$= 1000 \cdot 9,81 \cdot \sin\left(\arctan\left(\frac{25}{100}\right)\right)$$

$$= 2380 \text{ N}$$

NB nella massa potremmo/dovremmo conteggiare anche $\left(\frac{1}{4}\right)$ persona nelle ciclistelle e il bagagliaio pieno!

$$T_{\text{SLOPE}} = F_{\text{SLOPE}} \cdot R = 2380 \cdot 0,2 = 476 \text{ N}$$

Ecco il range di deflusso!

$$T_{\text{max}} = T_{\text{SLOPE}} = 476$$

$$T_R = 120,62$$

} range $\left(\frac{476}{120} = 3,9 \approx 4\right)$
1 : 4 circa

$$v = 120 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{120}{3,6} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 33, \bar{3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

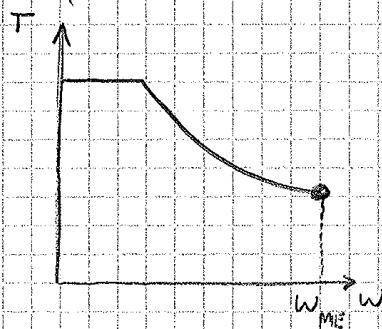
$$\omega_R = \frac{v}{R} = \frac{33, \bar{3}}{0,2} = 166, \bar{6} \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\omega_{ME} = \omega_R \cdot z = 166, \bar{6} \cdot 10 = 1666, \bar{6} \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$1666, \bar{6} \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 1666, \bar{6} \cdot \frac{2\pi}{60} \text{rpm} = 15915,5 \text{rpm}$$

$$\approx 16000 \text{rpm}$$

res) Un motore elettrico che ruota al di sotto di 16000rpm non ha particolari problemi. Viceversa una velocità angolare superiore a 16000rpm dà origine a problemi meccanici ed elettrici (frequenza) non trascurabili.

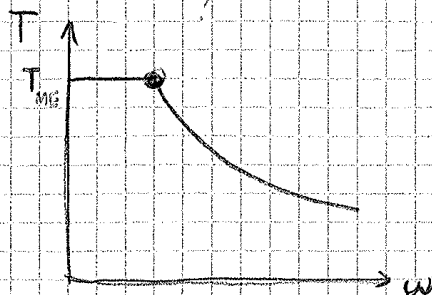


Per la coppia

$$T_{ME} = \frac{P}{\omega_{ME}} \cdot \eta$$

$$= \frac{20,1 \cdot 10^3}{1666, \bar{6}} \cdot \eta = 48,24 \text{ N}$$

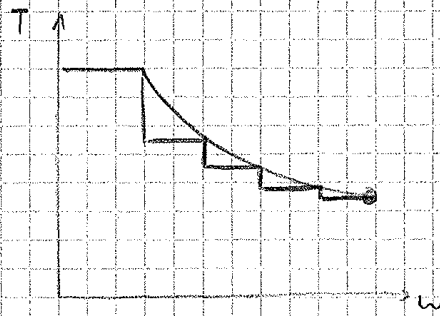
RANGE DI DEFLUX



$\omega = 16000 \text{ rpm}$

$T = 12,06 \text{ N}$

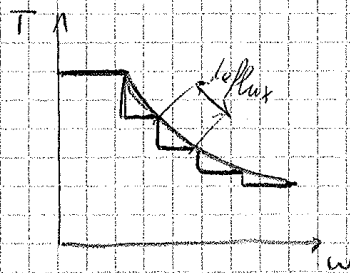
macchine veloci con poche piastre
foli $p = 1 \div 2$



$r_i = 10$
 $r_f = 10 \cdot 4 = 40$

È noto che le dimensioni del motore sono direttamente proporzionali alla coppia decisa per quest'ultima soluzione (con il motore è poco ingombrante)

Nella realtà è possibile trovare macchine ad cambio con motore elettronici deflessibili per eliminare le discontinuità dovute al cambio. Ho deflusso libere di questi con le limitate



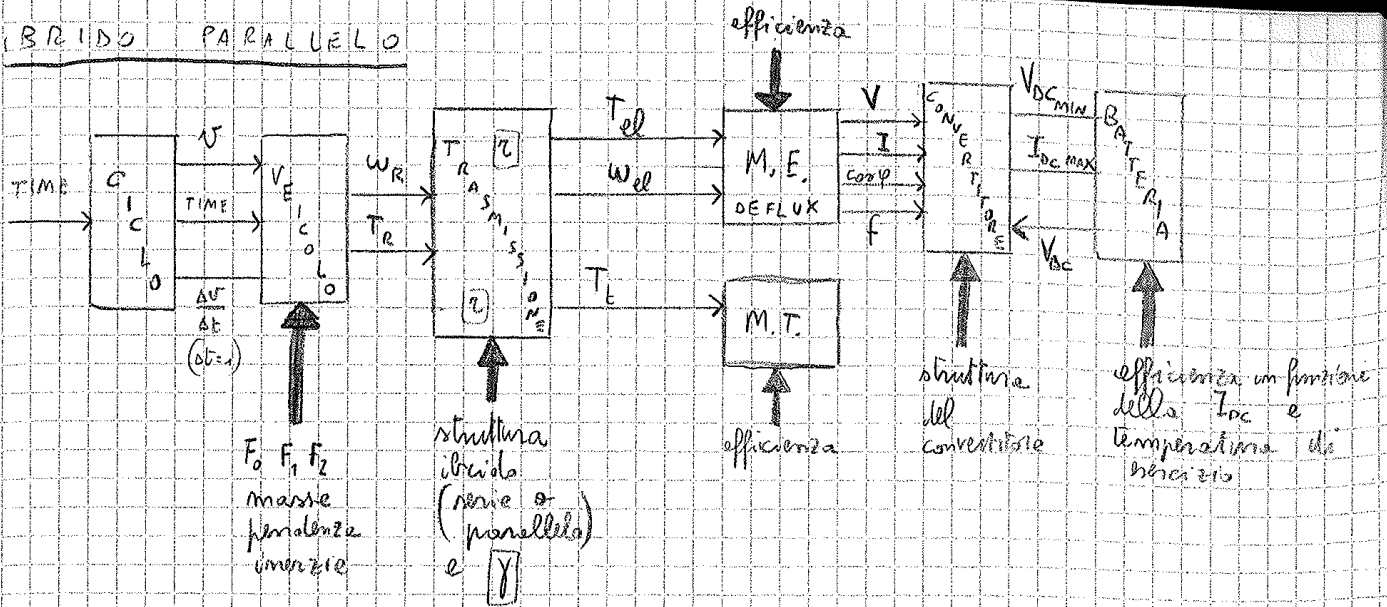
CICLICITA'

