UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA
“LA SAPIENZA”
DIPARTIMENTO DI INFORMATICA E SISTEMISTICA

MOVIMENTAZIONE CONTROLLATA

PROBLEMI EMERGENTI

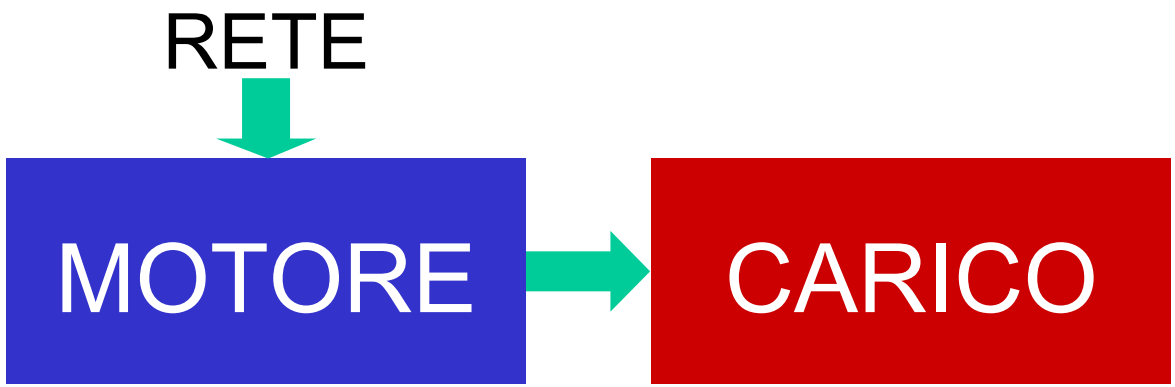
ALESSANDRO DE CARLI

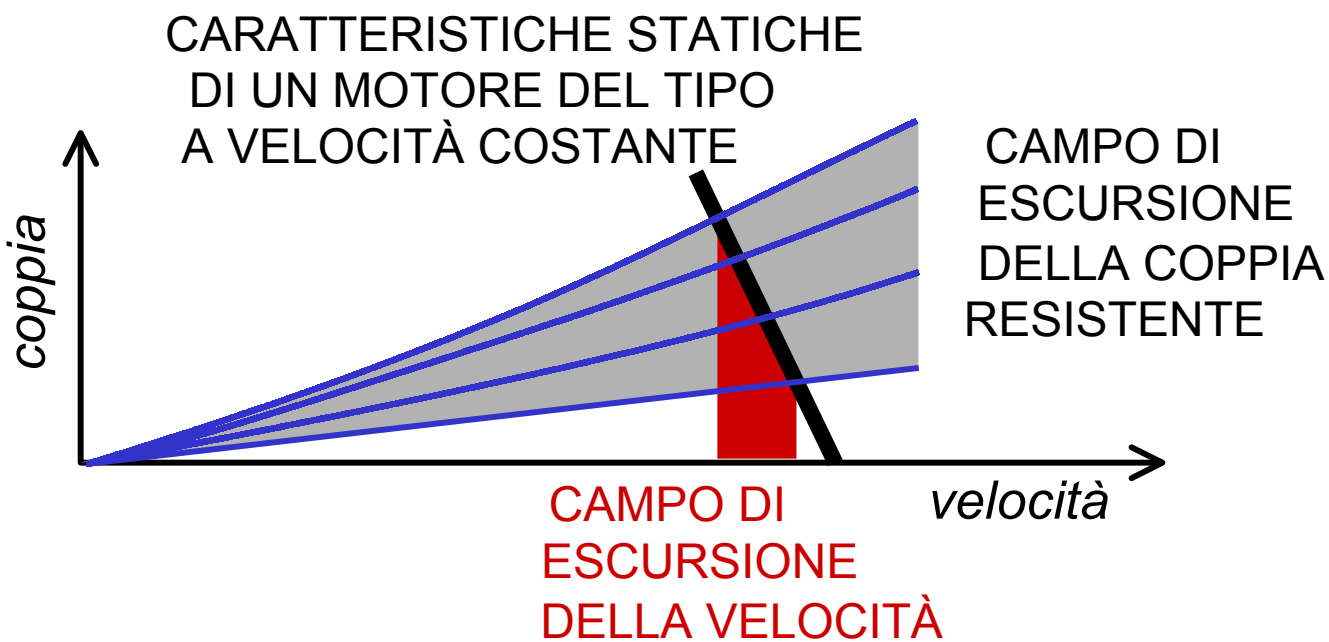
ANNO ACCADEMICO 2000 - 2001

MOVIMENTAZIONE CONTROLLATA

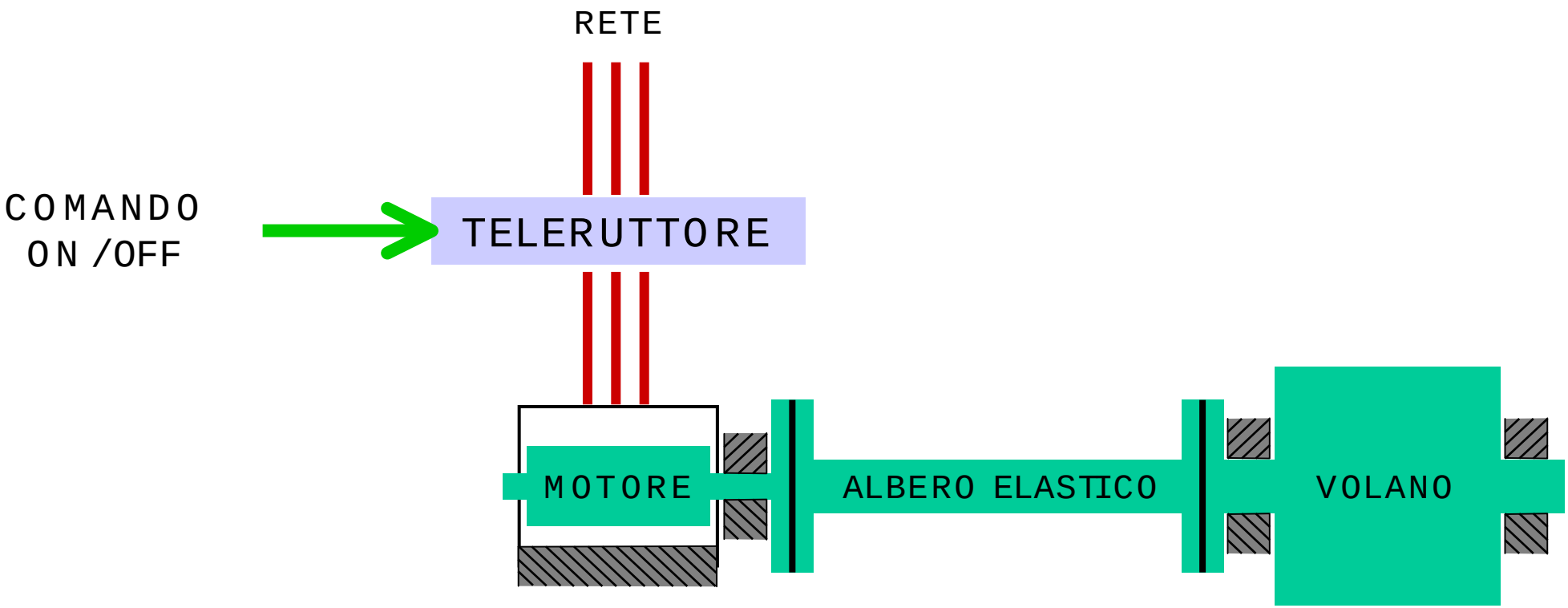
CARICO PRESTAZIONI	ASSEGNATE E/O DA DEFINIRE
AZIONAMENTO: MOTORE, CONVERTITORE, MODALITÀ DI CONTROLLO DEL MOTORE	SCELTE SULLA BASE ALLE PRESTAZIONI E ALLE MODALITÀ DI CONTROLLO DELLA MOVIMENTAZIONE
STRUMENTAZIONE DI MISURA	
MODALITÀ DI CONTROLLO DELLA MOVIMENTAZIONE	FISSATE DAL PROGETTISTA

