

INTRODUZIONE AGLI AZIONAMENTI ELETTRICI

INTRODUZIONE

- L'uomo, nelle sue attività pratiche ha bisogno di utilizzare energia nelle sue diverse forme: meccanica, termica, luminosa, ecc.
- È difficile (antieconomico o poco pratico) distribuire direttamente queste forme di energia, partendo da una sorgente comune verso più utilizzatori, soprattutto quando si debbano coprire grandi distanze.
- Molto spesso dunque la sorgente e l'utilizzatore non gestiscono forme di energia tra loro immediatamente compatibili.

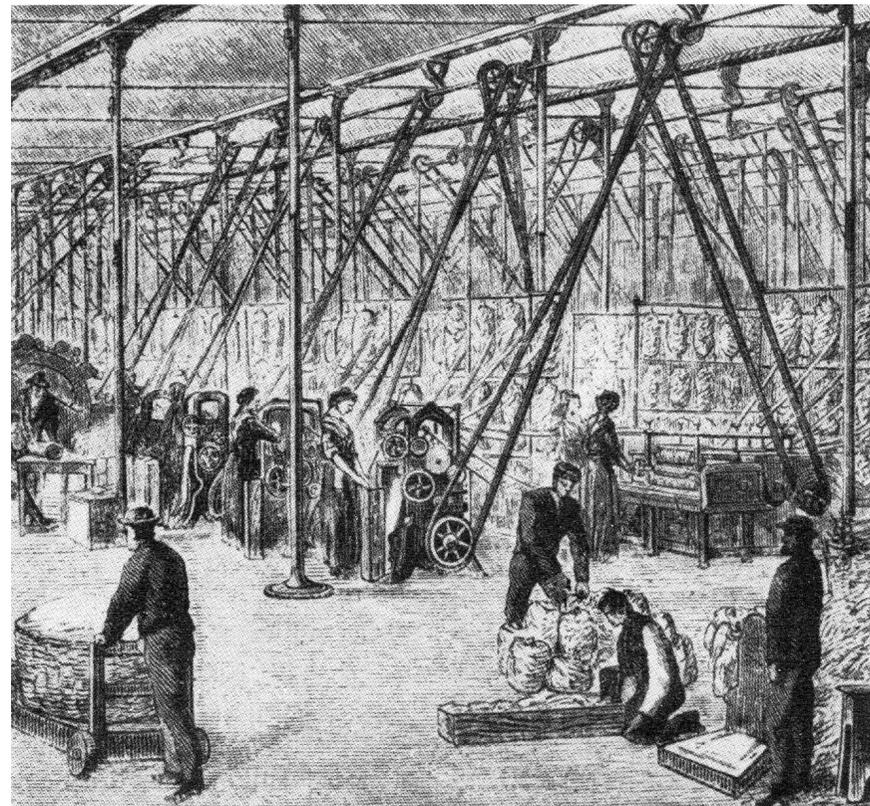
Sono disponibili molte sorgenti di energia di diverso tipo

- Sorgenti “locali” rispetto all'utilizzatore (pile elettriche, motori a combustione interna, ecc.);
 - Sorgenti (centralizzate) lontane dall'utilizzatore (centrali elettriche, generatori di vapore, ecc.).
- Energia meccanica: è la forma di energia finale più comune. È coinvolta nella movimentazione di masse e nel moto degli organi delle più svariate macchine utensili.
 - I movimenti devono avere opportune caratteristiche di forza (coppia), velocità, accelerazione, ecc.

EVOLUZIONE DEL MOTO

Inizio era industriale: le fabbriche erano dislocate presso i corsi d'acqua per sfruttare il moto prodotto dai mulini; l'energia meccanica veniva distribuita direttamente.

- “Rigidità” del moto: le caratteristiche del moto dovevano essere adattate in corrispondenza della macchina operatrice.
- Separazione delle responsabilità tra fornitore dell'energia meccanica e suo utilizzatore.



EVOLUZIONE DEL MOTO

Avvento dei motori elettrici.

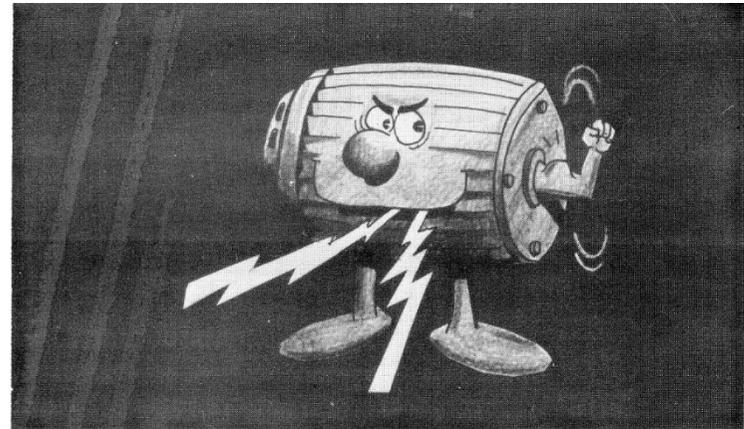
Distribuzione dell'energia elettrica (più semplice) e conversione elettromeccanica presso macchina operatrice.

Ciascuna macchina utilizzatrice viene dotata di un motore elettrico locale (“personale”).

Rimane inizialmente la “rigidità” del moto.

Compaiono i primi “azionamenti elettrici a velocità variabile (motori c.c.).

Rimane però la separazione tra i costruttori della macchina elettrica e della macchina operatrice.



EVOLUZIONE DEL MOTO

- Avvento dei componenti elettronici di potenza e dei convertitori elettronici.
- Possibilità di variare la velocità dei motori in maniera molto più efficiente versatile ed economica.
 - Diffusione degli azionamenti elettrici a velocità variabile. Prima con motori a corrente continua successivamente con motori a corrente alternata.
 - Si è progressivamente colmata la distanza tra progettisti della macchina elettrica, dei convertitori elettronici di potenza e delle macchine operatrici.
 - Oggi ci deve essere stretta collaborazione tra i progettisti delle varie apparecchiature; anzi è il progettista della macchina operatrice che “pretende” un azionamento avente ben precise caratteristiche (specifiche).
 - Si è avviato un processo di evoluzione in tutti i settori applicativi. Richiesta di prestazioni sempre più sofisticate man mano che migliorano i componenti elettronici di potenza, le potenzialità di calcolo e gli algoritmi di controllo.