Di fondamentale importanza è individuare il ciclo di lavoro del veicolo. Sul mild-hybrid, full-hybrid, load follower, la ciclicità impatta sull'energia da considerare all'interno delle batterie e sulla potenza elettrica. Esiste una normativa europea per veicoli ibridi elettrici e ibridi che è (ECE 15). Le condizioni sono:

A PROVA
DI
UMANO

- ampiezza delle velocità : 10
- pendenze zero
- vento zero
- aria standard (pressione, temperatura, umidità)

IBRIDO PARALLELO



blocco VEICOLO

F_0, F_1, F_2 dipendono dal veicolo e dalla strada
 pendenza dipende dal tempo tomb
 massa dipendono dal veicolo e dalla traction elettrica, poiché le batterie pesano molto
 inerzia dipende dalle rotazioni ω

blocco TRASMISSIONE

Abbiamo il parametro γ che varia tra $0 < \gamma < 1$ (grado di ibridizzazione)

$\gamma = 1$ veicolo termico
 $\gamma = 0$ veicolo elettrico

γ = potenza che va al termico

$1 - \gamma$ = potenza che va all'elettrico

Il grado di ibridizzazione ha effetto sui rendimenti di potenza.

blocco CICLO

È un vettore :
 - tempo
 - velocità

tempo	velocità
1	0
2	0
3	⋮
⋮	⋮

e ci conviene mettere i dati in un file TXT e poi caricare quello.

blocco VEICOLO

È una struct e quindi è eggiornabile

blocco TRASMISSIONE

ha cosa più difficile è modellizzare il cambio. Considerando il cambio automatico ci serve:

- τ rapporto di trasmissione
- η efficienza

Passo i dati T_r e w_r e memorizzo le perdite
 T_r e w_r sono vettori

blocco M.E.

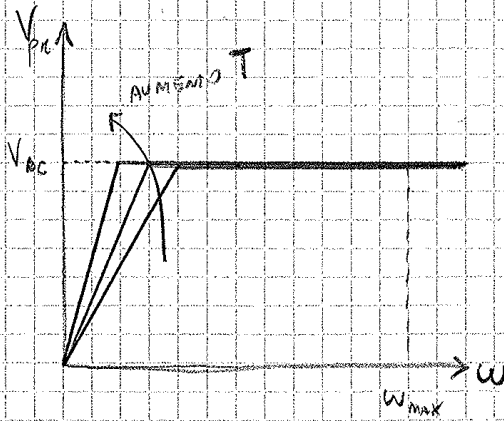
Memorizzo le perdite se possibile modellizzare in :
 - Joule
 - Fermo

blocco GENERATORE / M.E.

Il generatore lavora a w costante indipendentemente dalla potenza che deve generare

È meglio un bel modello del motore devo fare delle mappe

3D



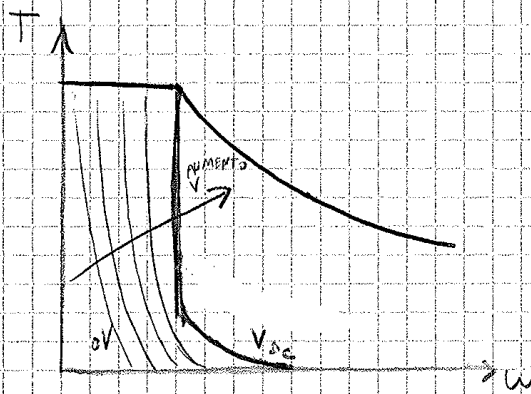
Ho la V_{pik} in funzione di T , ω , V_{dc}

T varia da $0 \div T_{max}$

ω varia da $0 \div \omega_{max}$

V_{dc} varia da $0 \div V_{dc_{max}}$

Occorre avere disponibili tutte le curve possibili



Block converters

Serve una lista di libreria dei componenti: IGBT, diodi e condensatori

Per l'IGBT:

- V_f
- R_d
- $P_{comm}(\beta)$

Per il condensatore:

- ESR

TRAZIONE NAVALE

In ambito navale l'ibrido utilizzato è il full series e si chiama DIESEL-ELETTRICO. Nasce nel [1910] e dura fino al [1960]. Il suo principale problema è il riduttore motore-elica, questo perché più la potenza è grande ($> 10 \text{ MW}$) e più il riduttore è grande e inefficiente.

Dal [1960] al [1980] il diesel-elettrico scompare, poi riprende piede e nei giorni nostri è considerato lo standard. Tra gli anni [1910] e [1960] si aveva il motore DC, e il cambiamento fino ai giorni nostri è dato dall'evoluzione tecnologica dei convertitori.