MOVIMENTAZIONE CONVENZIONALE

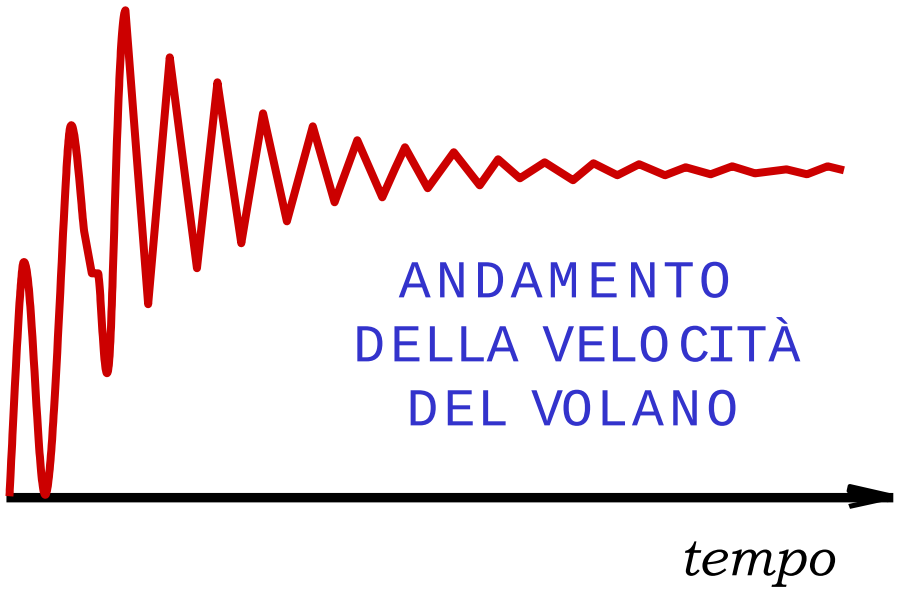




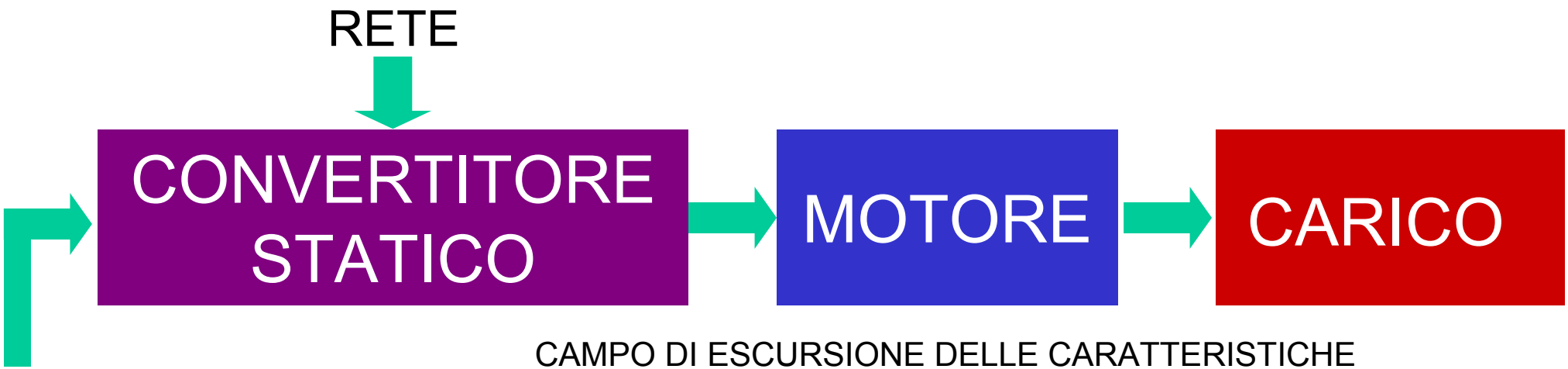
MOVIMETAZIONE CONVENZIONALE



MOVIMETAZIONE CONVENZIONALE

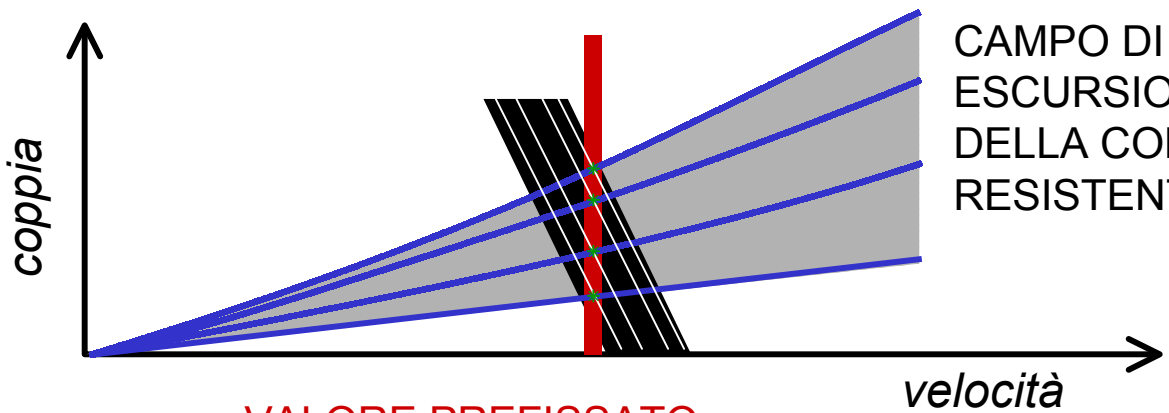


MOVIMETAZIONE CONTROLLATA



VARIABILE DI COMANDO PER LA MOVIMENTAZIONE CONTROLLATA

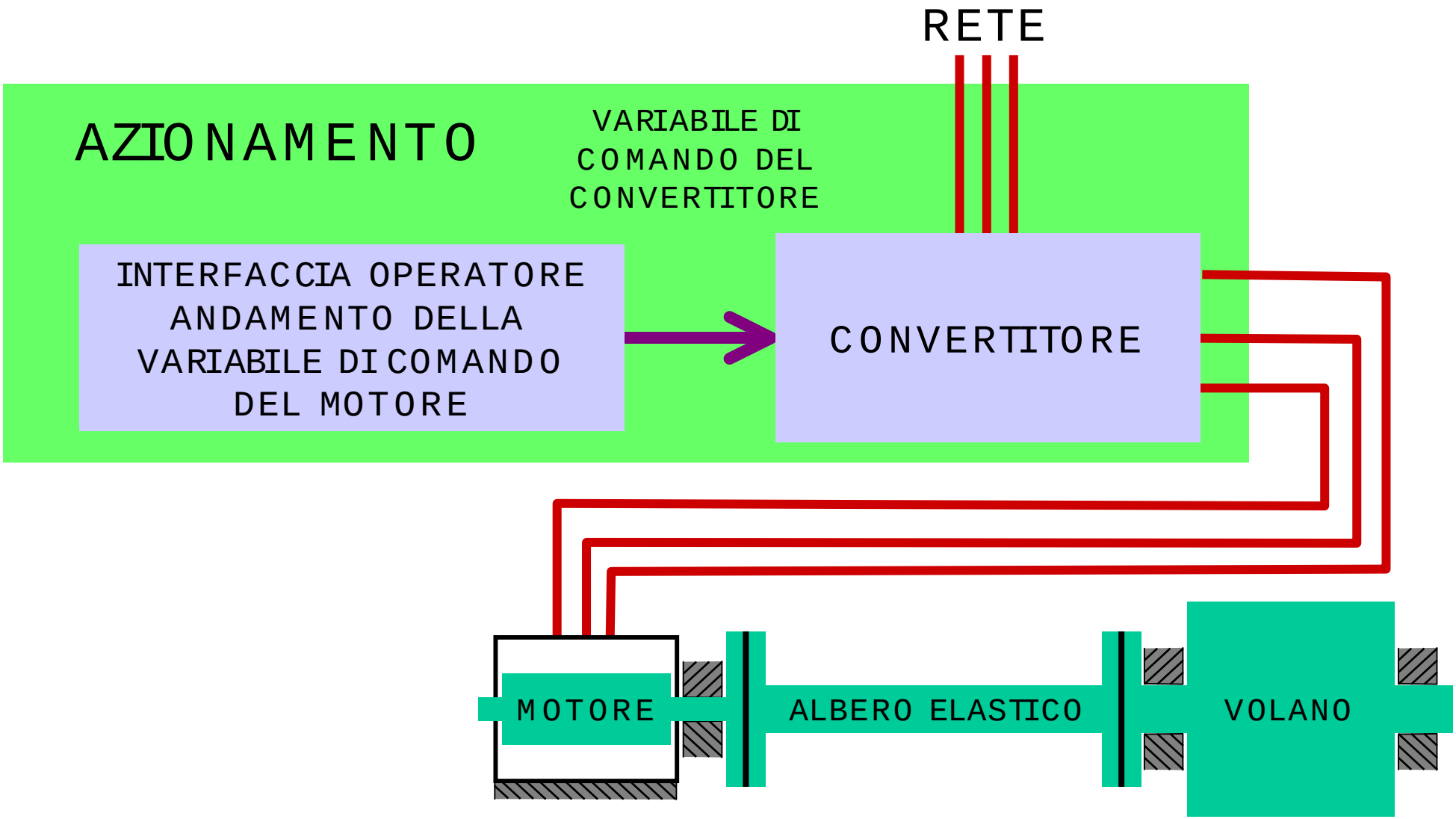
CAMPO DI ESCURSIONE DELLE CARATTERISTICHE STATICHE DEL MOTORE PER EFFETTO DEL CONTROLLO DELLA MOVIMENTAZIONE



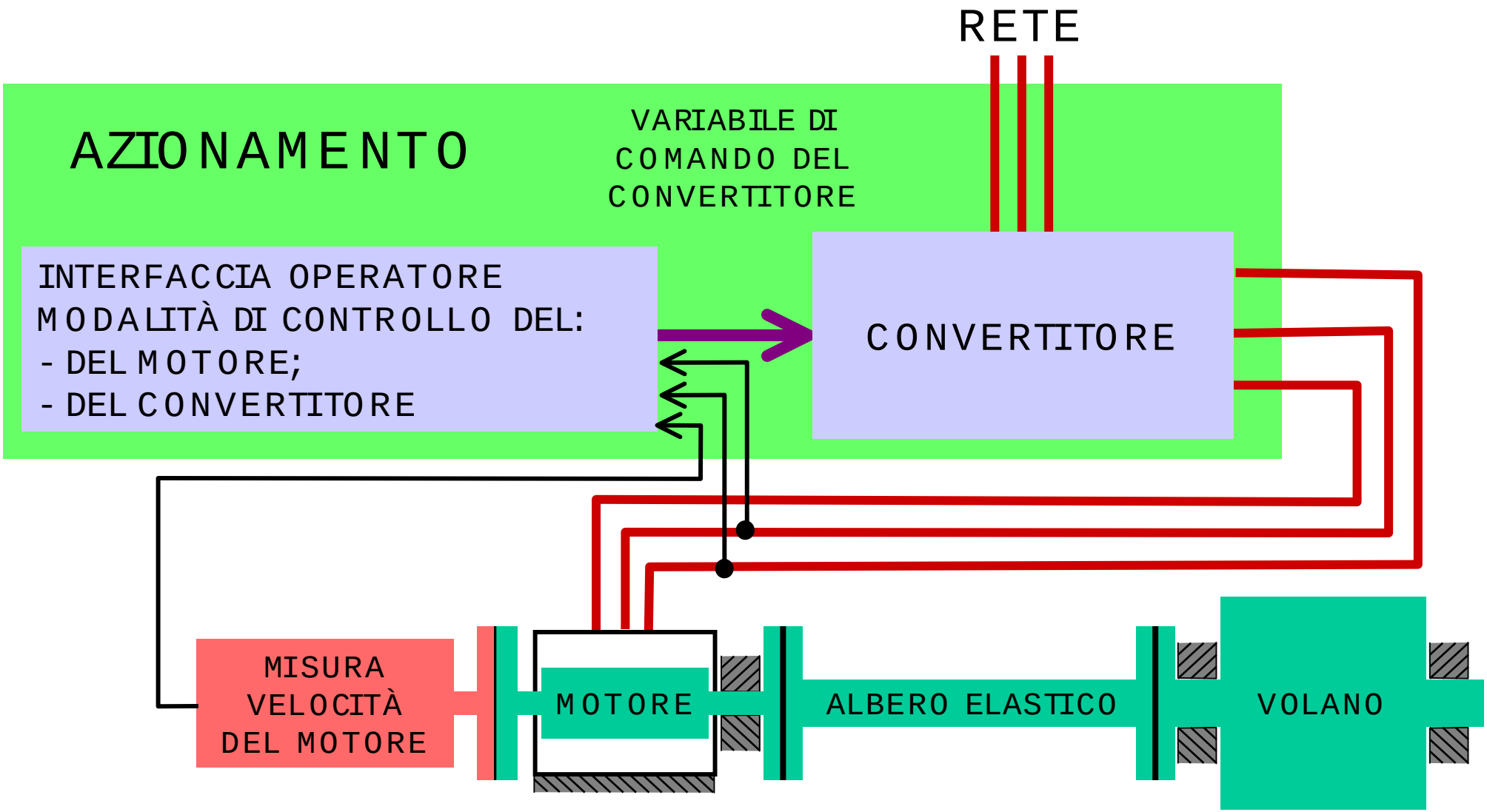
CAMPO DI ESCURSIONE DELLA COPPIA RESISTENTE

VALORE PREFISSATO DELLA VELOCITÀ CONTROLLATA

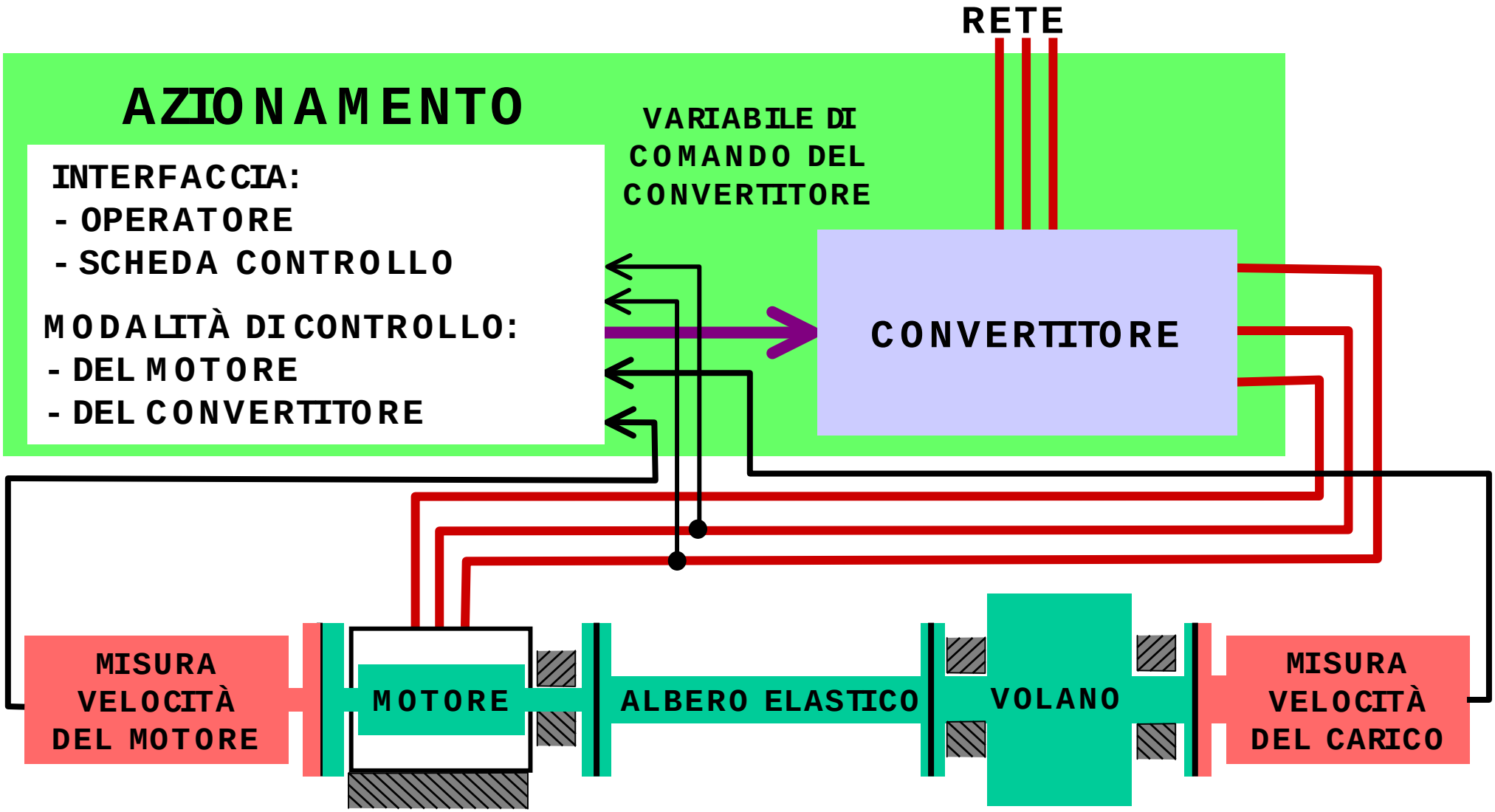
MOVIMETAZIONE CONTROLLATA A CATENA APERTA