VELOCITA' VARIABILE

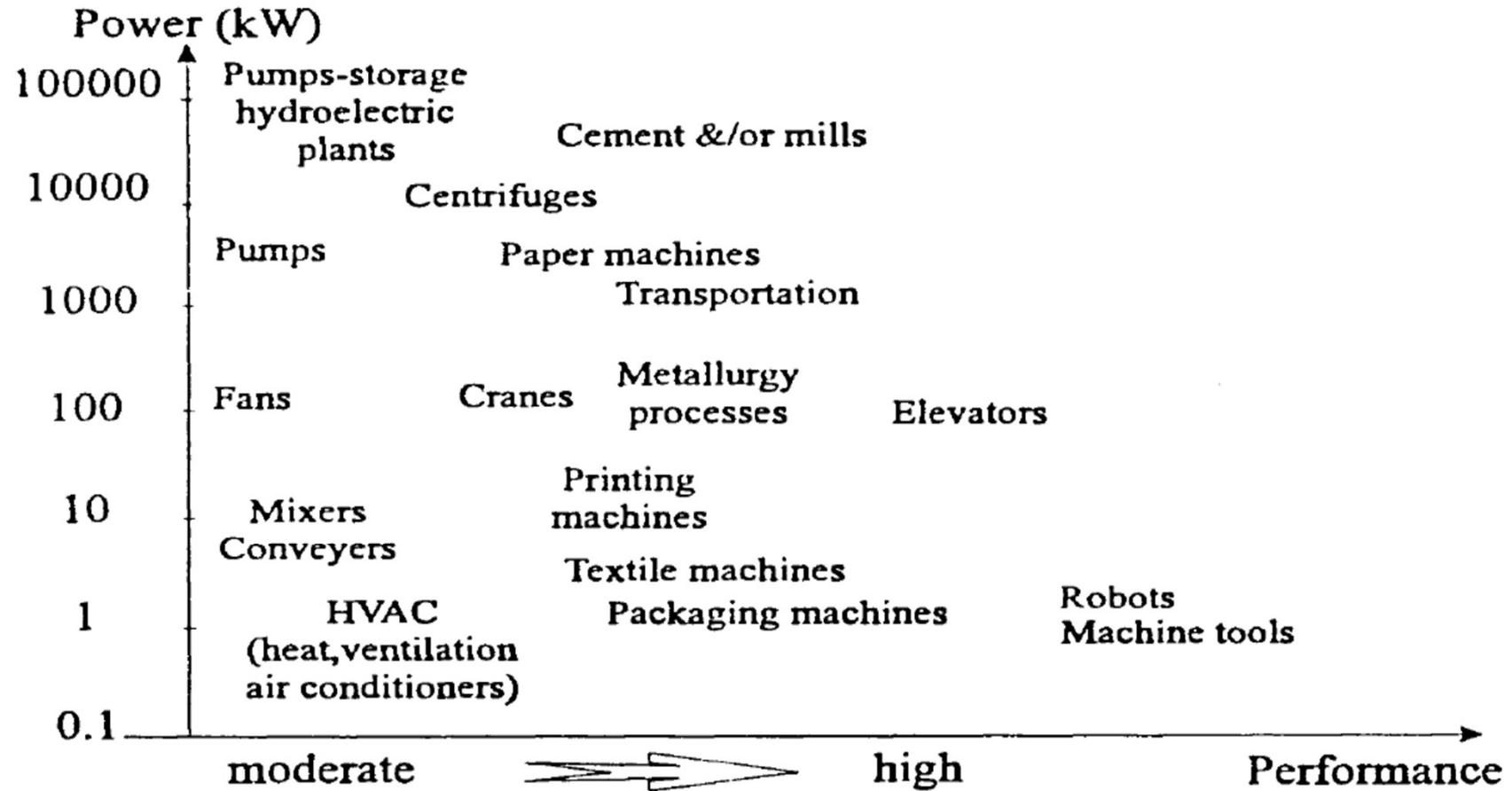
Perché la velocità variabile?

- Le motivazioni sono diverse, alcuni processi non funzionano senza variare la velocità altri ne traggono estremo beneficio in termini di prestazioni o di rendimento.
- In generale gli azionamenti a velocità variabile sono usati per
 - soddisfare le esigenze di velocità (e/o posizione, e/o accelerazione) del carico (processo),
 - soddisfare le esigenze di coppia del carico,
 - risparmiare energia e aumentare l'efficienza.
- In sostanza l'obiettivo è far funzionare l'azionamento nel punto di lavoro (coppia-velocità) che esige il carico e/o che esige l'obiettivo del risparmio energetico.

PRINCIPALI APPLICAZIONI

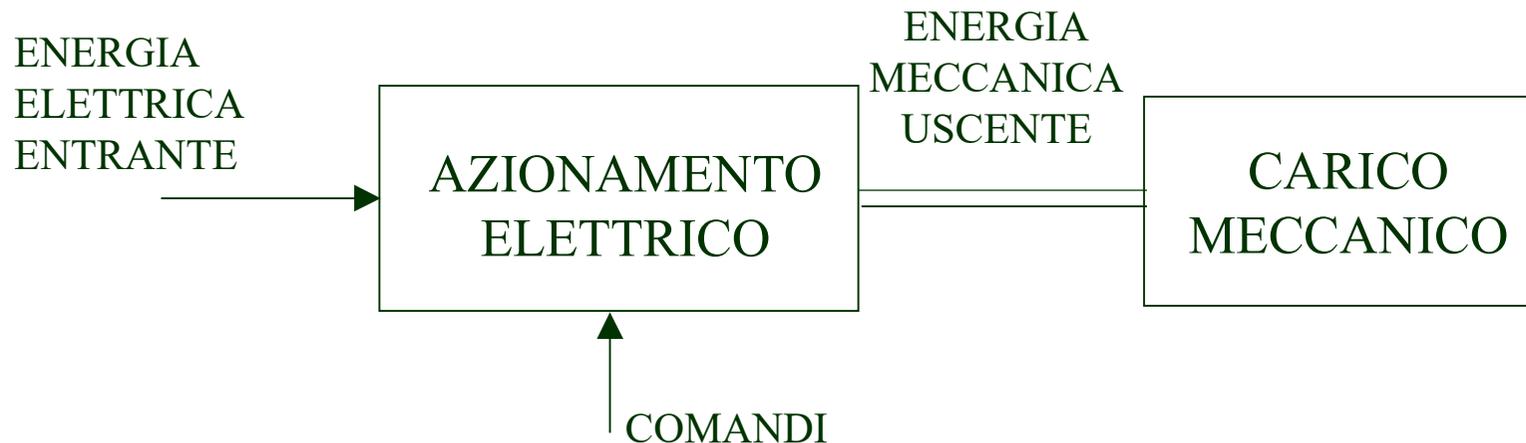
Applicazioni	Valori tipici di potenza (kW)
azionamento assi per macchine utensili	0,5÷5
azionamento mandrino per macchine utensili	3÷200
laminatoi e linee di trattamento siderurgiche	300÷10.000
macchine per la lavorazione di plastica, legno, cemento, vetro, ecc.	5÷200
manipolatori di materiali: nastri trasportatori, sollevatori (ascensori, gru, montacarichi), convogliatori, ecc.	5÷100
movimentazione di fluidi: pompe, ventilatori, compressori, ecc.	2÷1000
servomeccanismi in genere: robot, puntamento di armi e radar, ecc.	0,5÷100
veicoli a trazione elettrica: treni, metropolitane, tram, funivie, auto, ecc.	20÷4000
veicoli a trazione elettrica leggera: scooter, biciclette, ecc.	1÷10
applicazioni automobilistiche: ventole, motorini avviamento, tergicristalli, ecc.	0,1÷1

PRESTAZIONI



AZIONAMENTO ELETTRICO

Un Azionamento Elettrico a velocità controllata è un apparato (sistema) che, alimentato da una sorgente di energia elettrica e pilotato mediante dei comandi esterni, eroga energia meccanica con velocità e coppia di valore opportuno.