Gli aspetti positivi del diesel-elettrico sono:

- 1) Indipendenza tra generazione e moto, cioè possiamo mettere i generatori in posti diversi da dove viene generato il moto, questo permette forme di stiva e forme di ponti qualsiasi.
- 2) Absenza di generazione di bordo (assenza di alternatori ausiliari) e questo è determinante quando le navi sono grandi e gli ausiliari sono tanti (nelle navi grandi gli ausiliari sono anche il 40% della potenza generata). Inoltre se ha scarse contemporaneità di generazione posso fare il down-sizing del motore termico.
- 3) Frazionamento della potenza termica, cioè ho più generatori a bordo e posso accordarli a seconda della necessità e sfruttarli al massimo. Anzi i motori termici stanno a temperature giusta e ho notevole semplicità nel recupero del calore. Far lavorare i motori termici nel loro punto di funzionamento nominale (frazionamento) aumenta l'affidabilità in termini di:

Gli aspetti negativi del diesel - elettrico sono:

- 1) Rendimento massimo del motore termico (cioè all'elica) all'elica. Questo perché un motore da 20 MW collegato all'elica ha rendimento del 33% mentre un motore elettrico si esente sul 30% di rendimento. I rendimenti buoni si riferiscono a motori di grandissima taglia.
- 2) Pesi e ingombri totali che aumentano ($10\text{; }20\%$ in più), ma sono dislocabili dove voglio.
- 3) Filtri antidistorsione che sono grandi (cioè pesano e ingombrano). Sono necessari questi filtri perché la nave ha un'onda come una rete di generazione debole e distorta (cause SCR e IGBT) rispetto alla generazione urbana.

Alcuni vantaggi e vantaggi del diesel - elettrico si vedono bene in applicazioni navali che:

- richiedono molta energia elettrica non per trazione
- richiedono precisione di manovra (l'elettrico consente una capacità di regolazione che il termico si sogna!)
- richiedono rotte brevi (traghetti) in condizioni non standard (forti maree, navigazioni in lago)
- richiedono coppia a velocità bassa o nulla.

RIMORCHIATORE : questo per manovre di manovra e manovrabilità, cioè ho bisogno di alte coppie e regimi diversi nell'arco di poche decine di secondi. Inoltre deve essere disponibile molta potenza di bordo per le pompe antincendio (ovviamente se spegna l'incendio, non traino la nave e viceversa...)

NAVI ROMPIGHIACCIO : le particolari condizioni sono: coppie elevate a basse velocità e frequentissime inversioni di marcia (se il ghiaccio è troppo spesso in quel punto!).

DRAGME : la potenza è quasi tutta per ausiliari e la forma tubolare è particolare.

NAVI POSA-TUBI
NAVI POSA-CAVI : hanno bisogno di precisione di manovra notevole, le forme sono particolari (soprattutto le posa-tubi) e deve garantire flessibilità alle parti meccaniche.

NAVI DA RICERCA : si intendono navi in ambito:

- militare : caccia-mine
- naturalistico : analisi fondale

in cui la specifica richiesta è il non-inquinamento acustico (zero rumore)

NAVI DI SUPPORTO : sono navi che consentono riparazioni a bordo di altre navi e richiedono specifiche di: pianali ampi, presenza gru, ... In sintesi forniscono supporto alle altre navi in difficoltà.

Per quanto riguarda la rotazione del raggio di virata, ho massima potenza in avanti e indietro (non faccio manoma, come i treni)

l'aspetto negativo è che costa veramente tanto

altri hanno sviluppato qualcosa di simile:

- S.P.P. (Siemens) è piccolissimo e ha un brushless

- DOLPHIN

Questi sono montati nelle navi da crociera dove quello che conta è la manovrabilità (AZIPRO, S.P.P., DOLPHIN)

Una particolare nave in questa applicazione è ottima è la rompighiaccio, perché usò la poppa e la prua per scopi diversi (dual acting ships D.A.S.) la poppa rompe il ghiaccio, esso forse rotto nell'AZIPRO che lo trite.

La prua invece è ben fatta, idrodinamica, e mi serve quando devo andare veloce senza rompere ghiaccio.

Ho quindi la possibilità di raggiungere velocità, ma quando l'aziprod posso rompere il ghiaccio.

Nelle applicazioni pratiche se:

- ho bisogno di velocità $\xrightarrow{\text{FACILIO}}$ elica tralente (effetto vite nell'acqua)

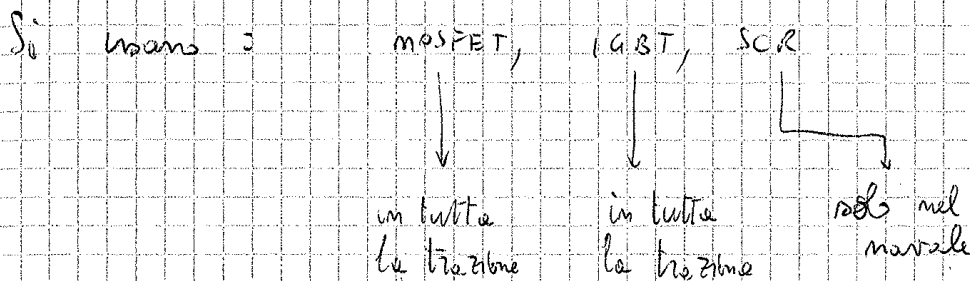
- ho bisogno di forza e basse velocità $\xrightarrow{\text{FACILIO}}$ elica spingente

I vincoli derivanti dall'esterno sono:

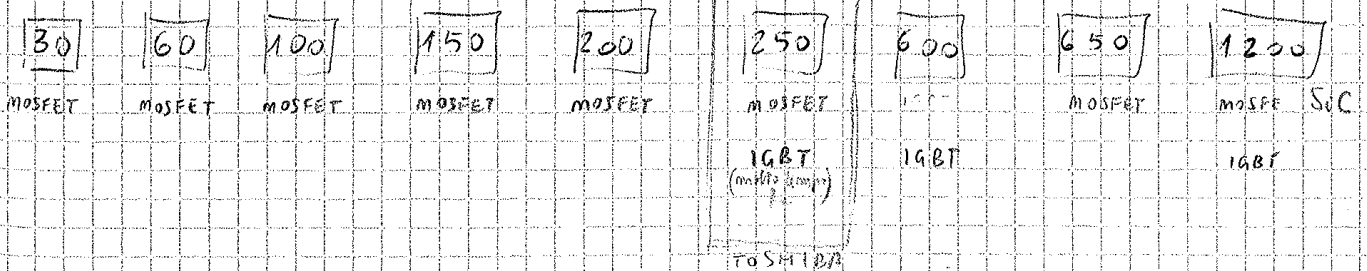
- Potenza
- tensione \Rightarrow corrente
- temperatura di esercizio

La potenza è una scelta, perché la tecnologia dello switch è molto correlata alla tensione. Inoltre essendo le batterie, esse sono indissolubilmente legate alle tensioni e alle strutture realizzate. Anche perché tutte le strutture sono a tensione impressa (VSI).

Correlazione tra scelta dello switch e tensione nella trazione



Escludendo il mondo marale, nella trazione si muove da tensioni di 30V a tensioni di 800V:



La curva è una retta crescente e causa dell'efficienza di conduzione.

Aumentando la f_{sw} per reggere dell'induttore deviate di corrente, il componente deve essere più grosso (cioè più spesso) e quindi la tensione $(V_{CE})_{ON}$ cresce

Scendere sotto i 10 kHz in certe addirittura rumore e quindi non va bene.

Ma i MOSFET in usano i trench-gate come N e questo ha (2) effetti:

- riduzione della $(R_{DS})_{ON}$ con conseguente diminuzione delle dimensioni poiché
- aumento della tensione massima $(V_{DS})_{MAX}$ sostenibile del MOSFET

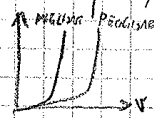
Per la commutazione i trench gate e canale P hanno sempre prestazioni inferiori.

Questo (cioè la tecnologia trench gate) ha portato alla nascita di una famiglia di MOSFET per tensioni di (650 V) che fanno concorrenza agli IGBT. Ma i trench gate hanno problemi di commutazione dovuti alle capacità parassite che sono molto variabili con la tensione.

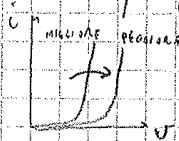
parallelare i MOSFET

Posso parallelare i MOSFET perché comportandosi in conduzione come resistenze, se uno dei (2) conduce di più, si scalda anche di più e aumenta di temperatura. Aumentando di temperatura, aumenta la resistenza e conduce di meno, in favore dell'altro che unito e conduce di più e quindi riscalda ed auto-riscaldarsi.

Parallelare IGBT non si fa, perché se mette 2 IGBT con caratteristiche diverse in parallelo, il migliore,

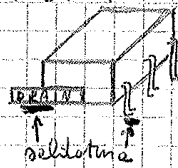


anche a condurre tutta la corrente e a scaldarsi. Paura che la caratteristica del migliore si preghi fino a quella del peggiore e lo faccia condurre in modo da bilanciare il tutto, il migliore è già scoppiato. Si dice che il migliore va in fuga termica.



Per parallelare facilmente i MOSFET si usano:

- D²PAK
- TO 247
- TO 220



Il miglior pregio del I.M.S. è il fatto di poter parallelare i MOSFET in modo affidabile consentendo molta dissipazione di calore.

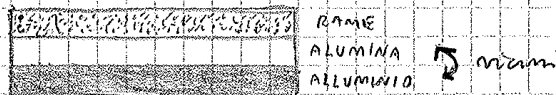
Per chiarire il tutto posso dire che l'SMT è la famiglia di modi di montare i componenti. Un componente che consente di questo montaggio si chiama SMD (surface mode device).

e sono ottimi conduttori termici e ottimi isolanti elettrici

Il metallo usato invece è:

- Alluminio (sempre)
- Titanio (qualche volta)

Come metallo si usa l'Alluminio perché raggiunge temperature relativamente alte, le dilatazioni dei materiali non sono banali. Anzi, 2 materiali posti l'uno vicino all'altro devono avere coefficienti di dilatazione almeno "vicini". Di fatto si usa:



Inoltre questo influisce anche sulle condizioni di saldatura poiché si usano saldatrici ad arco e l'altissima fornace.

Il problema dell'isolante è la spessore, cioè più è spesso l'isolante e più isola, ma più è spesso e meno smaltisce calore!

Per gli isolanti normalmente:

CONDUCEBILITÀ
TERMICA

$$140 \div 180$$

$$\left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$$

COSTANTE
DIELETTICA

$$17$$

$$\left[\frac{AC \cdot KV}{m} \right]$$

Il valore della costante dielettrica è quello che dice che si deve usare la bassa tensione perché,

Occorre controllare termicamente ogni singolo (DIE) poiché siamo direttamente noi a "costruire" le specifiche. In questo modo riesco a limitare molto le induttanze disperse e a sfruttare bene il Silicio (cioè commutare tensioni molto alte).

Il vantaggio principale del D.S.C. è quello che posso inventare nuove strutture su misura per la nostra applicazione.

Questo è perfetto per limitare gli EMC (disturbi condotti).