A CONTROREAZIONE LATO MOTORE



A CONTROREAZIONE LATO MOTORE E LATO CARICO

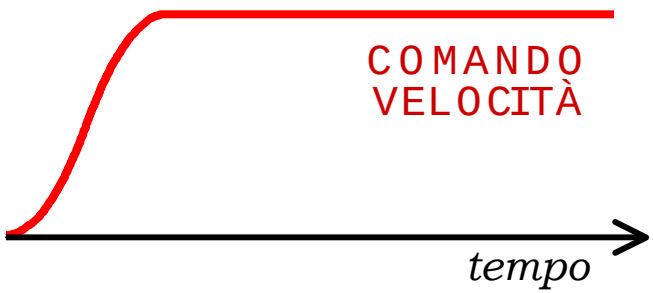


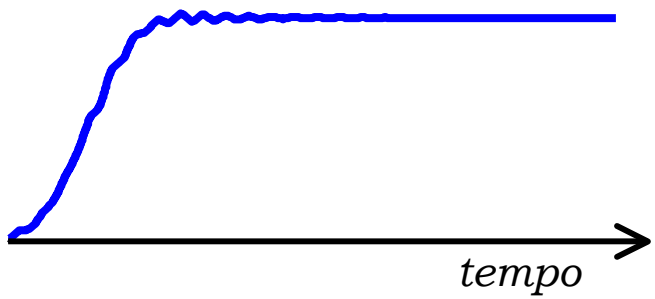
ANDAMENTO VELOCITÀ DEL VOLANO

VARIABILE DI COMANDO DEL CONVERTITORE

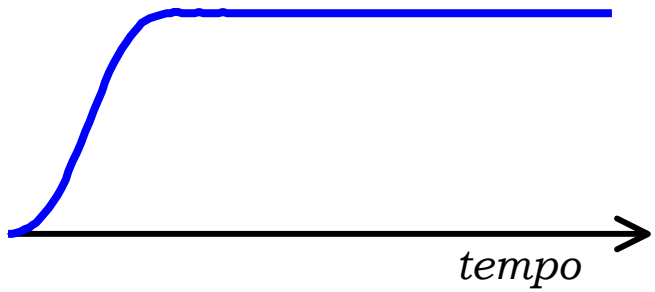
VELOCITÀ DEL VOLANO

CONTROLLO A CATENA APERTA

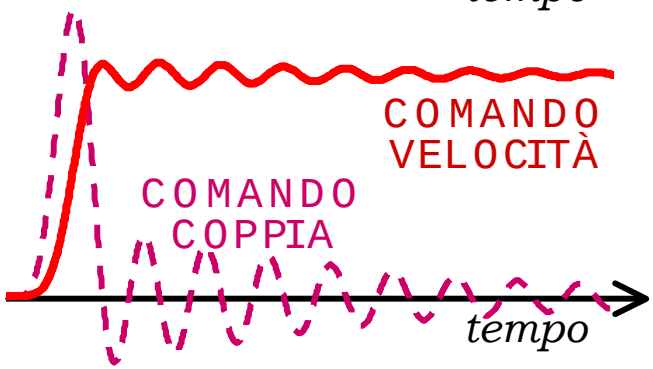


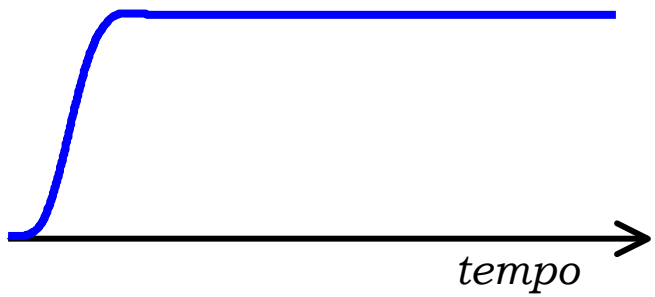


CONTROLLO A CONTROREAZIONE LATO MOTORE



CONTROLLO A CONTROREAZIONE:
- LATO MOTORE
- LATO CARICO





COSTRUTTORE DELLA APPARECCHIATURA

PROGETTISTA DEL SUPPORTO MECCANICO

COMPETENZE:

- FUNZIONAMENTO DELLA APPARECCHIATURA
- QUALITÀ DEL PRODOTTO
- MODALITÀ DI PRODUZIONE
- RITMI DI PRODUZIONE
- RICHIESTE DEL MERCATO

VINCOLI:

- **ECONOMICI**
- **STRATEGICI**
- **TEMPORALI**

PROGETTISTA DEL SISTEMA DI MOVIMENTAZIONE

COMPETENZE:

- ARCHITETTURA DEL SISTEMA DI MOVIMENTAZIONE
- AZIONAMENTI E STRUMENTAZIONE DI MISURA
- RETI DI COMUNICAZIONE
- SOFTWARE DI GESTIONE
- MODALITÀ DI CONTROLLO
- MANUTENZIONE

DEFINIZIONE DELLE PRESTAZIONI

ACCETTAZIONE DELLE PRESTAZIONI CHE SI RIESCONO AD OTTENERE

RAGGIUNGIMENTO DELLE PRESTAZIONI PREFISSATE

PRESTAZIONI

CON RIFERIMENTO ALL'ESEMPIO PRECEDENTEMENTE ILLUSTRATO, SI INDIVIDUA LA SEGUENTE SCALA CRESCENTE DELLE PRESTAZIONI:

1 - PORTARE IN ROTAZIONE IL VOLANO A VELOCITÀ FISSA;

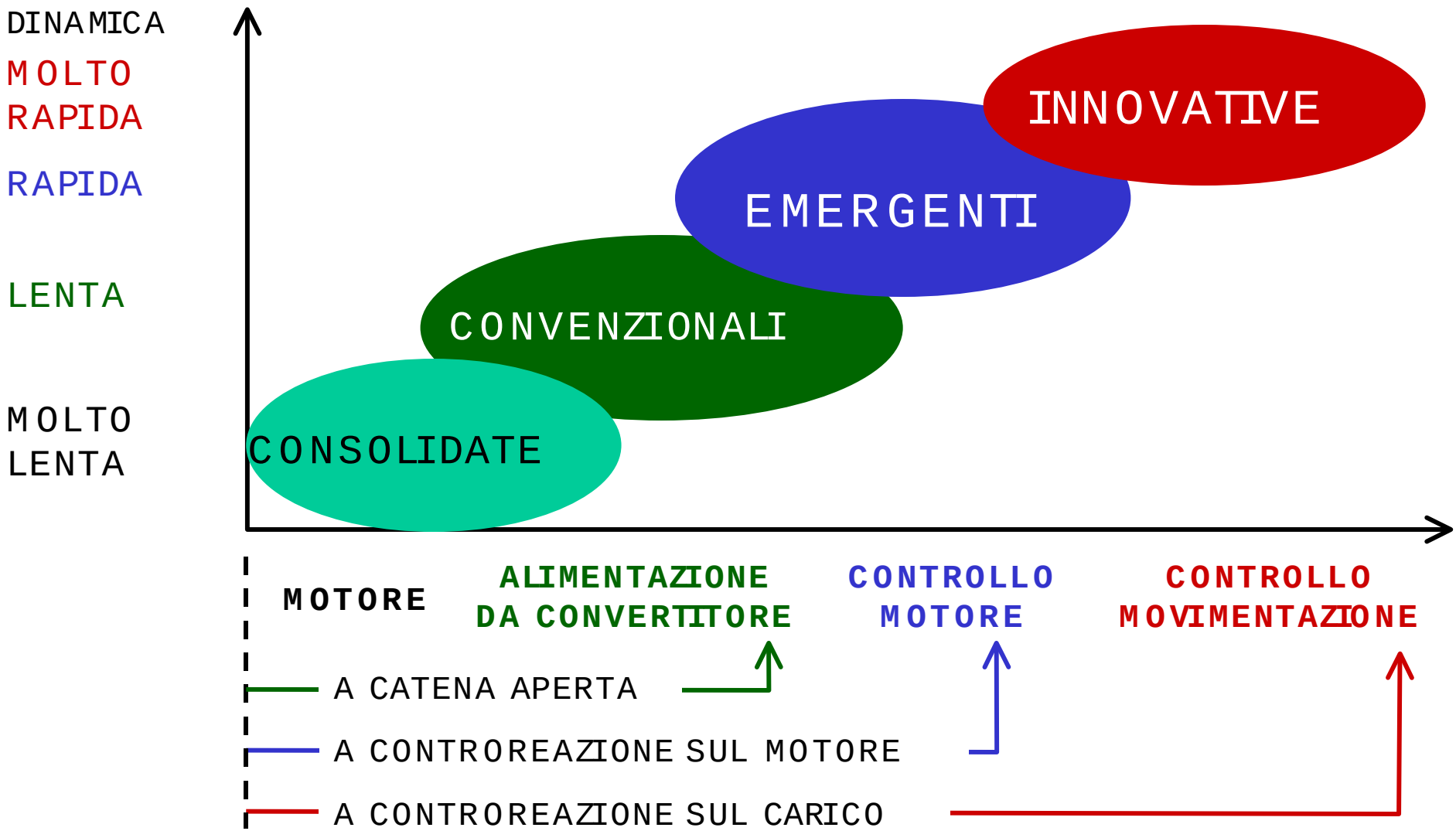
2 - PORTARE IN ROTAZIONE IL VOLANO SENZA PROVOCARE OSCILLAZIONI TORSIONALI;

3 - FARE VARIARE LA VELOCITÀ DI ROTAZIONE NEL FUNZIONAMENTO A REGIME PERMANENTE ENTRO UN CAMPO DI ESCURSIONE PREFISSATO;