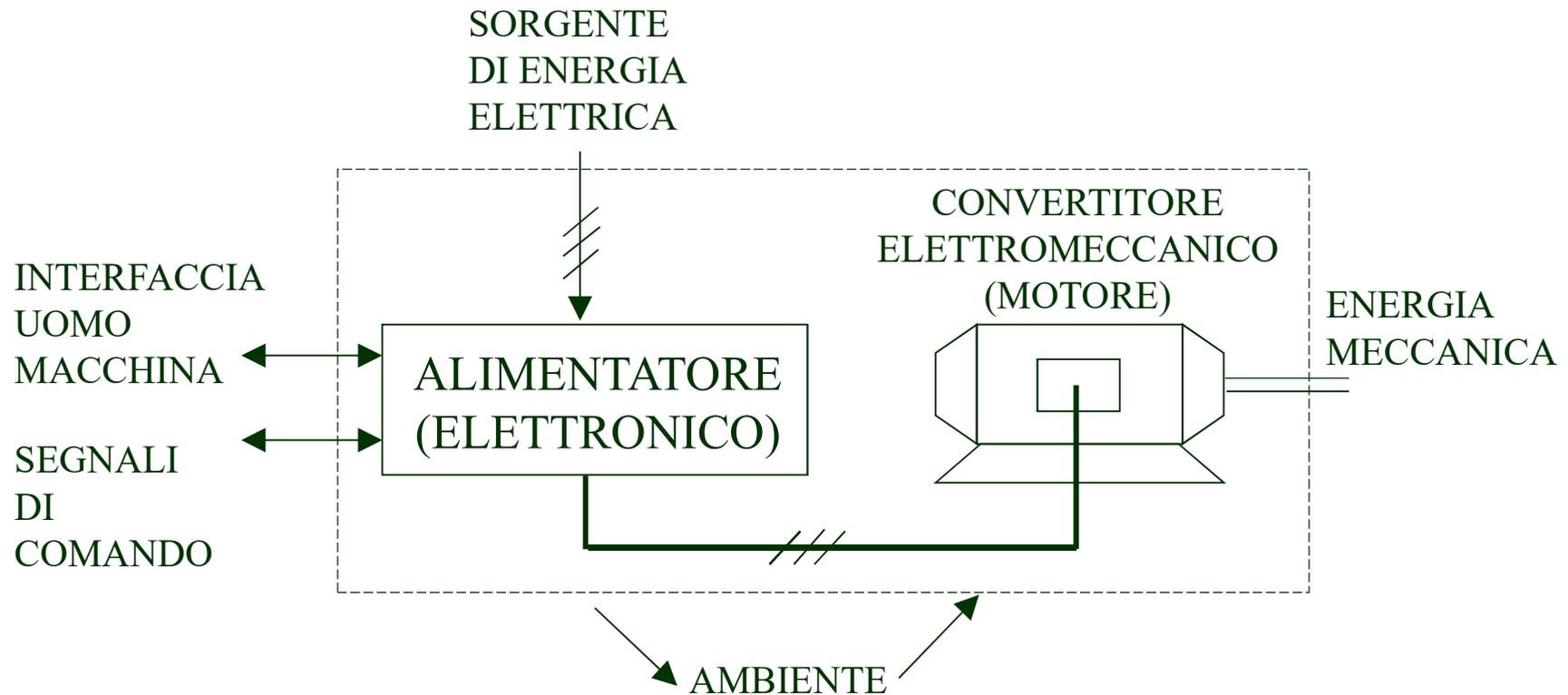


Definizione da norma CEI:

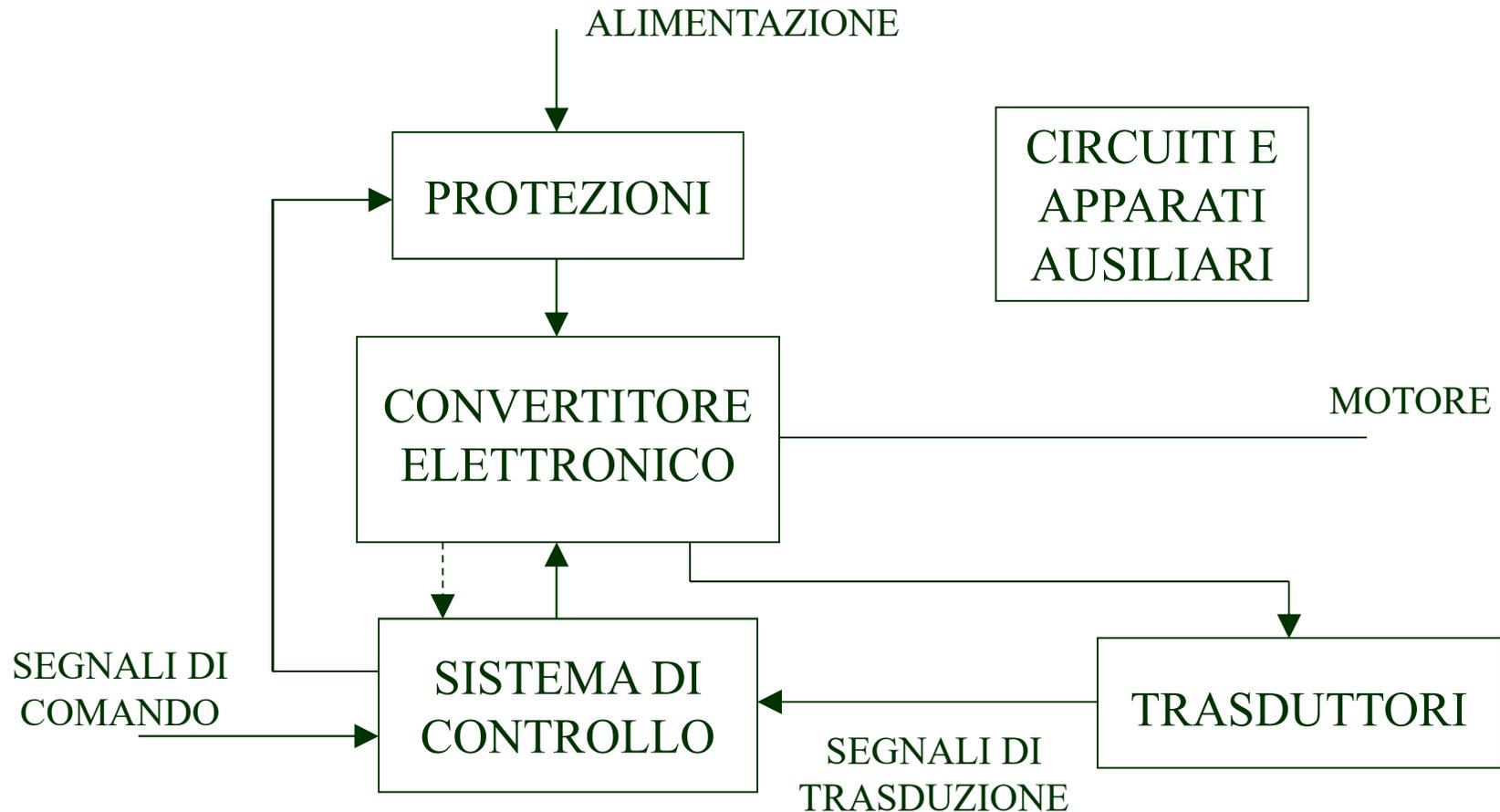
Sistema che converte energia elettrica in meccanica, con l'uso di apparecchiature elettroniche di potenza, in accordo con una funzione di comando (e secondo un programma definito).

AZIONAMENTO ELETTRICO

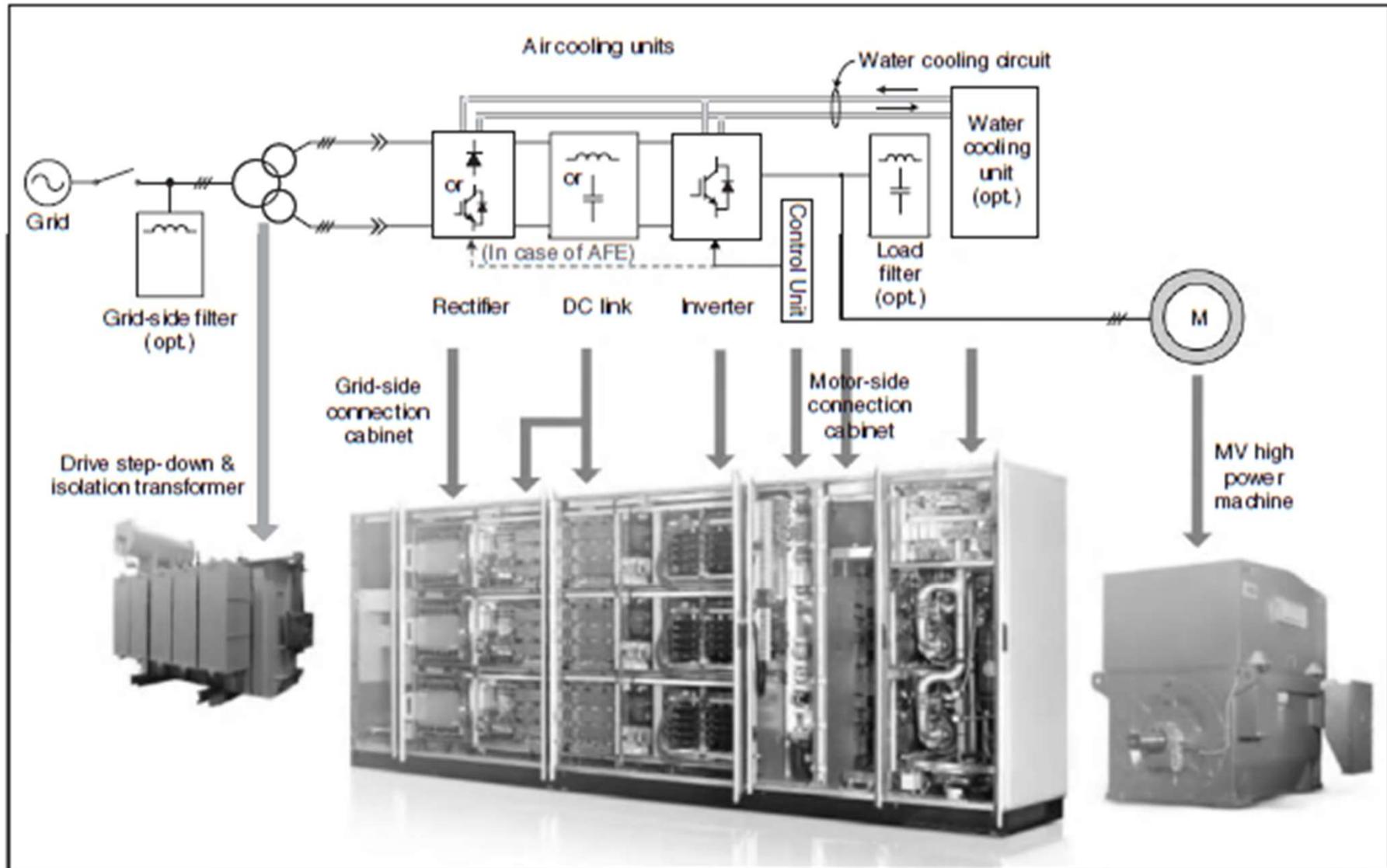
- Sistema di alimentazione (conversione e controllo)
- Sistema di conversione elettromeccanica (motore)