Questa tecnica (D.S.C.) è agevolata dal "die market", cioè ci vendono direttamente il DIE (cioè il Silicio) per costruire i moduli. Le aziende più importanti in questo campo sono:

- Danfoss
- A.P.T.

I collegamenti in oro tra i DIE sono i bonding. E questi servono appunto a connettere tra loro i pezzi precostruiti in Silicio.

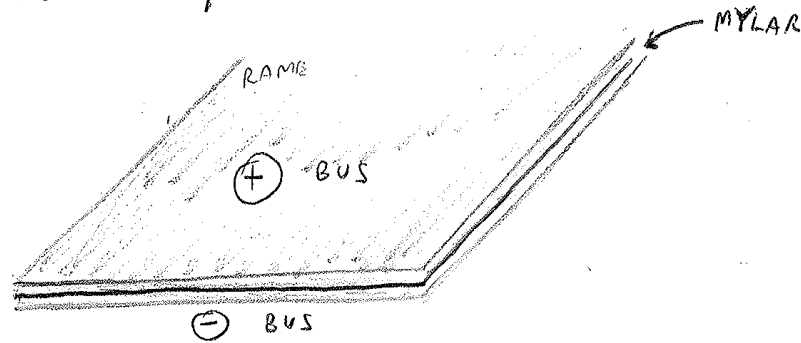
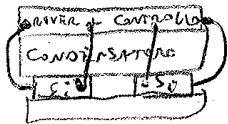
Vantaggi:

- compattezza
- capacità di reggere meccanicamente alle vibrazioni

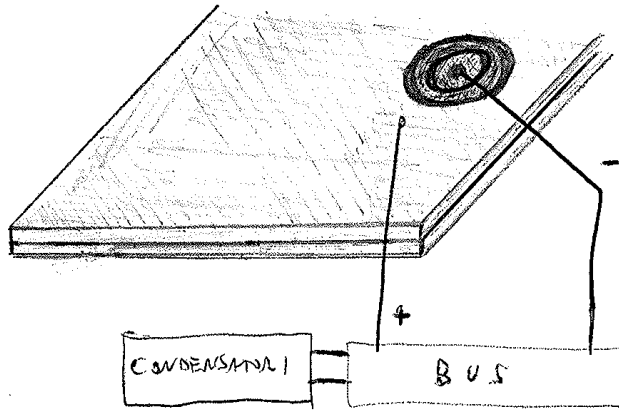
Svantaggi:

- complicazione tecnologica poiché si deve tener conto di: dilatazioni termiche, scorie parziali, explosion proof. Bisogna entrare a livello microscopico e cercare di vedere come tutti i diversi strati si comportano sotto stress termici in modo (quasi) puntuale. Una qualsiasi incrinatura dell'isolante nel corso di un invecchiamento precoce
- manutenzione e sostituzione: non vi è riparabilità poiché se qualcosa non va si butta tutto ^(lavoro)

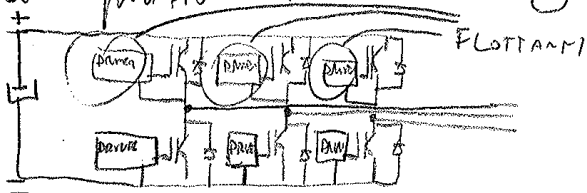
Avendo basse tensioni limito le dimensioni dei condensatori, ma il loro problema è che devono fisicamente essere attraversati (o aggirati) dalle connessioni tra (Silicio) e (Controllo + Driver). Allora la soluzione è quella di distribuire i condensatori cioè facendo bus e piste di potenza con struttura di distribuzione multistrato della potenza



Il bus è distribuito con effetto capacitivo complessivo. Anzitutto dovremo connettere (+) e (-) ad un dispositivo col trapano e colonne peccio dei buchi!



I driver (soprattutto in alte potenze) dissipano $4 \div 5 W$ durante il funzionamento e (3) di loro sono flottanti



Questo significa che il driver è molto "vivo" alle strutture di potenza.

Questo è un male poiché la normativa dice che ci deve essere separazione elettrica tra parte di segnale e parte di potenza dentro al convertitore!

Per le temperature i valori sono: $T = (-20 \div 60)^\circ\text{C}$ ed il punto di lavoro ottimale è $T = (35 \div 45)^\circ\text{C}$

Inoltre il BMS fa il condizionamento termico della batteria realizzato mediante azioni specifiche tenuto conto anche dell'involucro in cui sono inserite le batterie.

Altrimenti le batterie non fossero Litio-Ione ma fossero Z.F.B.R.A. che ha bisogno di una temperatura elevata per lavorare, il condizionamento termico deve essere più sofisticato.

In definitiva la meccanica (involucro e assemblaggio) e i materiali sono i fondamentali punti di partenza per la costruzione e la scelta di una batteria.

Le caratteristiche principali quindi della batteria sono:

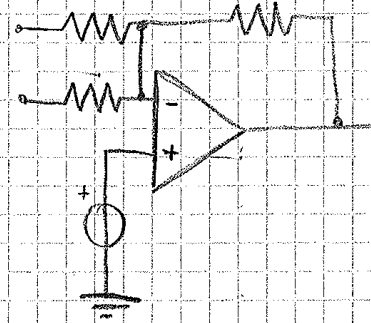
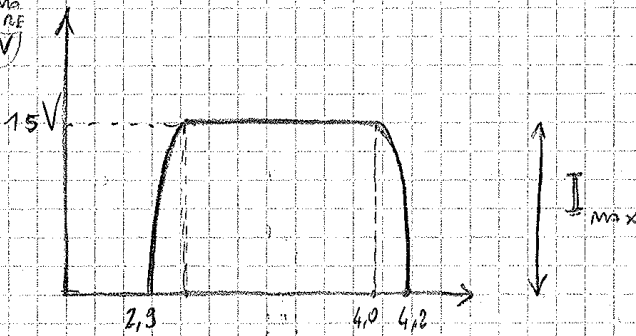
- **DILATAZIONI**: dovute alla temperatura e possono verificarsi durante il funzionamento normale (di carica) (di $1 \div 5\%$ nel litio-Ione) o durante il danneggiamento (dilatazione oltre il 100%)
- **VIBRAZIONI**: sempre presenti in un veicolo, non fanno bene alla grafite (del catodo) e può essere quindi previsto un sistema di protezione con componenti in modo da permettere un movimento minimo. Questo si fa anche mediante gomme particolari.
- **HUMAN INTRUSION**: soprattutto quando le tensioni raggiunte dalle celle in serie sono alte, per problemi di sicurezza elettrica occorre sigillare le batterie.
- **AIR OR WATER PROOF**: il pacco batterie deve essere a prova d'aria e d'acqua, ma deve contemporaneamente garantire un buon scambio di calore con l'esterno.

La misura deve essere fatta ad alta impedenza, ma che sia effettuata in analogica che in digitale (ma in digitale è sempre ad alta impedenza)

MISURA ANALOGICA

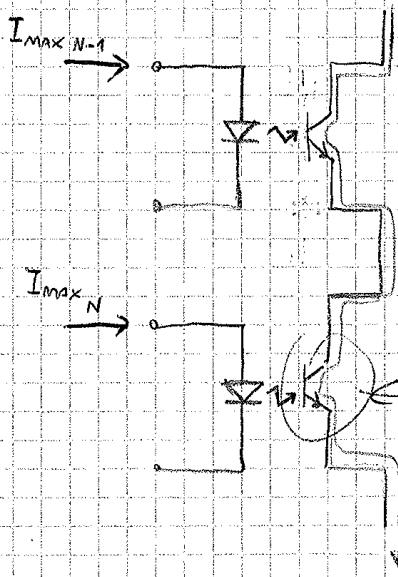
Con l'analogico uso degli amplificatori operazionali con iper low power e poi realizzo 2 confronti (max e min), poi vedo fare la proiezione. Questo vuol dire che ci devono essere 2 reference per ogni cella. Questo è costoso.

SISTEMA UNIPOLARE A 15V



Questi sistemi analogici hanno il vantaggio dell'autonomia cioè non dipendono da errori del software. Inoltre sono robusti, cioè resistono nel tempo (vita lunga). Il problema è che sono molto costosi!

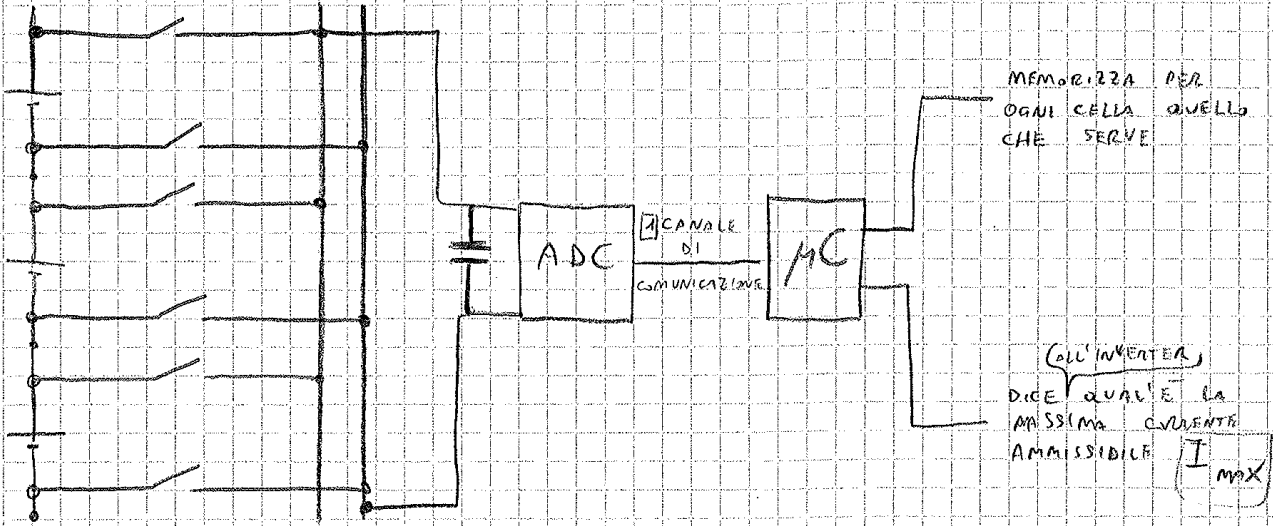
Le tensioni diventano correnti semplicemente con delle resistenze.



lui decide quante correnti passano e ricorda di quanto si apre o si chiude (limite verde)

Concludendo, gli aspetti negativi dell'analogico sono:

- costo elevato
- mancanza di informazioni della storia di ogni singola cella.



Come aprire o chiudere gli interruttori lo decide **MC** e di solito sono foto-mosfet

I processi elettrochimici sono lenti (rispetto alle dinamiche elettriche) e quindi un tempo di sampling di **1s** è più che buono.

Balancing

Purtroppo ogni cella è a sé e quindi anche la carica di ogni cella è diversa. La batteria quindi è limitata dalla cella più debole. Divero quando quella cella è scarica, dobbiamo fermarci dal richiedere energia alla batteria. Anche quando ricarico, se una cella si carica per prima, mi devo fermare, perché se continuassi a ricaricare, la danneggerei. Inoltre complica il tutto se ho celle con soglie diverse. Infine se una cella è danneggiata, peggiora il funzionamento di tutta la batteria perché la sua resistenza interna aumenta.