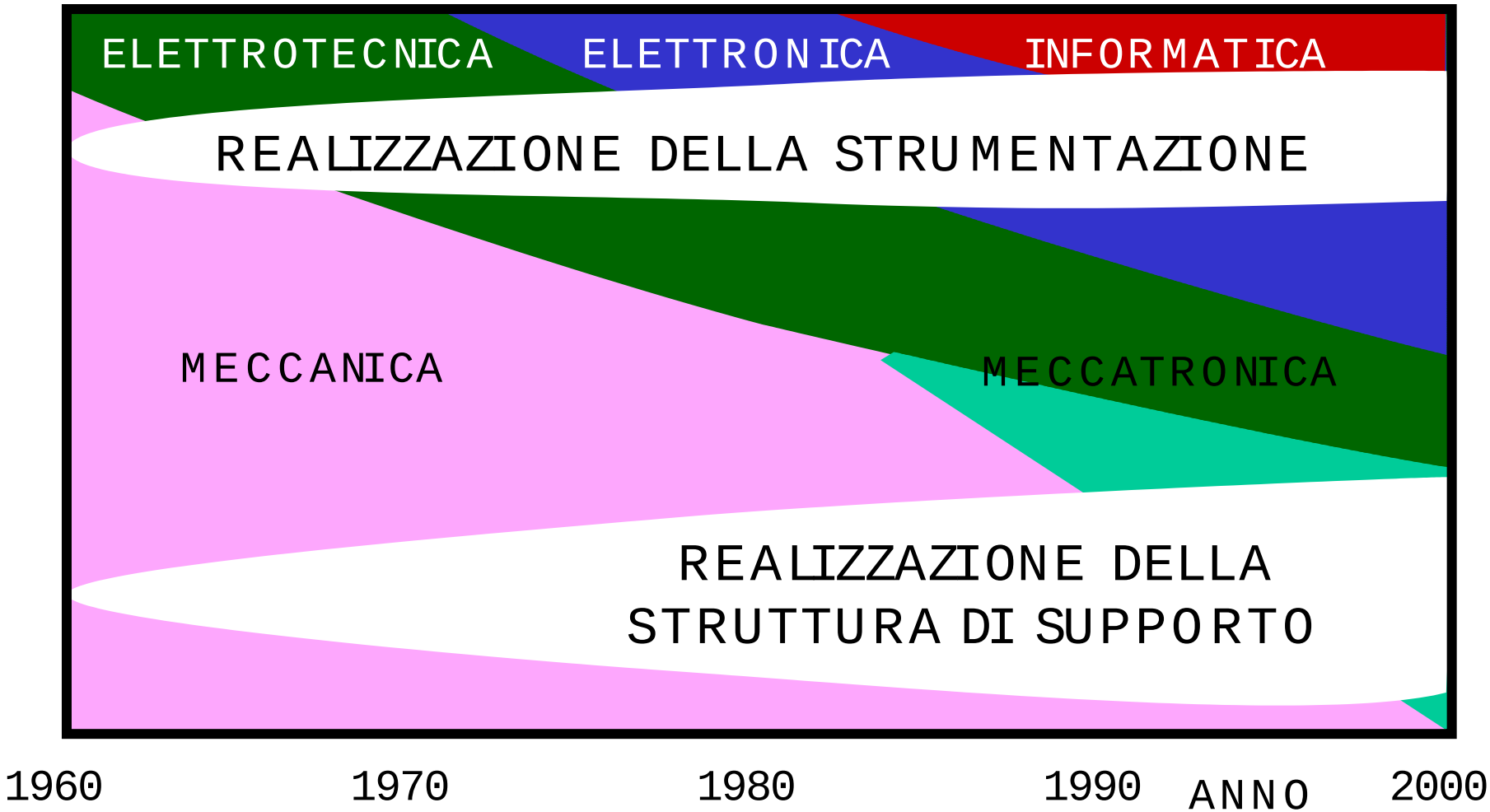
4 - ASSICURARE CHE A REGIME PERMANENTE LA VELOCITÀ DI ROTAZIONE NON SI DISCOSTI DI UNA ENTITÀ PREFISSATA DAL VALORE DESIDERATO;

5 - ASSICURARE CHE IL VOLANO RAGGIUNGA LA VELOCITÀ DI REGIME IN UN INTERVALLO DI TEMPO PREFISSATO.

APPLICAZIONI



TECNOLOGIE COINVOLTE NELLA MECCATRONICA



SIGNIFICATO DI MECCATRONICA

MECCANICA &
ELETTRONICA =

MECCATRONICA

INTERPRETAZIONE EURISTICA

ELE
MECCATRONICA
NICA

INTERPRETAZIONE CORRETTA

M
E
C
C
A
T
R
O
N
I
C
A

MECCANICA
ELETTRONICA
CONTROLLI AUTOMATICI
CONVERTITORI
AZIONAMENTI
TRASMISSIONI MECCANICHE
RIDUTTORI A INGRANAGGI
OLEODINAMICA E PNEUMATICA
NORMATIVE
INFORMATICA
CIRCUITERIA
AMPLIFICATORI

INTERPRETAZIONE GIAPPONESE

SIGNIFICATO DI MECCATRONICA

INTREGRAZIONE SINERGICA DEI SISTEMI DI MOVIMENTAZIONE CON LE TECNOLOGIE INFORMATICHE E CON LE METODOLOGIE TIPICHE DEI PROCESSI DECISIONALI COMPLESSI NELLA PROGETTAZIONE, GESTIONE E MANUTENZIONE DI APPARATI E IMPIANTI INDUSTRIALI

REQUISITI DELLA MOVIMENTAZIONE

FUNZIONALITÀ REALIZZAZIONE DI UN APPARATO MECCANICO PER OTTENERE LA MOVIMENTAZIONE DESIDERATA

FINALITÀ RAGGIUNGIMENTO DI PREDETERMINATI PROFILI DI VELOCITÀ E DI POSIZIONE DEGLI ELEMENTI DELL'APPARATO CHE REALIZZA LA MOVIMENTA-ZIONE

PRESTAZIONI RAGGIUNGIMENTO DELLE FINALITÀ DESIDERATE:

1 SENZA VINCOLI SUL COSTO E SULLE PRESTAZIONI

2 OTTIMIZZANDO COSTO E PRESTAZIONI

3 FISSANDO LA PRECISIONE STATICA

4 FISSANDO LA PRECISIONE DINAMICA

5 IMPONENDO LA ROBUSTEZZA DI COMPORTAMENTO

APPROCCIO ALLE METODOLOGIE

BASANDOSI SOLO SULL'EMPIRISMO E SULL'ESPERIENZA

SI PUÒ RENDERE FUNZIONANTE UN SISTEMA DI MOVIMENTAZIONE

CIÒ FA CREDERE CHE UNA PREPARAZIONE METODOLOGICA

ADEGUATA NON RISULTI DI CONCRETA UTILITÀ

ANCHE PERCHÉ LA PROGETTAZIONE DEI SISTEMI DI MOVIMENTAZIONE

È STATA PORTATA AVANTI SENZA TENERE CONTO DELLE

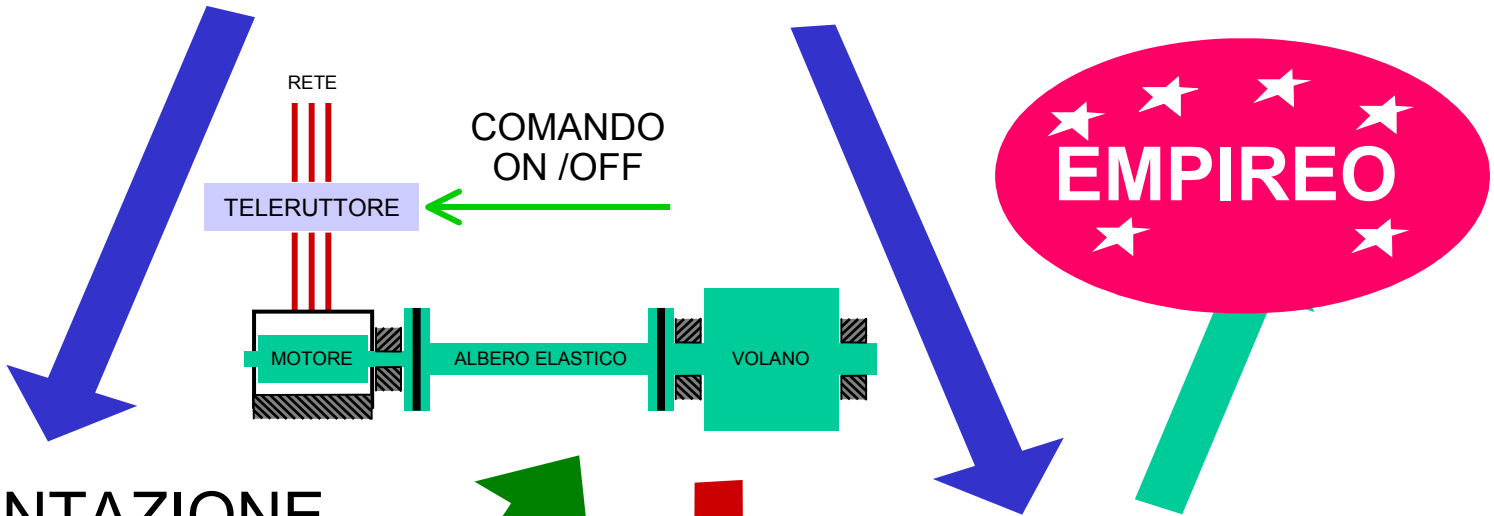
MODALITÀ DI CONTROLLO E DEI BENEFICI

CHE POTREBBERO ESSERE OTTENUTI PRENDENDO IN

CONSIDERAZIONE QUESTI DUE ASPETTI **CONGIUNTAMENTE**

APPROCCIO PERDENTE, PIÙ DIFFUSO

MOVIMENTAZIONE CONVENZIONALE



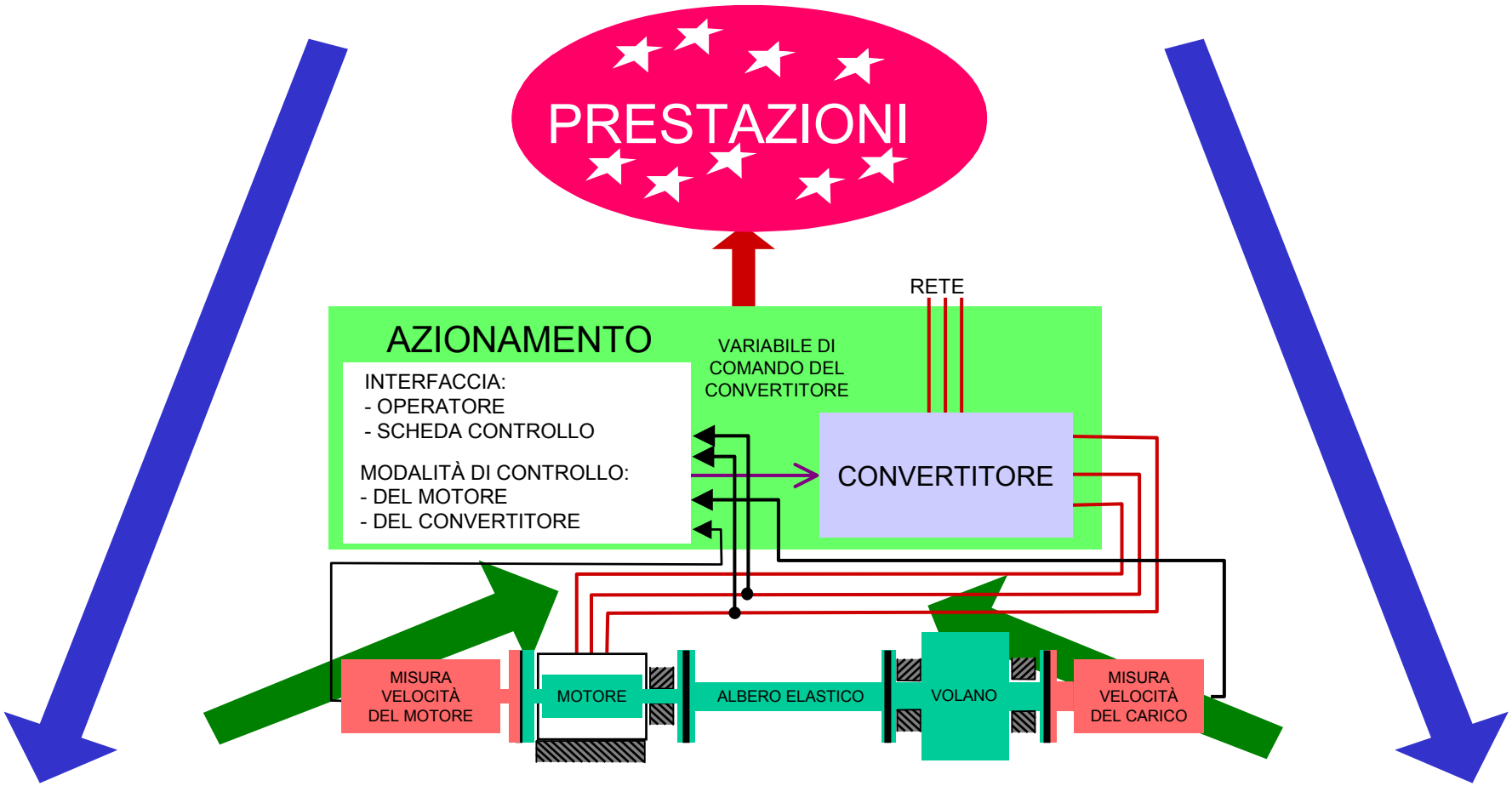
STRUMENTAZIONE

METODOLOGIE
ASTRATTE
DI CONTROLLO

MODALITÀ
EMPIRICHE
DI CONTROLLO

PRESTAZIONI

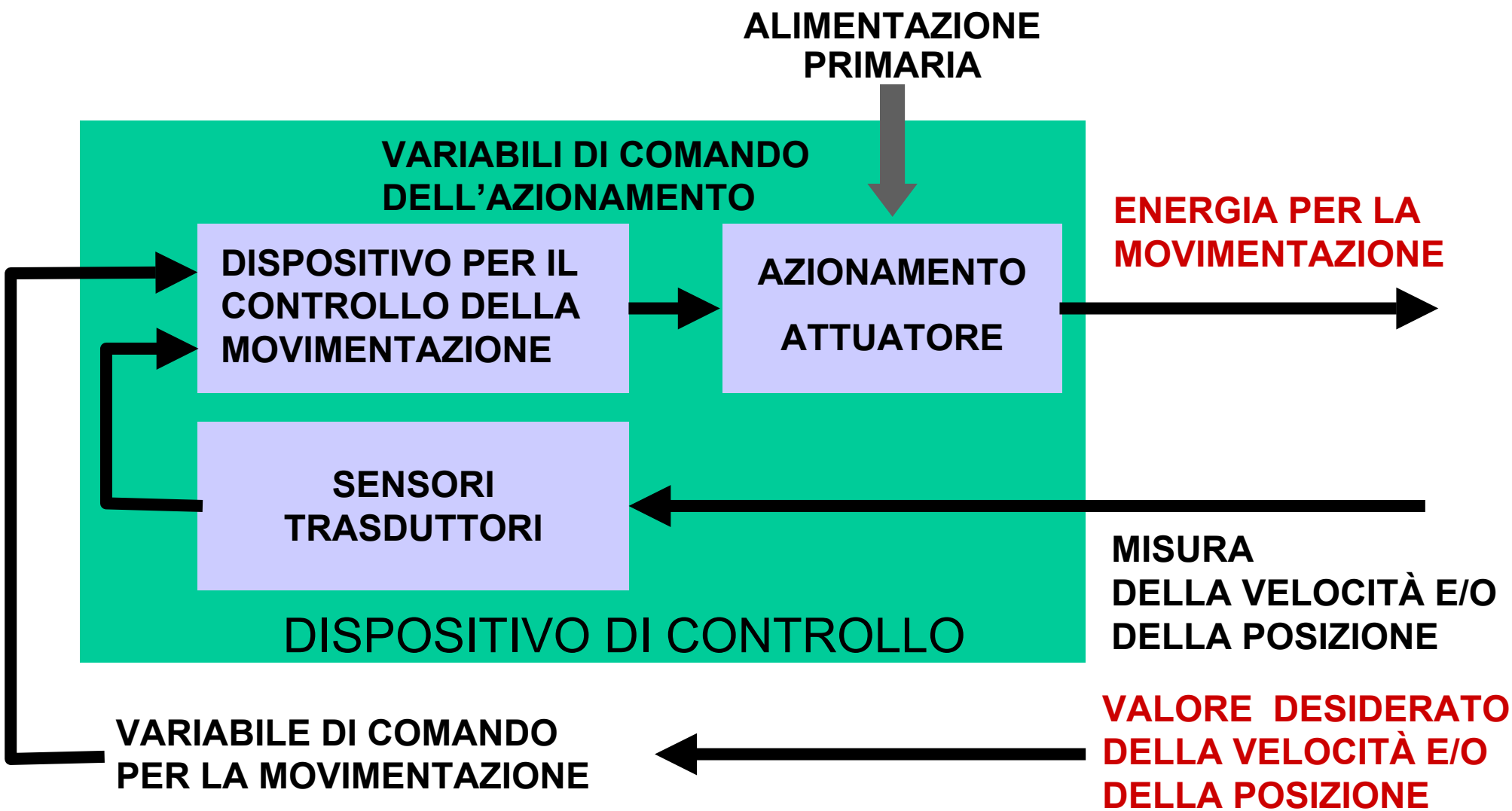
L'APPROCCIO VINCENTE, POCO DIFFUSO



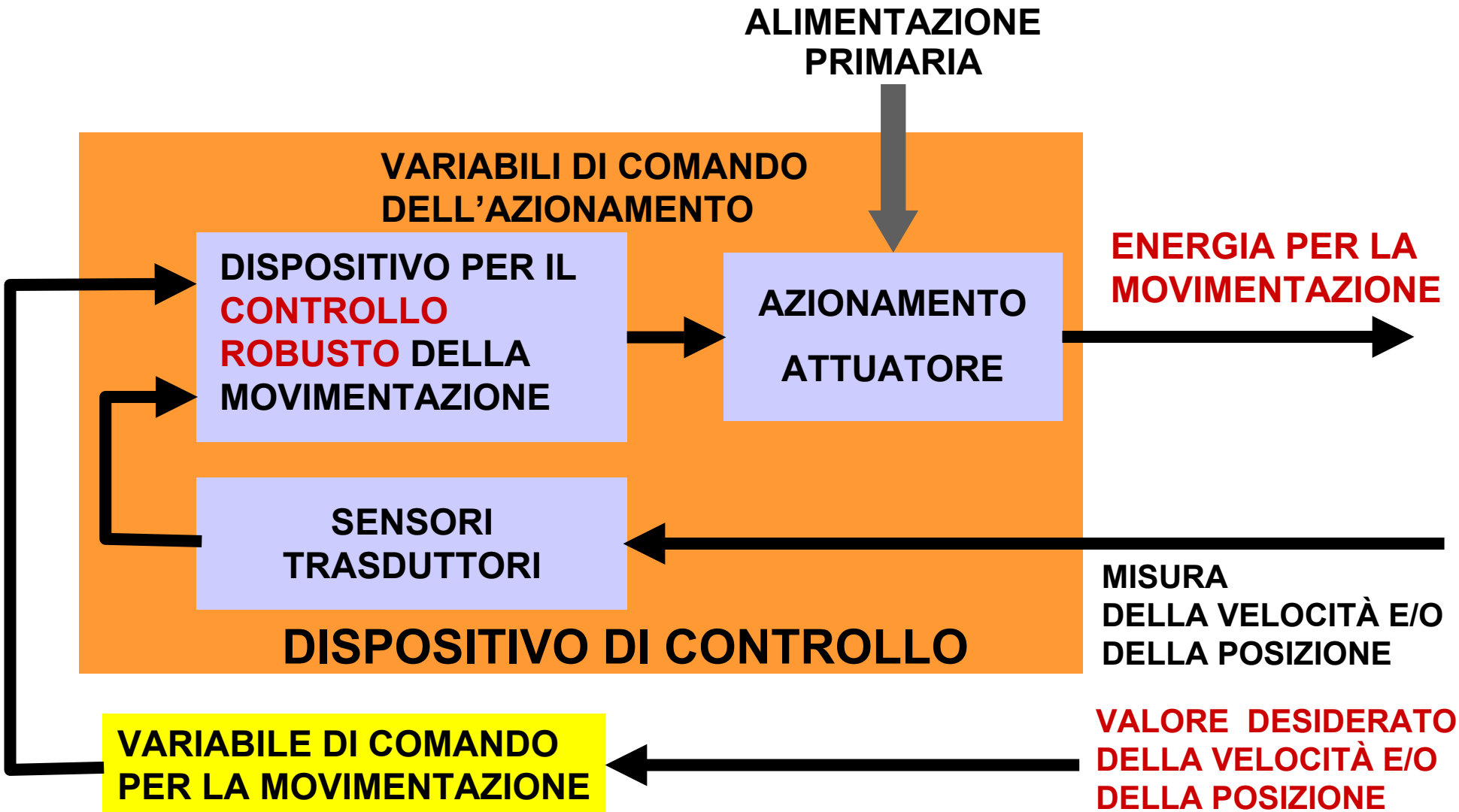
STRUMENTAZIONE

METODOLOGIE DI CONTROLLO

CONTROLLO DELLA MOVIMENTAZIONE



CONTROLLO AVANZATO DELLA MOVIMENTAZIONE



CONOSCENZA DEL COMPORTAMENTO DEL CARICO

CON RIFERIMENTO ALL'ESEMPIO PRECEDENTEMENTE CITATO, SI PUÒ STABILIRE LA SEGUENTE GRADUALITÀ NELLA CONOSCENZA DEL COMPORTAMENTO DEL SISTEMA DI MOVIMENTAZIONE:

1 - MODELLO STATICO, OSSIA CARATTERISTICHE STATICHE:
COPPIA RESISTENTE - VELOCITÀ DEL CARICO,
COPPIA MOTRICE - VELOCITÀ DEL MOTORE;

2 - MODELLO NELLA DINAMICA DOMINANTE,
DALLE DIMENSIONI FISICHE DEL VOLANO, DALLE MODALITÀ DI REALIZZAZIONE E DALLE CARATTERISTICHE STATICHE SI RICAVA IL VALORE DELLA COSTANTE DI TEMPO DOMINANTE;

3 - MODELLO NELLA DINAMICA SECONDARIA E INCERTA,
DALLE DIMENSIONI FISICHE E DALLE MODALITÀ DI REALIZZAZIONE DELL'ALBERO ELASTICO, SI RICAVA IL VALORE DELLA PULSAZIONE E DELLO SMORZAMENTO DELLA OSCILLAZIONE.

PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE

APPROCCIO	PRESTAZIONI
EMPIRISMO E INTUIZIONE	RAGGIUNGIMENTO DELLA FUNZIONALITÀ SENZA VINCOLI SUL COSTO E SULLE PRESTAZIONI
CONOSCENZA DEL MODELLO STATICO	OTTIMIZZAZIONE DI UN FUZIONALE DI COSTO
CONOSCENZA DELLA DINAMICA DOMINANTE	RAGGIUNGIMENTO DELLA PRECISIONE STATICA E DINAMICA PREFISSATA
CONOSCENZA DELLA DINAMICA SECONDARIA E INCERTA	RAGGIUNGIMENTO DELLA ROBUSTEZZA DI COMPORTAMENTO

CONOSCENZE PRELIMINARI

QUANDO L'APPARATO MECCANICO È GIÀ REALIZZATO,
LA STRUTTURA E LA FUNZIONALITÀ SONO GIÀ DEFINITE.
PER LA PROGETTAZIONE DEL SISTEMA DI MOVIMENTAZIONE OCCORRE:

- SUDDIVIDERE LA MOVIMENTAZIONE DEL SISTEMA COMPLESSO NELLE MOVIMENTAZIONI DEI SISTEMI SEMPLICI CHE LO COMPONGONO;
- CARATTERIZZARE LA MOVIMENTAZIONE DI OGNI SISTEMA SEMPLICE MEDIANTE I PROFILI DI VELOCITÀ E DI POSIZIONE;
- DEFINIRE LE PRESTAZIONI RELATIVE ALLE SINGOLE MOVIMENTAZIONI SEMPLICI;
- SCEGLIERE LE MODALITÀ DI COORDINAMENTO DEL SISTEMA DI MOVIMENTAZIONE COMLESSO.