ALIMENTATORE (ELETTRONICO)



ESEMPIO



FUNZIONAMENTO

Nella figura precedente si distinguono i principali componenti di un azionamento elettrico nella sua versione più completa:

raddrizzatore, circuito intermedio in continua (DC link), inverter, unità di controllo, macchina elettrica, ausiliari.

❖ Il raddrizzatore a seconda delle specifiche può essere semplice a diodi oppure di tipo “active front-end” con interruttori controllati.

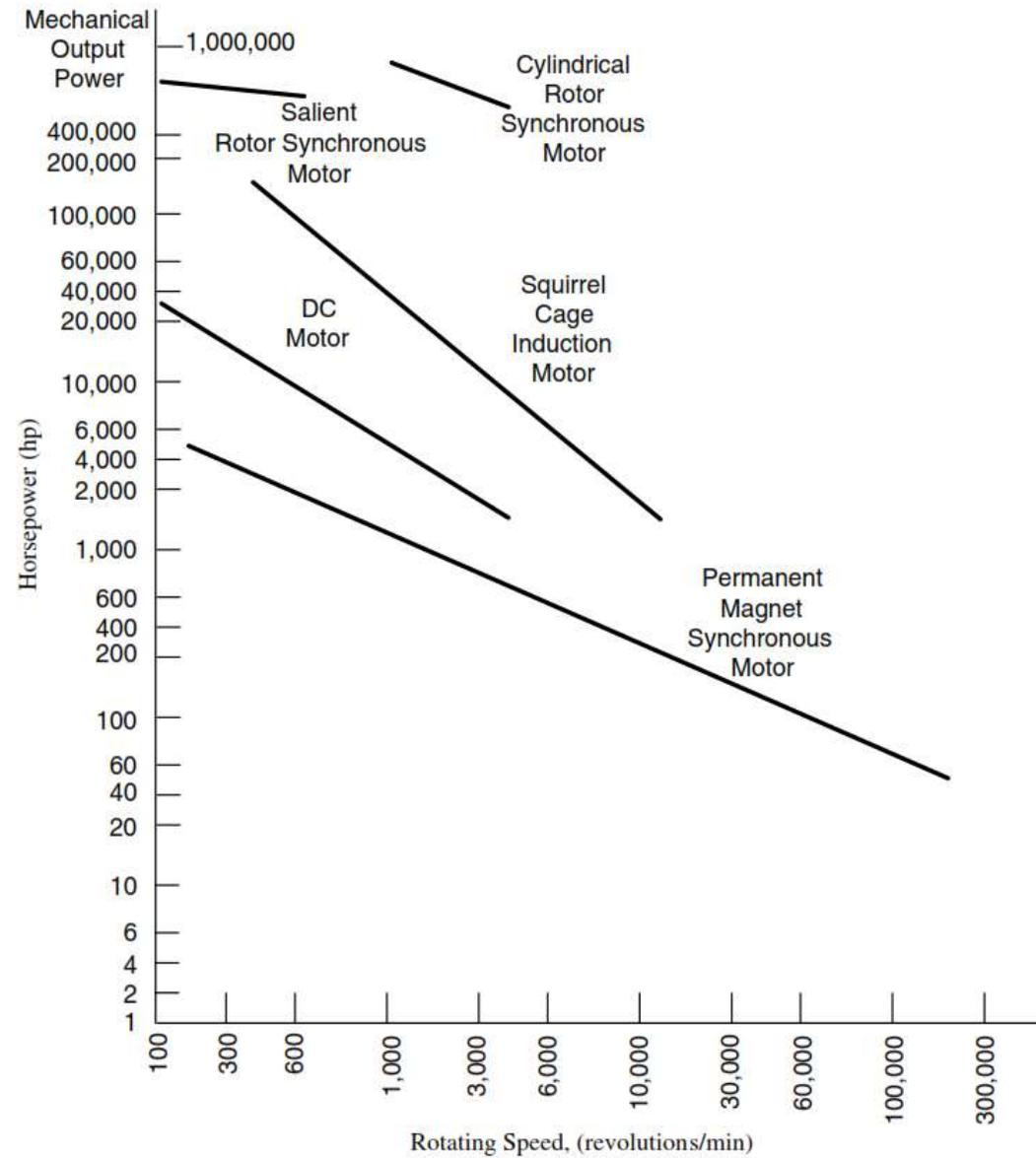
❖ Il DC link può essere caratterizzato da un elemento induttivo in serie o da uno capacitivo in parallelo a seconda che si voglia alimentare l’invertitore rispettivamente con un generatore di corrente (invertitore di corrente, CSI) o di tensione (invertitore di tensione, VSI). In ogni caso il circuito intermedio in continua ha lo scopo di disaccoppiare raddrizzatore e invertitore tramite la proprietà di accumulare energia dei componenti reattivi (induttanza o capacità).

❖ L’inverter modula la tensione (o la corrente) del DC link e genera una tensione in modo che la prima armonica abbia un’ampiezza, una frequenza ed una fase tali da ottenere degli opportuni valori di coppia e velocità all’albero del motore.

FUNZIONAMENTO

- ❖ L'unità di controllo elabora le informazioni provenienti dal “campo” acquisendo i valori delle grandezze più importanti (tipicamente: tensioni, correnti, velocità, posizione) tramite dei trasduttori e genera i comandi degli interruttori elettronici di potenza (del raddrizzatore e dell'inverter).
- ❖ Il motore elettrico ha la funzione di convertire l'energia elettrica in energia meccanica con caratteristiche di coppia e velocità opportune. La sua tipologia dipende dall'applicazione, dalle prestazioni che si vogliono ottenere (definite dalle “specifiche”) e non ultimo dall'aspetto economico.
- ❖ Nella figura si evince anche la presenza di altri componenti necessari al corretto funzionamento di tutto il sistema (ma di ausilio al funzionamento dei componenti principali): trasformatore, filtri di ingresso e di uscita, sistema di raffreddamento dei dispositivi elettronici di potenza.

TIPOLOGIE DI MOTORI



1hp=0,746 kW

CONTROLLO DEGLI AZIONAMENTI

Inizialmente (anni sessanta del secolo scorso) il controllo degli azionamenti elettrici (e dei convertitori elettronici di potenza) era realizzato con circuiti analogici tramite amplificatori operazionali e componenti passivi.