Ecco perché è di vitale importanza fare il balancing

BALANCING DISSIPATIVO

È molto usato, "brucia" energie in eccesso mediante resistenze

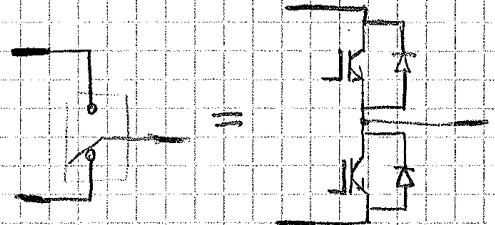
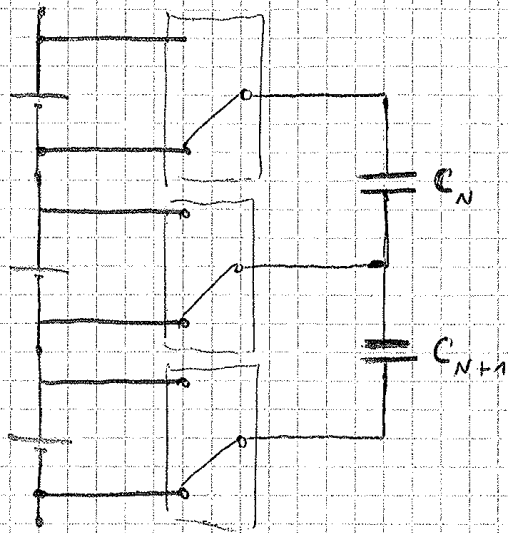
BALANCING ATTIVO

vedere le slides

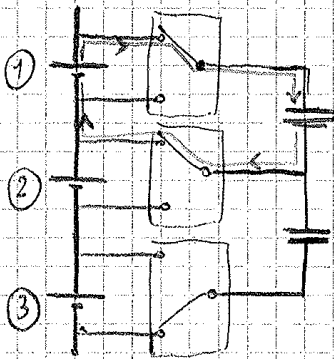
Il balancing attivo ha come scopo quello di spostare carica da una cella carica ad una più scarica in modo da uniformare equamente i potenziali di cella.

Per fare questo si usano pettini ovvero sistemi in parallelo alle serie di celle.

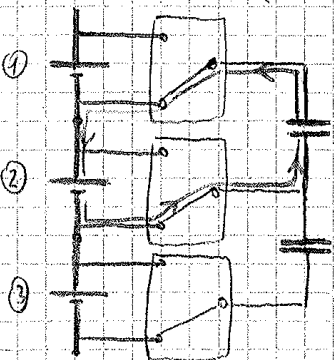
PETTINE CAPACITIVO



Considerando che la cella ① sia carica e la cella ② ancora scarica, le operazioni sono:



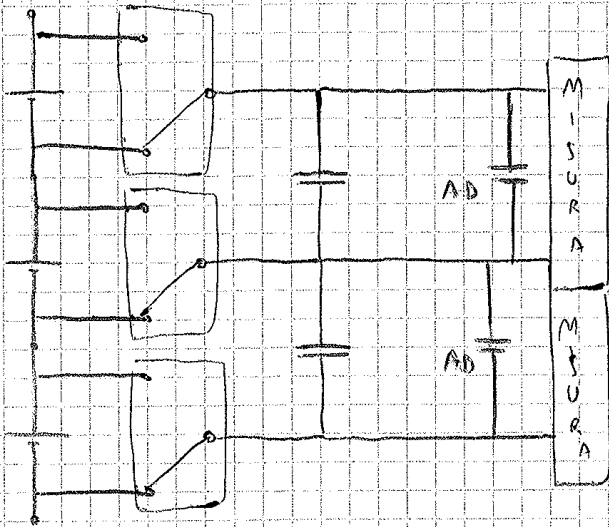
Carica il condensatore, scaricando un po' la cella ① che era al massimo.



Scarica il condensatore, ricaricando (spostando carica) nella cella ②.

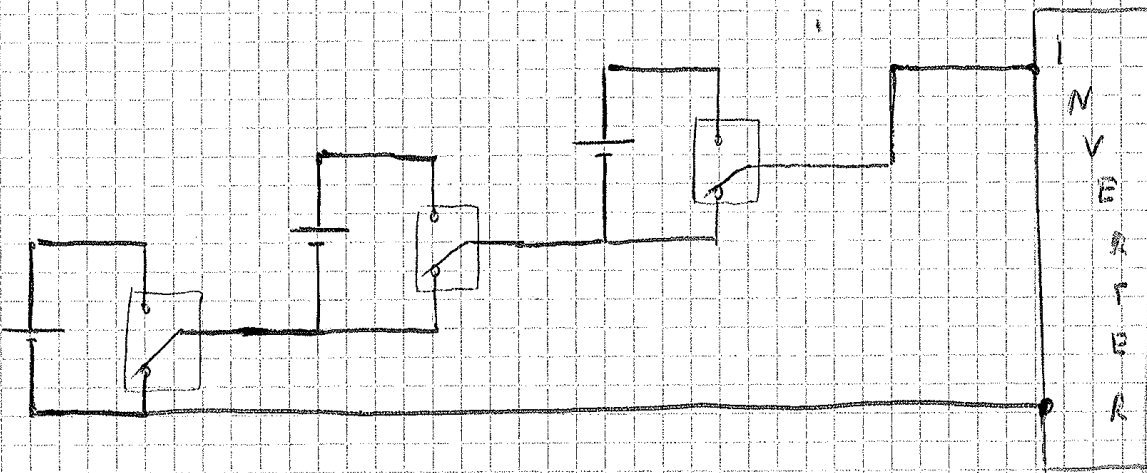
AD flottante

Mesurante un supercondensatore (+D) "scelto" molto prima corrente e lo spendo in chi è più scarico. Chi è più scarico lo vedo dalla misura