SCELTE E VERIFICHE PRELIMINARI

- SCELTA ANDAMENTO DELLA VELOCITÀ E DELLA COPPIA NECESSARE PER REALIZZARE LA MOVIMENTAZIONE CON LE PRESTAZIONI DESIDERATE;
- SCELTA DEL TIPO DI MOTORE PIÙ IDONEO;
  - SCELTA DELLA POTENZA NOMINALE DEL MOTORE;
  - SCELTA DELLA POTENZA NOMINALE DELL'AZIONAMENTO;
- ANDAMENTO DELLE VARIABILI DI COMANDO DELL'AZIONAMENTO;
- VERIFICA CHE L'APPARATO DI SUPPORTO SIA IDONEO A RENDERE OPERATIVA LA MOVIMENTAZIONE CON LE PRESTAZIONI DESIDERATE.

ELEMENTI PER LA CARATTERIZZAZIONE DEL CARICO

VIENE PRESA IN ESAME:

- L'ENERGIA RICHIESTA PER LA MOVIMENTAZIONE E VIENE SUDDIVISA IN:
  - ENERGIA CINETICA;
  - ENERGIA DISSIPATA;
- L'ENTITÀ DELLE VARIAZIONI DI VELOCITÀ PREVISTE DAL PROFILO DI VELOCITÀ E/O DI POSIZIONE;
- LA MODALIÀ PER LA DETERMINAZIONE DEL VALORE ISTANEO DELLA COPPIA MOTRICE IN FUNZIONE DELLA VARIABILE DI COMANDO DEL MOTORE DEL VALORE ISTANTANEO DELLA SUA VELOCITÀ.

CARATTERIZZAZIONE DEL CARICO IN BASE ALL'ENERGIA

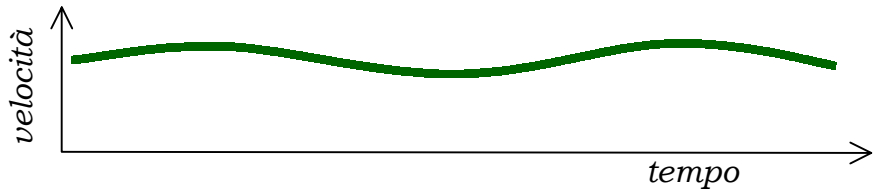
DINAMICA DEL CARICO	CARICO DISSIPATIVO / CARICO INERZIALE
MOLTO LENTA	
LENTA	
RAPIDA	
MOLTO RAPIDA	

IN BASE AL PROFILO DELLA VELOCITÀ

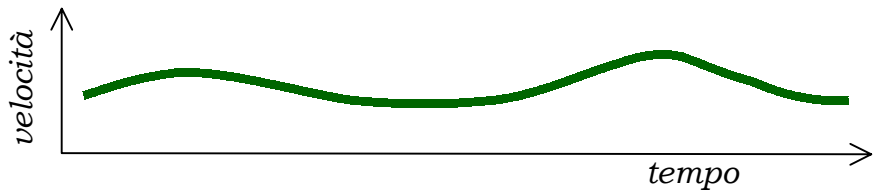
DINAMICA DEL CARICO

PROFILO DELLA VELOCITÀ DEL CARICO

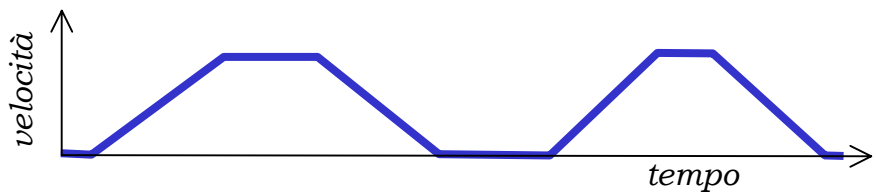
MOLTO LENTA



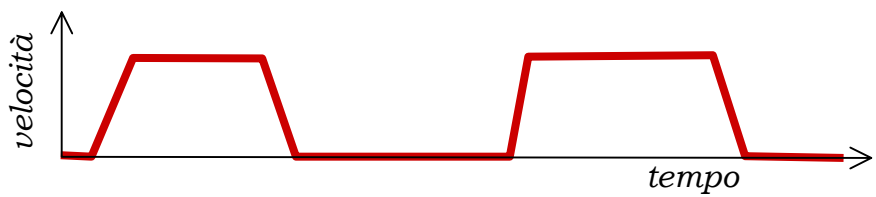
LENTA



RAPIDA



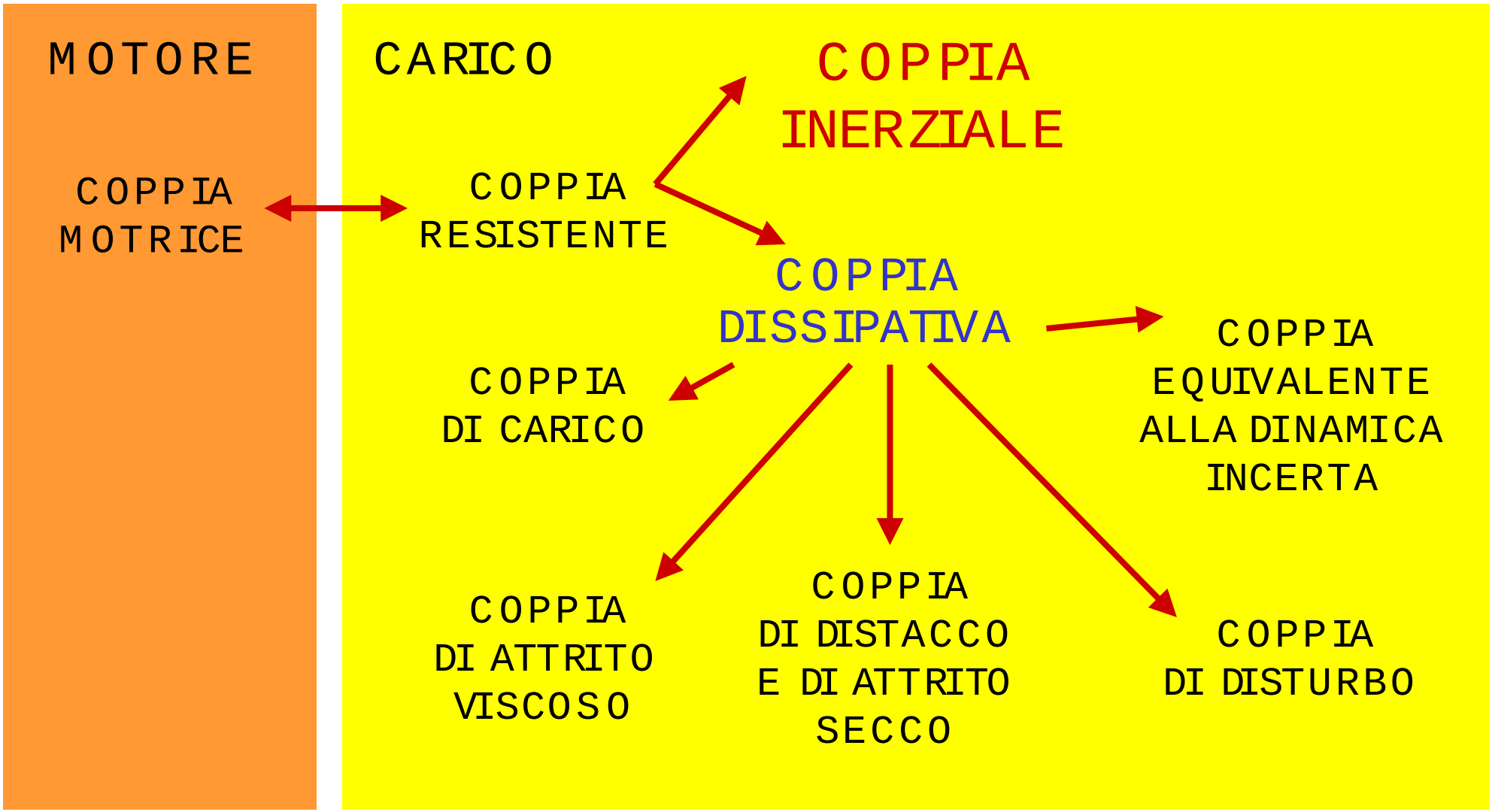
MOLTO RAPIDA



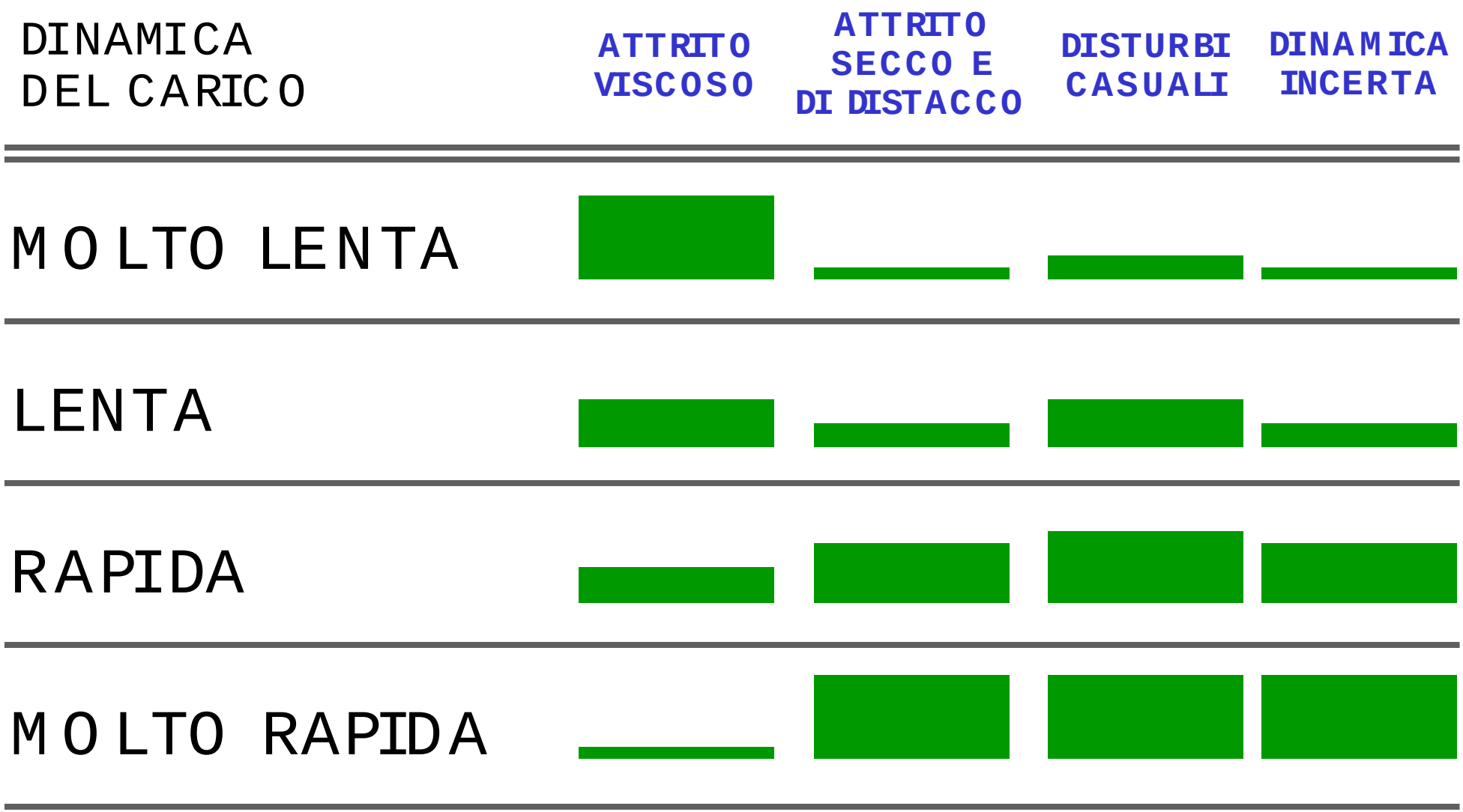
IN BASE ALLE DETERMINAZIONE DELLA COPPIA MOTRICE

DINAMICA DEL CARICO	VELOCITÀ MOTORE	VARIABILE DI COMANDO DEL MOTORE
MOLTO LENTA	VALORE MEDIATO	VALORE MEDIATO
LENTA	VALORE MEDIATO	VALORE MEDIATO
RAPIDA	VALORE ISTANTANEO	VALORE MEDIATO
MOLTO RAPIDA	VALORE ISTANTANEO	VALORE ISTANTANEO