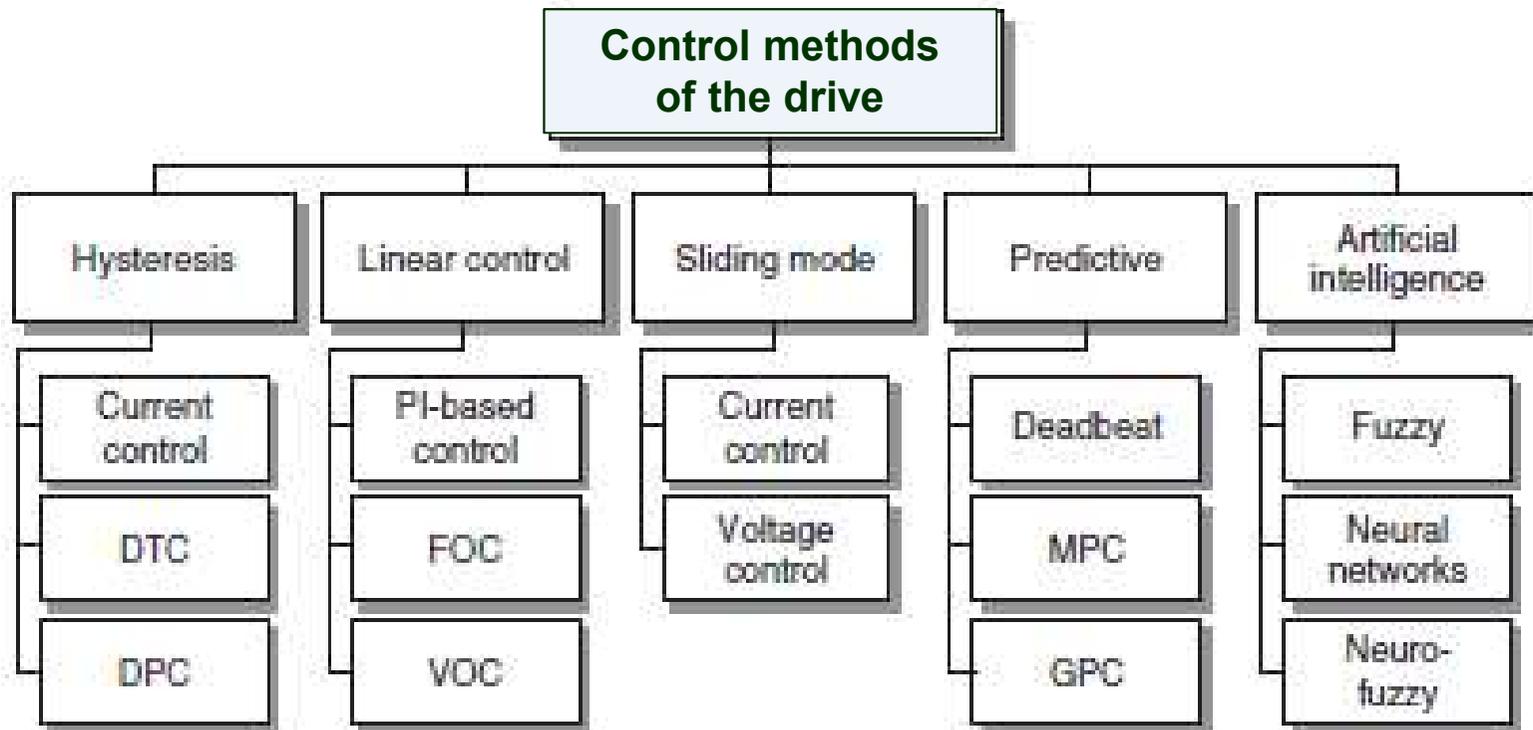
Successivamente, nei sistemi di controllo sono stati introdotti anche i circuiti digitali.

Maggiori versatilità e complessità nei controlli si sono ottenute con l'uso del microprocessore.

Recentemente l'avvento dei microcontrollori e dei DSC (Digital Signal Controller), grazie alla loro elevata capacità di calcolo, ha permesso di realizzare controlli sempre più evoluti, fino all'intelligenza artificiale.

Comunque nella maggior parte delle applicazioni industriali sulle piattaforme DSC vengono utilizzati molti dei concetti convenzionali e tradizionali della teoria dei controlli già adottati nelle soluzioni con circuiteria analogica (come per esempio i regolatori standard – PID).

METODOLOGIE DI CONTROLLO



DTC: Direct Torque Control
DPC: Direct Power Control
FOC: Field Oriented Control
VOC: Voltage Oriented Control

MPC: Model Predictive Control
GPC: Generalize Predictive Control

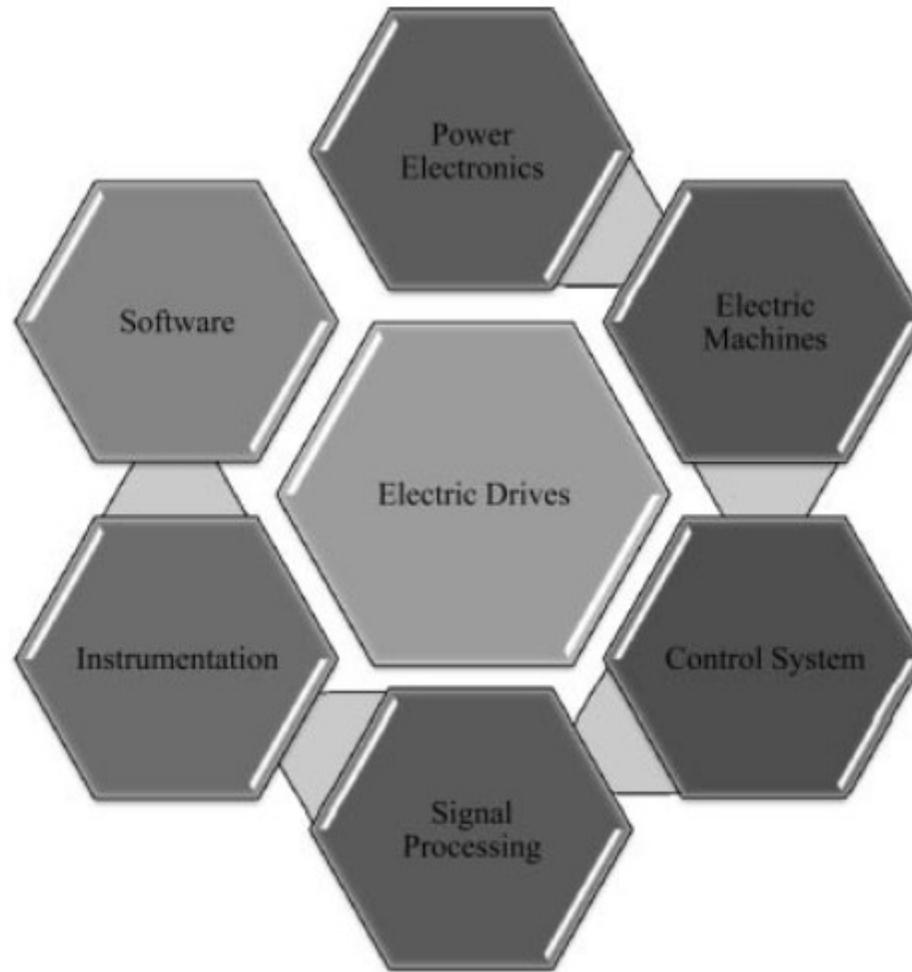
PRESTAZIONI E CARATTERISTICHE

Le prestazioni di un azionamento elettrico in generale sono richieste dall'utilizzatore (il cliente della aziende costruttrici) in funzione dell'applicazione a cui è destinato.

Per ottenere le prestazioni volute è necessario utilizzare componenti (motori, convertitori, ecc.) aventi caratteristiche opportune ma è altrettanto importante adottare una adeguata metodologia di controllo, anzi la scelta del sistema di controllo, nel corso degli ultimi anni, ha assunto sempre maggiore rilevanza nel processo di progettazione e realizzazione dell'azionamento elettrico.