IN CASCATA

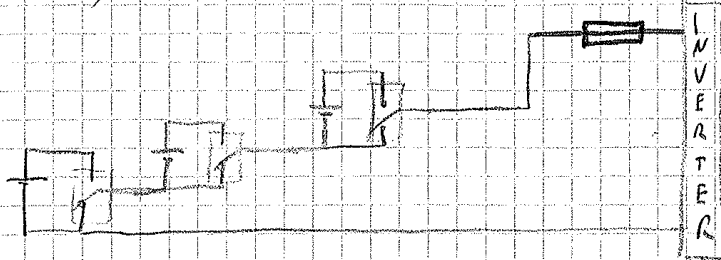
È il metodo più affidabile



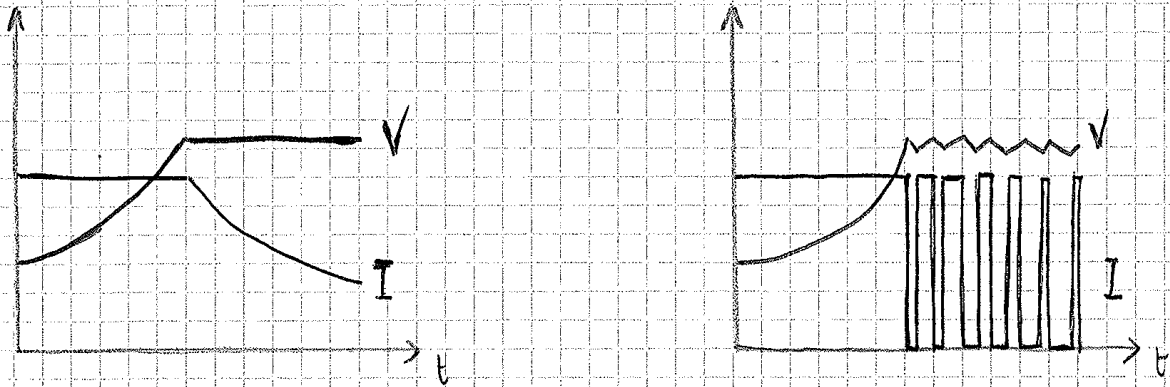
Se tutti i derivatori sono "alti" (il contrario della figura) tutte le celle sono connesse in serie. Posso escludere dalle serie le celle che voglio comandando il derivatore. Occorre quindi un [AC] per ogni celle che mi dice quale celle "aprire"

Supponendo uno switch ad ogni cella, ogni switch deve avere $0,35 \text{ m}\Omega$ di resistenza

NB: tra inverter e cella bisogna mettere dei fusibili per evitare il c° c° dell'inverter ad alta energia (quella della batteria)

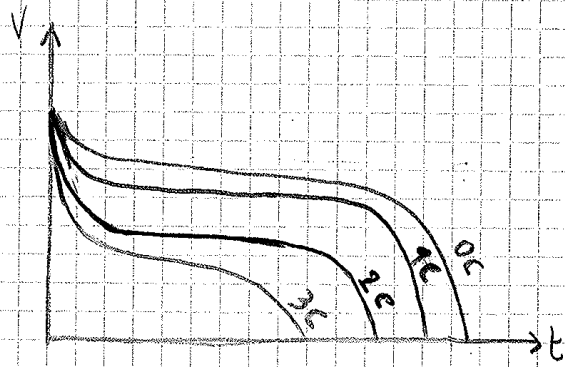


Nel caso delle batterie in cascata succede:



Non si può bypassare tutte le batterie, altrimenti la tensione va a zero, ci vuole un sys intelligente che supervisioni il tutto in funzione dello stato di carica di ogni cella.

3) TENSIONE A VUOTO A DIVERSE VELOCITÀ DI SCARICA

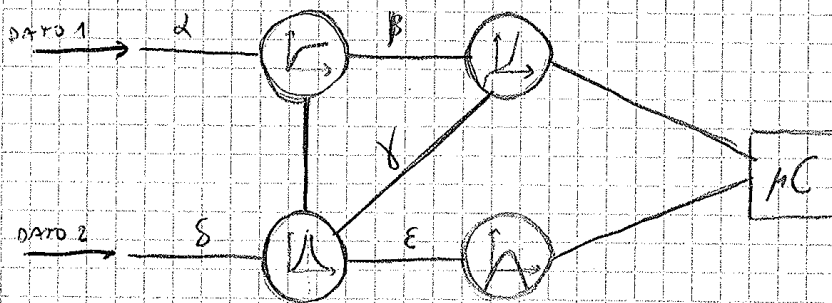


Faccio una mappatura di tutte le curve di tensione a diverse velocità di scarica. Conoscendo la vita delle batterie so (più o meno) in quale caratteristica sono e posso fare un' stima della carica.

4) INTERPOLAZIONE CON RETI NEURALI

Si fa con reti neurali in autoapprendimento (per il problema della temperatura) cioè si fanno calcoli con l'unica misura plausibile: la tensione.

Esempio di rete neurale



Il [dato 1] viene moltiplicato per il coefficiente α . Poi viene interpolato con la funzione \square , successivamente il risultato viene moltiplicato per β ed interpolato con \square .

Le funzioni interpolatrici e i pesi ($\alpha, \beta, \gamma, \dots$) sono trovati facendo delle prove sulle celle.