CARATTERIZZAZIONE DEL CARICO DALL'INTERNO



EFFETTI PRODOTTI DALLA COPPIA DISSIPATIVA



DIMENSIONAMENTO DELL'AZIONAMENTO

CONSISTE NELLA SCELTA:

- DEL TIPO DI MOTORE;
- DELLA POTENZA NOMINALE DEL MOTORE;
- DEL TIPO E DELLA REALIZZAZIONE CIRCUITALE DEL CONVERTITORE;
- DELLE MODALITÀ DI CONTROLLO DEL MOTORE PER AGIRE SUL VALORE DELLA COPPIA MOTRICE;
- DELLE MODALITÀ DI CONTROLLO DELL'AZIONAMENTO PER OTTENERE L'ESCURSIONE DELLA VELOCITÀ E DELLA COPPIA CON LE PRESTAZIONI DESIDERATE.

DIMENSIONAMENTO DELL'AZIONAMENTO

ELEMENTI DI BASE PER IL DIMENSIONAMENTO:

- CARATTERISTICA STATICA COPPIA RESISTENTE-VELOCITÀ DEL CARICO ENTRO IL CAMPO DI VARIAZIONE PREVISTO DALLE CONDIZIONI OPERATIVE;

- MASSIMA RAPIDITÀ DI VARIAZIONE DELLA COPPIA RESISTENTE E DELLA VELOCITÀ DEL CARICO;

- PRECISIONE DESIDERATA NELL'INSEGUIMENTO DEI PROFILI DI VELOCITÀ COLLEGATI ALLE CONDIZIONI OPERATIVE.

RIDUTTORE MECCANICO

COPPIA C_m
VELOCITÀ Ω_m
FORNITE
DALL'ATTUATORE

COPPIA C_l
VELOCITÀ Ω_l
NECESSARIE PER LA
MOVIMENTAZIONE

RIDUTTORE MECCANICO

$$\Omega_l = k\,\Omega_m$$

k RAPPORTO DIRIDUZIONE

DISSIPAZIONE

$C_l = C_l \;/\; k$ TRASCURANDO LA DISSIPAZIONE

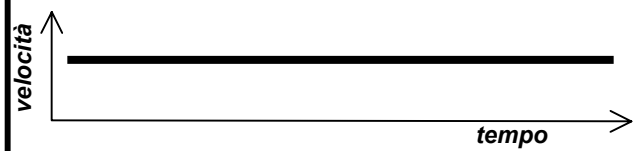
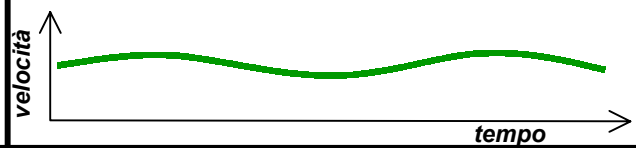
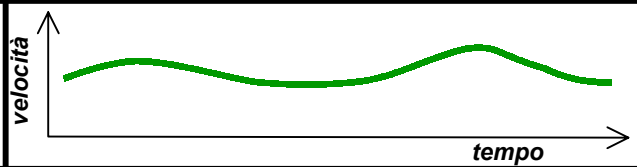
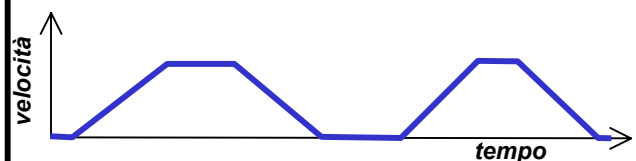
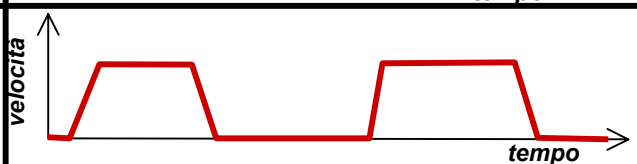
INSERIMENTO DI UN RIDUTTORE MECCANICO

DINAMICA DEL CARICO	RIDUTTORE DI VELOCITÀ	VANTAGGI
MOLTO LENTA	■	■
LENTA	■	■
RAPIDA	■	■
MOLTO RAPIDA	—	—

CARATTERIZZAZIONE DELLA DINAMICA

STRUTTURA \ DINAMICA	MOLTO LENTA	LENTA	RAPIDA	MOLTO RAPIDA
CARICO INERZIALE				
CARICO DISSIPATIVO				
ATTRITO VISCOSO				
ATTRITO SECCO E DI DISTACCO				
DINAMICA INCERTA				
ACCOPPIAMENTO MOTORE-CARICO	RIDUTTORE			DIRETTO
FLUSSO DI ENERGIA	VERSO IL CARICO		VERSO L'ALIMENTAZIONE	

CARATTERIZZAZIONE DEL CARICO E DELLE PRESTAZIONI

DINAMICA DEL CARICO	ANDAMENTO DELLA VELOCITÀ	PRESTAZIONI PIÙ SIGNIFICATIVE
VELOCITÀ COSTANTE		RENDIMENTO DEL MOTORE
MOLTO LENTA		OTTIMIZZAZIONE DEL RENDIMENTO ENERGETICO DELLA MOVIMENTAZIONE
LENTA		RENDIMENTO ENERGETICO DELLA MOVIMENTAZIONE ED ESCURSIONE DELLA VELOCITÀ E DELLA COPPIA
RAPIDA		PRECISIONE STATICA DELLA VELOCITÀ DEL MOTORE - MIGLIORAMENTO DELLA DINAMICA LATO CARICO
MOLTO RAPIDA		PRECISIONE STATICA E DINAMICA LATO CARICO E ROBUSTEZZA DI COMPORTAMENTO DEL CARICO

IN SINTESI

DINAMICA	COPPIA PASSIVA		COPPIA MOTRICE	
	ATTRITO	DINAMICA NONLINEARE E INCERTA	VALORE ALIMENTAZIONE MOTORE	VALORE VELOCITÀ MOTORE
MOLTO LENTA	ATTRITO VISCOSO		MEDIO	MEDIO
LENTA			MEDIO	MEDIO
RAPIDA			INSTAN-TANEO	MEDIO
MOLTO RAPIDA	ATTRITO STATICO E DI DISTACCO	DINAMICA NONLINEARE E INCERTA	INSTAN-TANEO	INSTAN-TANEO

APPROCCIO

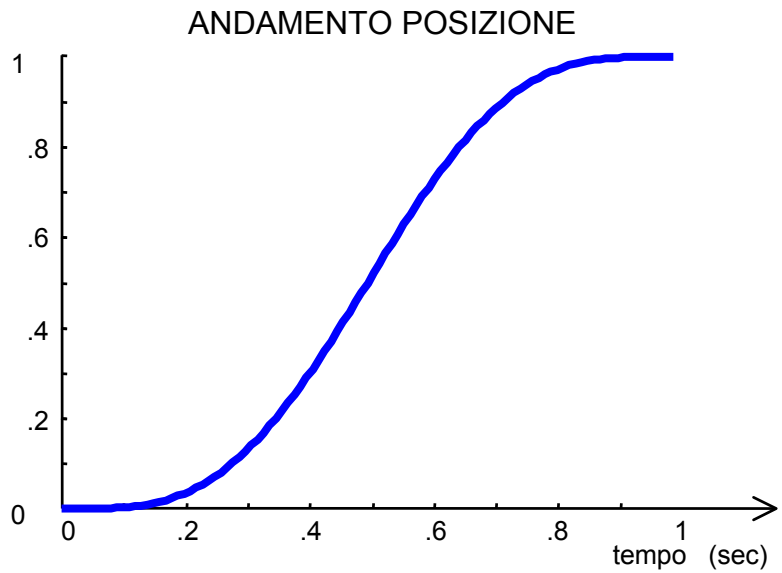
CONVENZIONALE

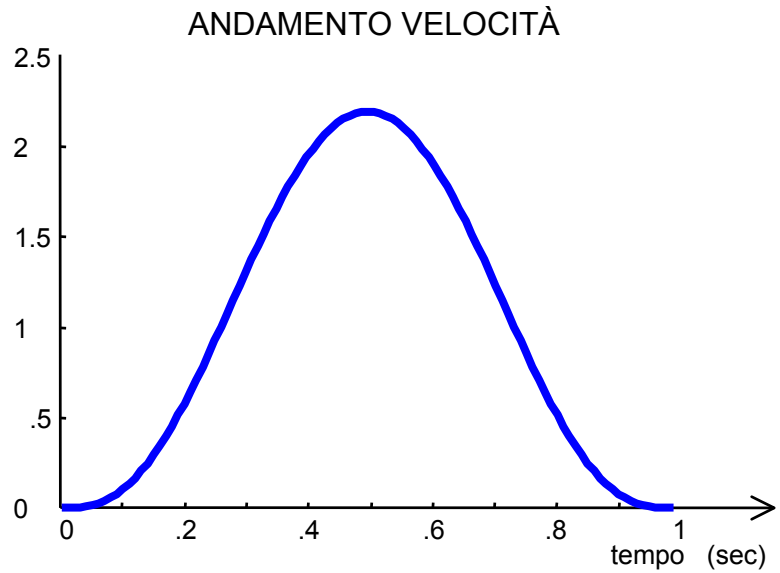
- SI REALIZZA LA STRUTTURA DI SUPPORTO
- SI SCELGONO I COMPONENTI PER LA MOVIMENTAZIONE
- SI INSERISCONO IN MODO CHE POSSANO FUNZIONARE E RAGGIUNGERE LA FUNZIONALITÀ DESIDERATA
- SI ACCETTANO LE PRESTAZIONI RAGGIUNTE
- SI CERCA DI MIGLIORARLE SOVRADIMENSIONANDO LA STRUTTURA DI SUPPORTO E I COMPONENTI