La progettazione di un azionamento elettrico è in sostanza un processo di ricerca del miglior compromesso tra più obiettivi che devono essere perseguiti contemporaneamente per altro nel rispetto di alcuni vincoli fisici o di funzionamento sia intrinseci che imposti da normative.

INTERDISCIPLINARIETA'



OBIETTIVI E VINCOLI

I principali obiettivi da perseguire e vincoli da rispettare sono di seguito riassunti.

- ❖ Ottenere il minor errore possibile nei valori delle grandezze controllate e contemporaneamente elevate dinamica e reiezione ai disturbi delle grandezze stesse.
- ❖ Minimizzare le perdite di potenza da parte degli interruttori elettronici di potenza onde ottenere elevato rendimento e migliore utilizzazione degli interruttori stessi.
- ❖ Rispettare i limiti imposti dalle normative della distorsione armonica introdotta dal funzionamento in commutazione degli interruttori di potenza. Si ricordi che la distorsione armonica solitamente si valuta attraverso il coefficiente THD.
- ❖ Rispettare la normativa in merito alla compatibilità elettromagnetica (EMC).

OBIETTIVI E VINCOLI

- ❖ Minimizzare le tensioni di modo comune (quando richiesto) perché possono produrre effetti dannosi. Per esempio per minimizzare le correnti di dispersione che, in alcuni casi, compromettono la sicurezza e riducono la vita media dell'azionamento.
- ❖ Mantenimento delle prestazioni in un ampio campo di condizioni operative. Giocano contro questo obiettivo la non linearità dei componenti dell'azionamento e la taratura del sistema di controllo sulla base di un modello linearizzato dell'impianto intorno ad uno specifico punto di lavoro.
- ❖ Alcune strutture di azionamento hanno dei limiti e delle restrizioni intrinseci come per esempio: problemi legati a stati di commutazione non ammessi, problematiche di bilanciamento di tensione, o di potenza, insorgenza di risonanze o altre specifiche limitazioni.

SPECIFICHE

- Gli obiettivi e i vincoli precedentemente elencati si traducono operativamente nelle **specifiche** dell'azionamento elettrico.
- *Le specifiche comprendono tutte le informazioni e i dati necessari a stabilire se un determinato prodotto è idoneo a svolgere i compiti che ci si è prefissati.*
- Possono essere suddivise in vari ambiti:
 - Prestazioni meccaniche,
 - Prestazioni di regolazione,
 - Caratteristiche statiche e dinamiche delle macchine,
 - Caratteristiche elettriche,
 - Caratteristiche dimensionali,
 - Condizioni ambientali.

SPECIFICHE

Prestazioni meccaniche

Si riferiscono ai campi di variazione della coppia e della velocità fornite dall'azionamento.

È necessario conoscere

- la caratteristica meccanica del carico (relazione tra velocità e coppia),
- i quadranti di funzionamento (nel piano coppia-velocità),
- il ciclo di carico (andamento del carico nel tempo, comprese le informazioni per l'avviamento).

SPECIFICHE

Caratterizzazione del carico

Il motore sviluppa una coppia C_m (forza F_m) ad una certa velocità angolare ω_m , (velocità lineare v_m) quindi una certa potenza che deve essere trasferita al carico.

Caratteristiche statiche: relazione tra la velocità e la coppia (forza) richiesta per sviluppare il lavoro in regime stazionario.

Caratteristiche dinamiche: evoluzione nel tempo, secondo opportune leggi, delle grandezze meccaniche a seguito di variazioni delle condizioni di lavoro.

Catene cinematiche: collegamenti meccanici per la trasmissione della coppia (forza). In questi dispositivi sono presenti fenomeni sia dissipativi che di accumulo di energia.

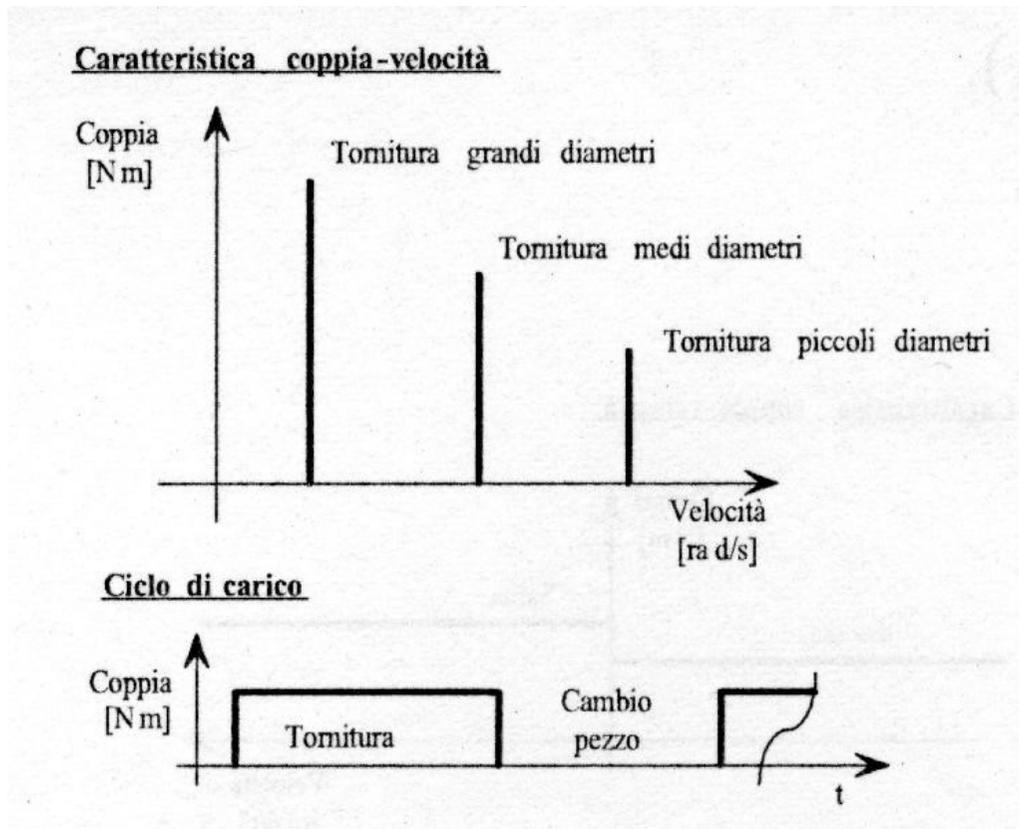
SPECIFICHE

Prestazioni meccaniche

In relazione al tipo di funzionamento meccanico gli azionamenti si possono suddividere in:

- Azionamenti *tipo-asse*, volti all'ottenimento di una prefissata legge del moto, posizione o velocità in funzione del tempo con elevata dinamica;
- Azionamenti *tipo-mandrino*, volti sostanzialmente al controllo della velocità, prestazioni dinamiche legate alle variazioni di carico (qui la dinamica interviene quando ci sia un disturbo che modifichi il punto di funzionamento istantaneo).

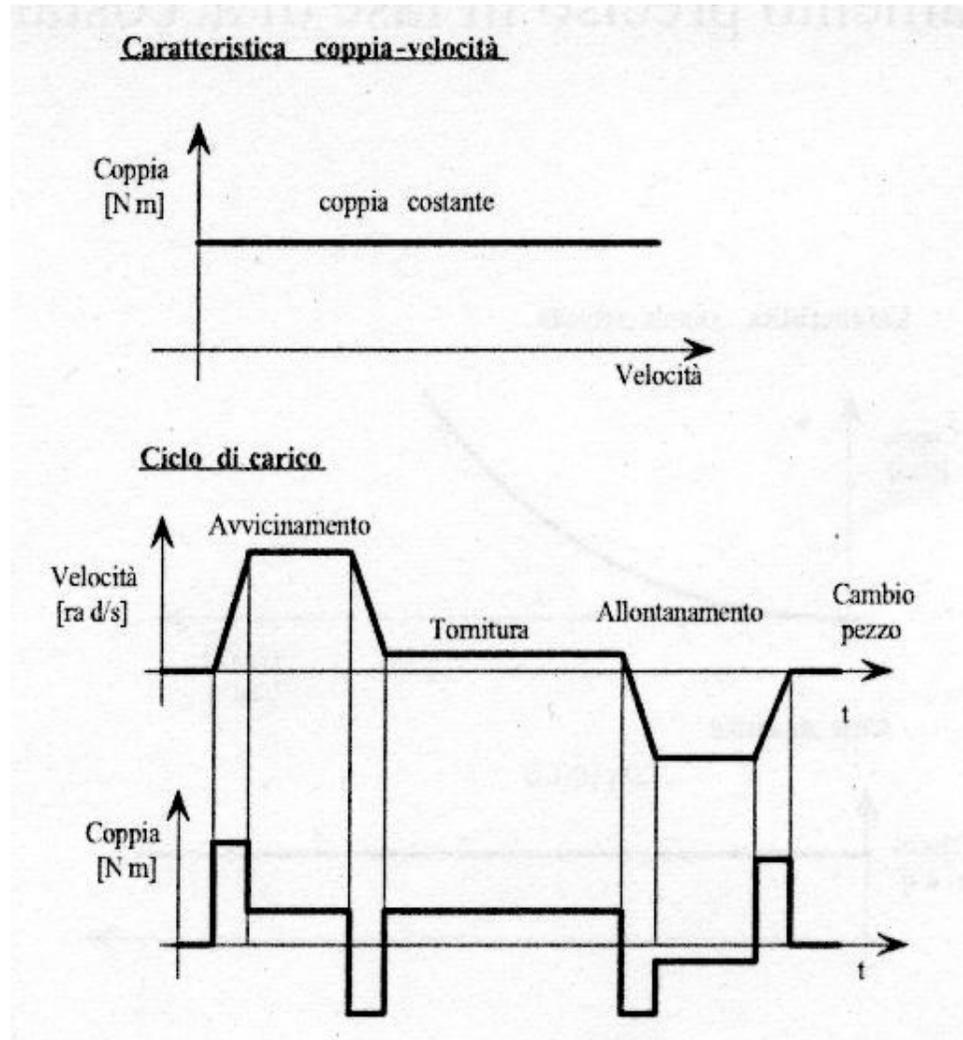
APPLICAZIONI: mandrino di tornio



Alle volte è richiesto contemporaneamente un asservimento di posizione per l'avanzamento.

- Tipo mandrino
- Funzionamento sul primo quadrante (velocità e coppia unidirezionali).
- Prestazioni meccaniche a potenza costante:
 - per lavorazione di pezzi di grande diametro occorrono velocità angolare bassa e coppia elevata,
 - per lavorazioni di pezzi di piccolo diametro occorrono velocità angolare elevata e coppia bassa.
- Prestazioni dinamiche elevate:
variazioni istantanee di velocità producono difetti di lavorazione.

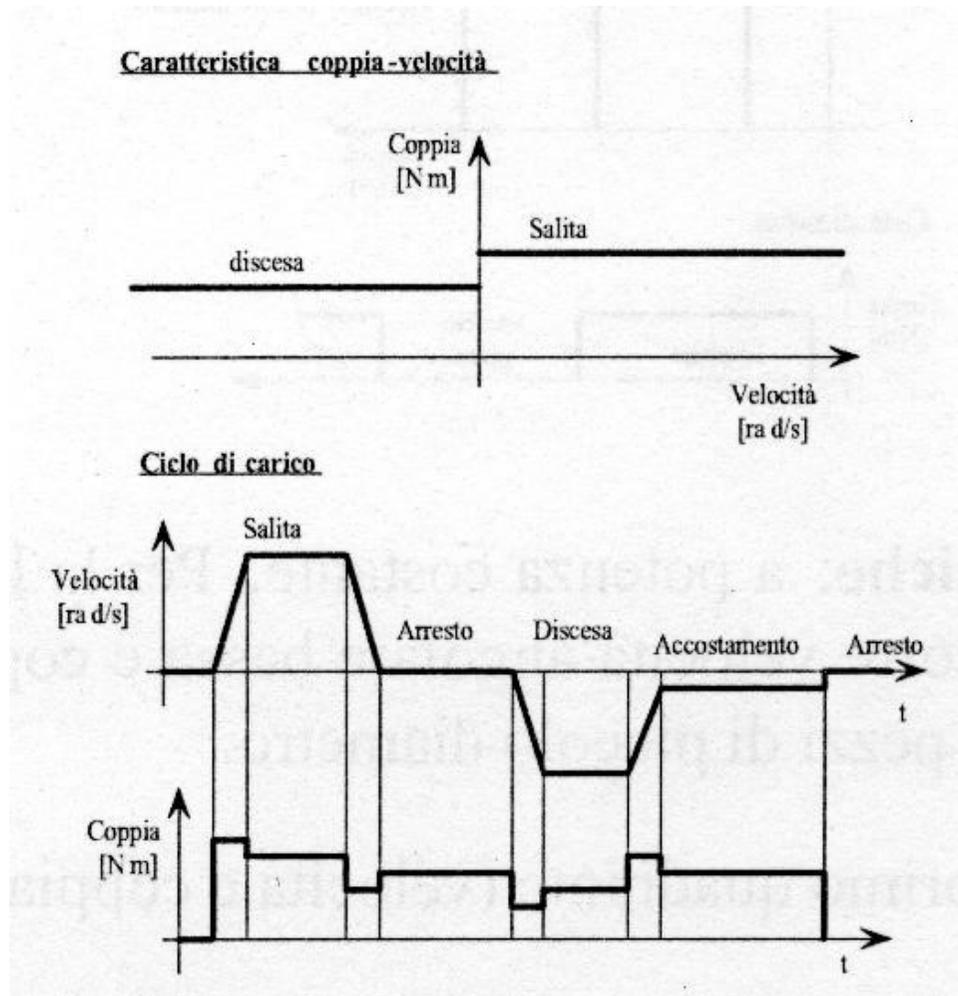
APPLICAZIONI: avanzamento utensili



- Tipo asse
- Funzionamento sui quattro quadranti (sia coppia che velocità bidirezionali).
- Prestazioni meccaniche a coppia costante: la coppia sostanzialmente è indipendente dalla velocità di avanzamento.
- Prestazioni dinamiche elevate:
 - velocità di taglio estremamente costante,
 - (accelerazioni e decelerazioni elevate in avvicinamento e allontanamento).

Nel caso di asservimento di posizione può essere chiesta una elevata precisione dinamica (lavorazione di viti, dispositivi a copiare, ecc).