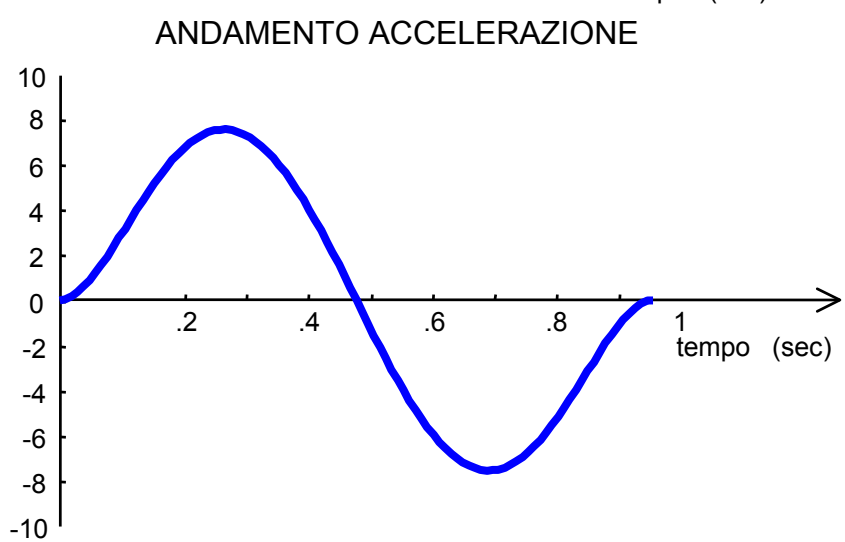
INNOVATIVO

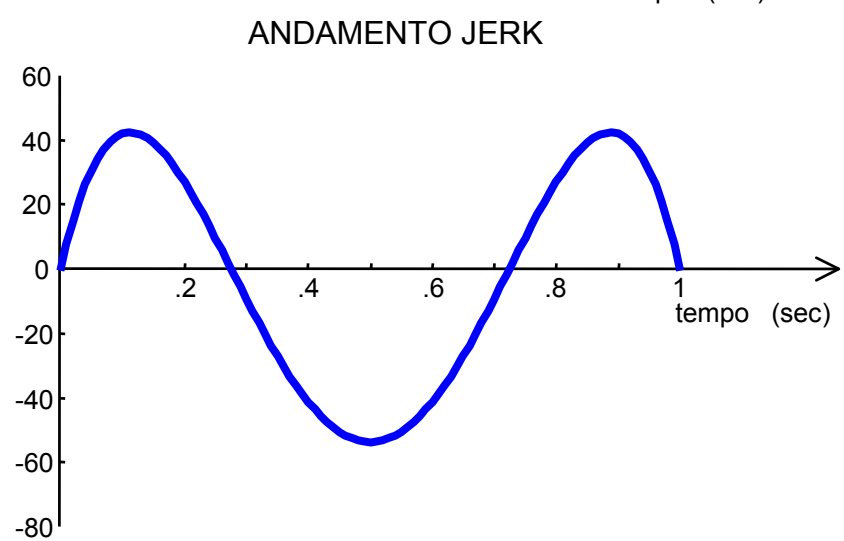
- SI FISSANO LE PRESTAZIONI DELLA MOVIMENTAZIONE
- SI PROGETTA LA STRUTTURA DI SUPPORTO E SI SCELGONO I COMPONENTI PER LA MOVIMENTAZIONE
- SI VERIFICA TRAMITE SIMULAZIONE CHE LA PROGETTAZIONE E LE SCELTE SIANO CORRETTE
- SI REALIZZA LA STRUTTURA DI SUPPOTO
- MIGLIORO LE PRESTAZIONI AGENDO SUL CONTROLLO DELLA MOVIMENTAZIONE

ANDAMENTO DEI PROFILI









ANDAMENTO DEI PROFILI

ANDAMENTO POSIZIONE

$$g_0(t) = 35\, t^4 - 84\, t^5 + 70\, t^6 - 20\, t^7$$

ANDAMENTO VELICITÀ

$$g1(t) = 140\, t^3 - 420\, t^4 + 420 t^5 - 140\, t^6$$

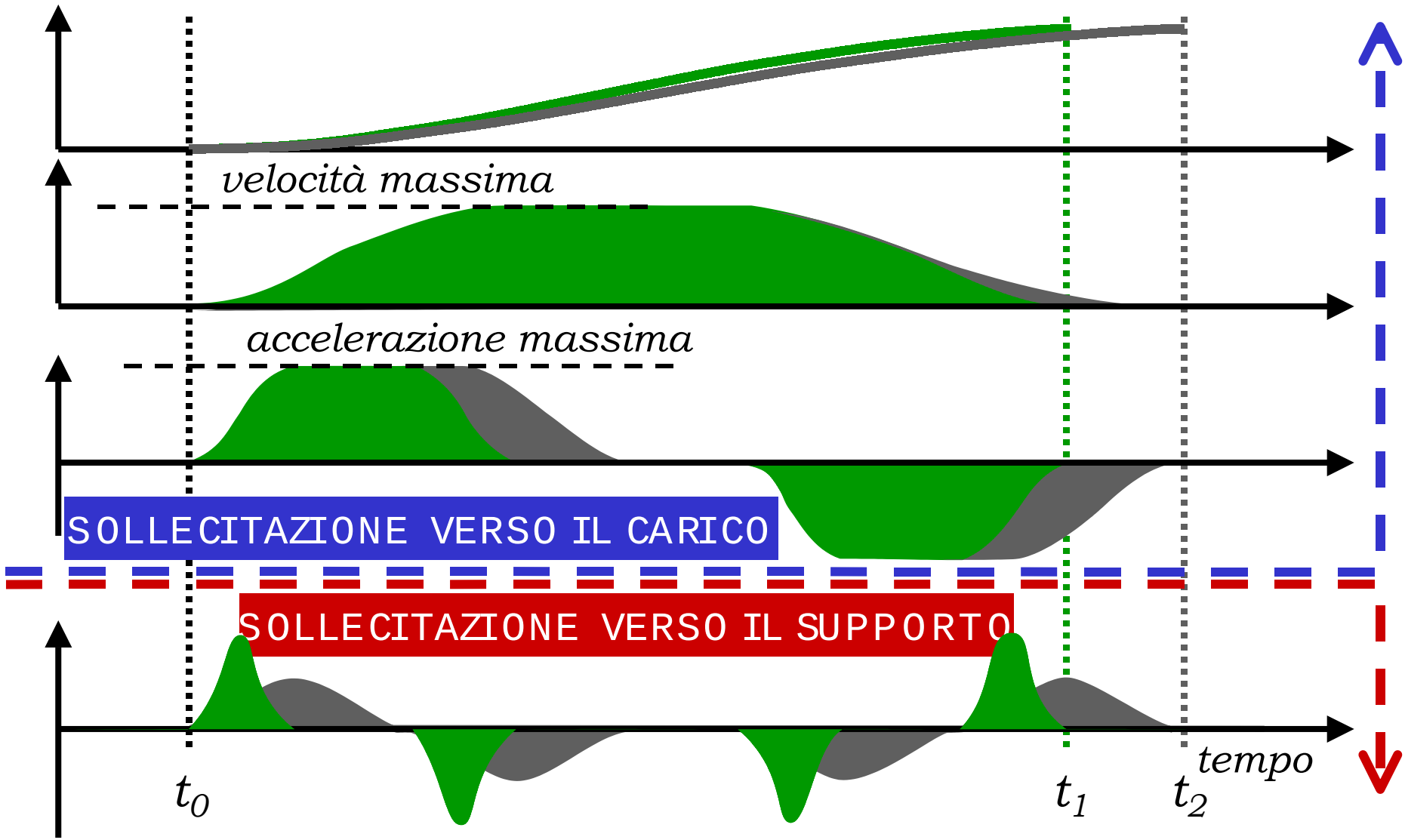
ANDAMENTO ACCELERAZIONE

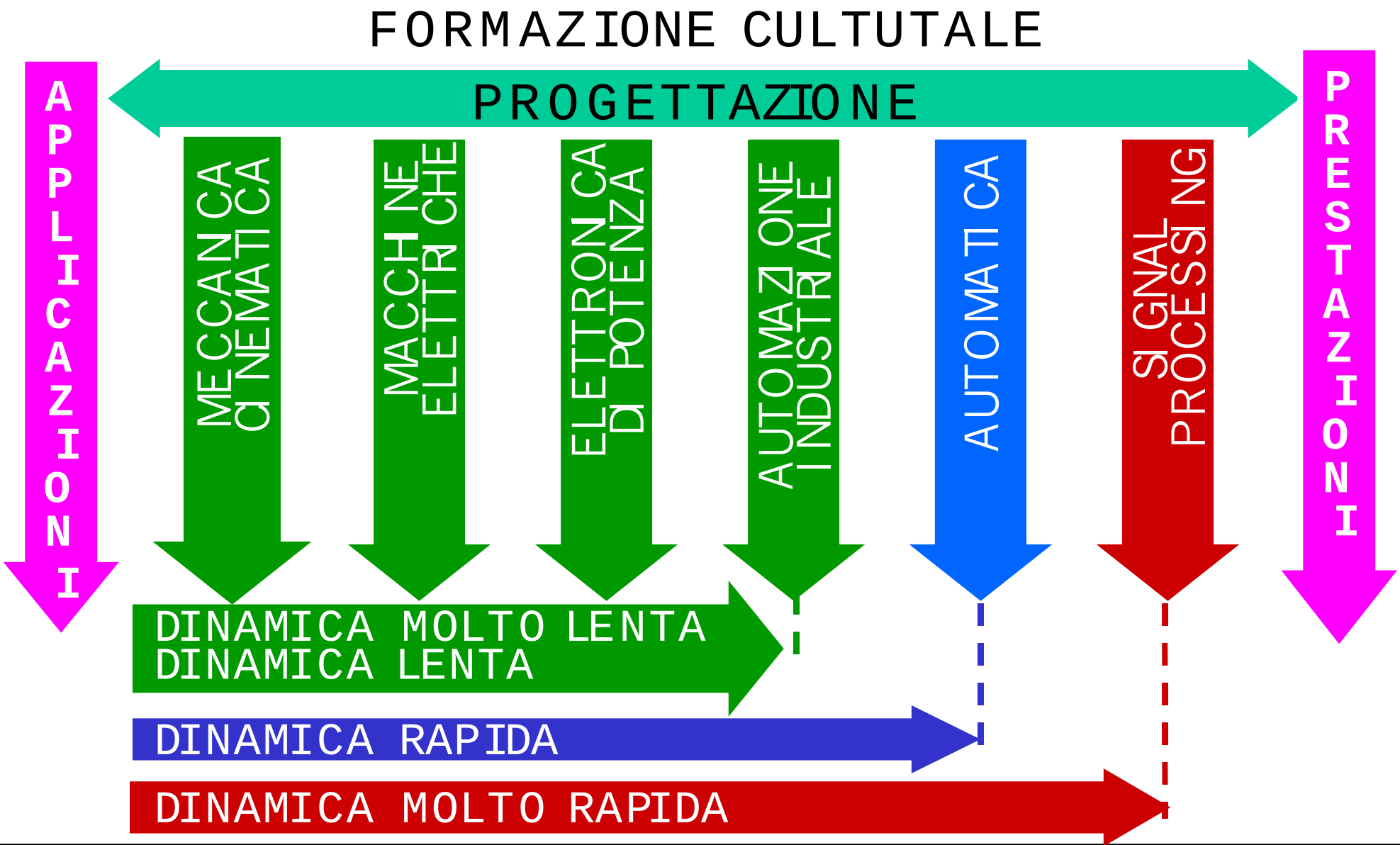
$$g2(t) = 420 t^2 - 1680\, t^3 + 2100\, t^4 - 840\, t^5$$

ANDAMENTO JERK

$$g2(t) = 840\, t - 5040\, t^2 + 8400\, t^3 - 4200\, t^4$$

POSIZIONE - VELOCITÀ - ACCELERAZIONE - JERK




FORMAZIONE CULTUTALE
PROGETTAZIONE
APPLICAZIONI
PRESTAZIONI
MECCANICA CINEMATICA
MACCHINE ELETTRICHE
ELETTRONICA DI POTENZA
AUTOMAZIONE INDUSTRIALE
AUTOMATICA
SIGNAL PROCESSING
DINAMICA MOLTO LENTA
DINAMICA LENTA
DINAMICA RAPIDA
DINAMICA MOLTO RAPIDA