APPLICAZIONI: sollevamento

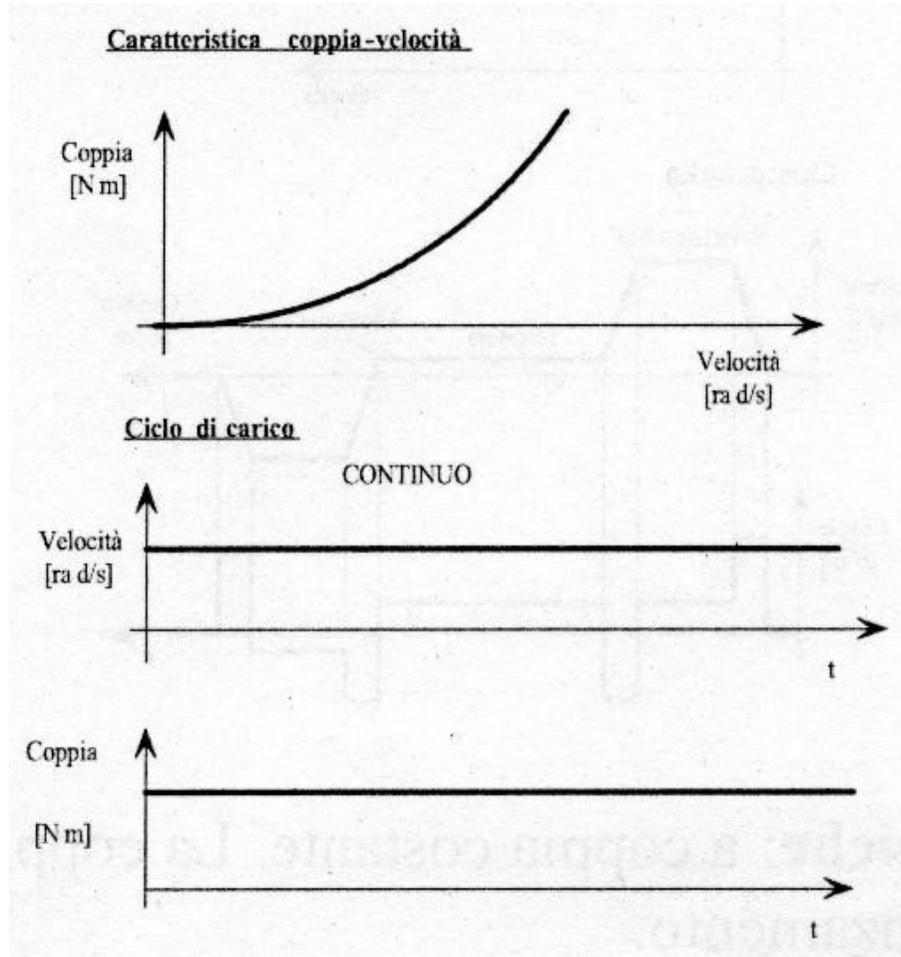


- Funzionamento nel primo e secondo quadrante (coppia unidirezionale, velocità bidirezionale).

- Prestazioni meccaniche a coppia costante (la coppia dipende soprattutto dal peso da sollevare, molto poco dalla velocità).

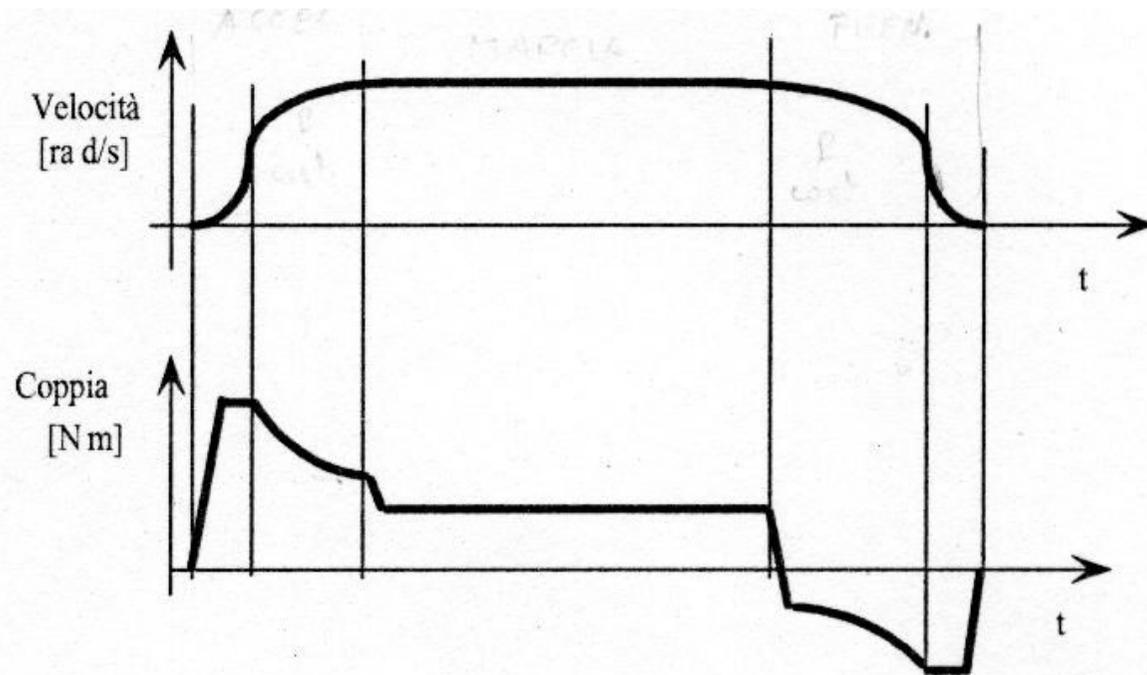
- Prestazioni dinamiche buone/elevate (soprattutto nella fase di accostamento).

APPLICAZIONI: pompa e ventilatore



- Funzionamento nel primo quadrante (coppia e velocità entrambe unidirezionali).
- Prestazioni meccaniche a coppia crescente con la velocità: (coppia approssimativamente proporzionale al quadrato della velocità).
- Prestazioni dinamiche limitate.
- Elevato rendimento.

APPLICAZIONI: trazione



- Funzionamento nel primo e quarto quadrante (coppia bidirezionale e velocità unidirezionale); trazione ferroviaria : 4 quadranti.
- Caratteristica meccanica caratterizzata da elevata inerzia del carico.
- Prestazioni dinamiche basse in velocità, ma elevate in coppia (buon controllo dell'accelerazione).
- Elevato rendimento (soprattutto se alimentazione a batteria).

SPECIFICHE

Prestazioni di regolazione

- Stabilire le leggi di variazione della velocità e/o della coppia in funzione delle azioni di controllo.

Regolazioni:

- a velocità costante secondo un riferimento prefissato,
 - a coppia costante (macchine a lavorazioni continue),
 - a coppia crescente o decrescente con l'aumentare della velocità,
 - ad accelerazione programmata (trazione elettrica),
 - rapide e precise di una posizione angolare (robot, gruppi porta utensili).
- Per la valutazione delle prestazioni di regolazione si devono definire le caratteristiche di funzionamento in regime stazionario e dinamico.

SPECIFICHE

Prestazioni di regolazione

- **precisione a regime:** capacità di un sistema di seguire alcuni segnali di riferimento con il minimo errore;
- **risposta nel transitorio:** andamento per tempi finiti dell'uscita del sistema in retroazione in risposta a tipici segnali in ingresso;
- **stabilità relativa:** valutato tramite il “grado” di stabilità di un sistema (p.e. osservando la “distanza” del diagramma polare dal punto critico $-1+j0$, oppure i margini di stabilità per i sistemi tempo-continuo);
- **sensibilità parametrica:** capacità del sistema nel mantenere le prestazioni anche in presenza di variazioni dei parametri rispetto ai valori nominali;
- **reiezione dei disturbi:** capacità del sistema controllato di ridurre al minimo l'influenza sull'uscita di eventuali disturbi che entrano nell'anello di controllo, quali errori di misura, variazioni di carico, rumore sulle variabili acquisite, ecc.

SPECIFICHE

Caratteristiche elettriche

- Fattore di potenza dell'energia assorbita nelle varie condizioni di funzionamento.
- Impedenza di corto circuito della rete.
- Contenuto di armoniche della tensione di alimentazione.
- Contenuto di armoniche della corrente assorbita.
- Livello dei disturbi di tipo impulsivo.
- Tipo di protezioni contro i guasti accidentali previsti.

SPECIFICHE

Caratteristiche fisiche e dimensionali

- Dimensioni di ingombro dell'apparecchiatura.
- Attacchi per l'installazione.
- Dimensioni dell'albero del motore e relative chiavette.
- Posizione e dimensioni delle morsettiere di collegamento.
- Vincoli imposti per lo smaltimento del calore (prese d'aria, scarichi, ecc.).
- Eventuale presenza dei sensori tachimetrici o di posizione.
- Eventuali altre particolari informazioni utili al montaggio.

SPECIFICHE

Caratteristiche ambientali

- Limiti di temperatura, umidità, altitudine.
- Presenza di polveri o gas aggressivi.
- Stillicidio.
- Ambienti con pericolo d'incendio o di esplosione.
- Limiti sul disturbo acustico e sulle vibrazioni.
- Limiti sui disturbi a frequenze radio.