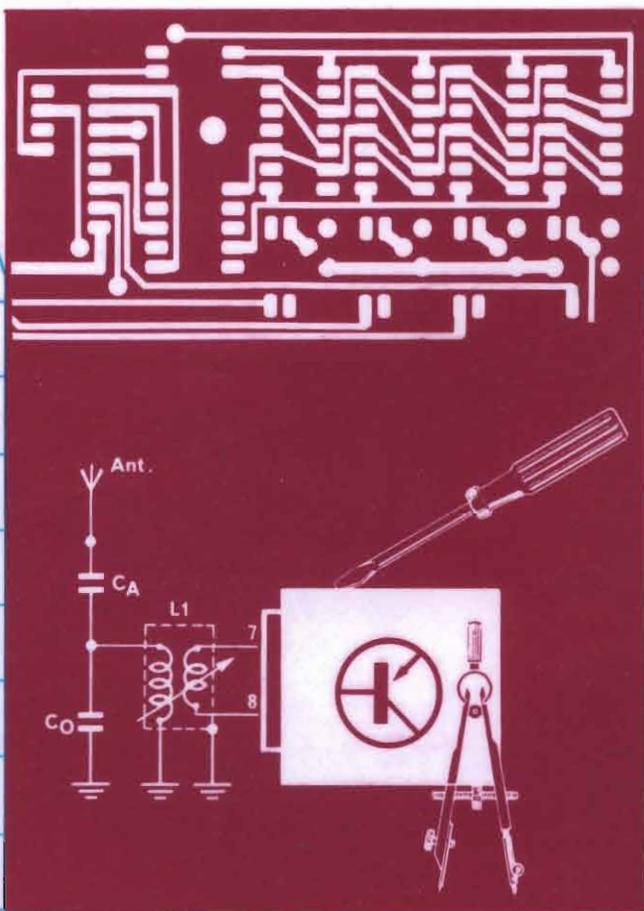
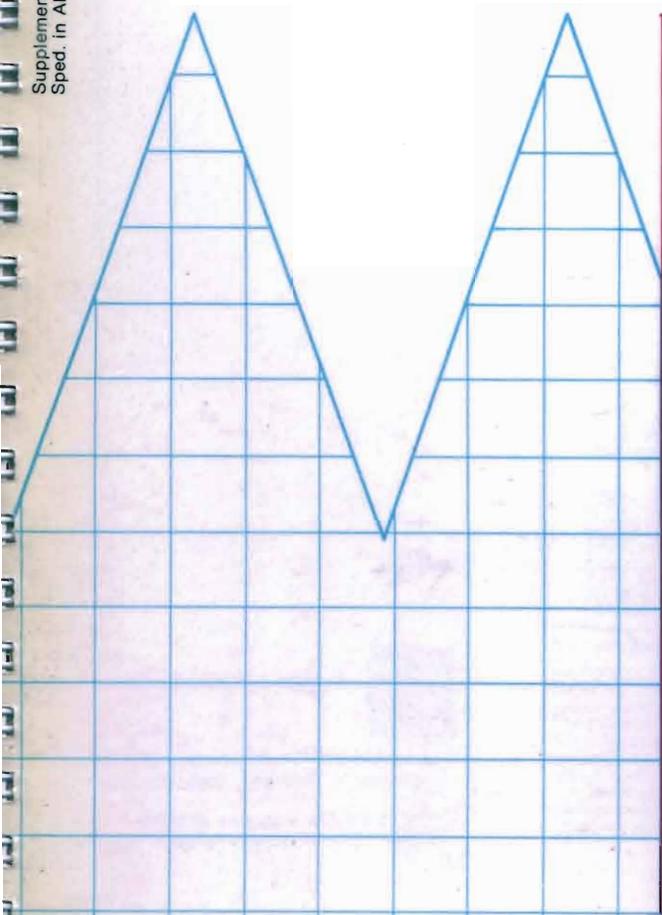


# APPUNTI DI ELETTRONICA

## VOL. 1

Supplemento al n. 3 di SPERIMENTARE  
Sped. in Abb. Postale Gruppo III/70



Supplemento al n. 3 di

## SPERIMENTARE

Rivista mensile di elettronica pratica; Editore: J.C.E. - Direttore responsabile: RUBEN CASTELFRANCHI - Direttore Editoriale: GIAMPIETRO ZANGA - Capo redattore: GIANNI DE TOMASI - Redazione: SERGIO CIRIMBELLI, DANIELE FUMAGALLI, TULLIO LACCHINI, MARTA MENEGARDO - Grafica e impaginazione: MARCELLO LONGHINI - Laboratorio: ANGELO CATTANEO, LORENZO BARRILE - Contabilità: ROBERTO OSTELLI, M. GRAZIA SEBASTIANI - Diffusione e abbonamenti: PATRIZIA GHIONI - Collaboratori LUCIO VISINTINI, FILIPPO PIPITONE, LUCIO BIANCOLI, FEDERICO CANCARINI, LODOVICO CASCIANINI, SANDRO GRISOSTOLO, GIOVANNI GIORGINI, ADRIANO ORTILE, AMADIO GOZZI, PIERANGELO PENZA, GIUSEPPE CONTARDI - Direzione, Redazione, Amministrazione: Via dei Lavoratori, 124 - 20092 Cinisello Balsamo - Milano, Telefono 6172671 - 6172641. - Sede legale: Via Vincenzo Monti, 15 - 20123 Milano. - Autorizzazione alla pubblicazione: Tribunale di Monza, numero 258 del 28-11-1974. - Stampa Litografia del Sole - Albairate (MI). - Concessionario esclusivo per la diffusione in Italia e all'Estero SODIP - Via Zuretti, 25 - 20125 Milano. - Spedizione in abbonamento postale gruppo III/70.



JACOPO CASTELFRANCHI EDITORE

© Tutti i diritti di riproduzione e traduzione degli articoli pubblicati sono riservati.



Mensile associato all'USPI  
Unione Stampa Periodica Italiana

Sezione : 0 Propedeutica  
Capitolo : 00 Presentazione  
Paragrafo : 00.0 Esposizione generale  
Argomento : 00.00 Indice generale

# APPUNTI DI ELETTRONICA

## Volume 1°

### Indice dei Capitoli e dei Paragrafi relativi alle Sezioni 0 (propedeutica) e 1 (Grandezze fondamentali)

- cap. 00 **Presentazione**  
par. 0 – Esposizione generale
- cap. 10 **Nozioni preliminari**  
par. 0 – Generalità  
1 Eletticità  
2 Parametri principali  
3 Fenomeni alternati sinusoidali  
4 Oscillazioni  
5 Analisi delle oscillazioni
- cap. 11 **Tensione Corrente Resistenza**  
par. 0 Concetti generali  
1 Tensione costante e corrente continua  
2 Tensione variabile unidirezionale  
3 Corrente variabile unidirezionale  
4 Tensione alternata  
5 Corrente alternata  
6 Resistenza statica e resistenza differenziale.





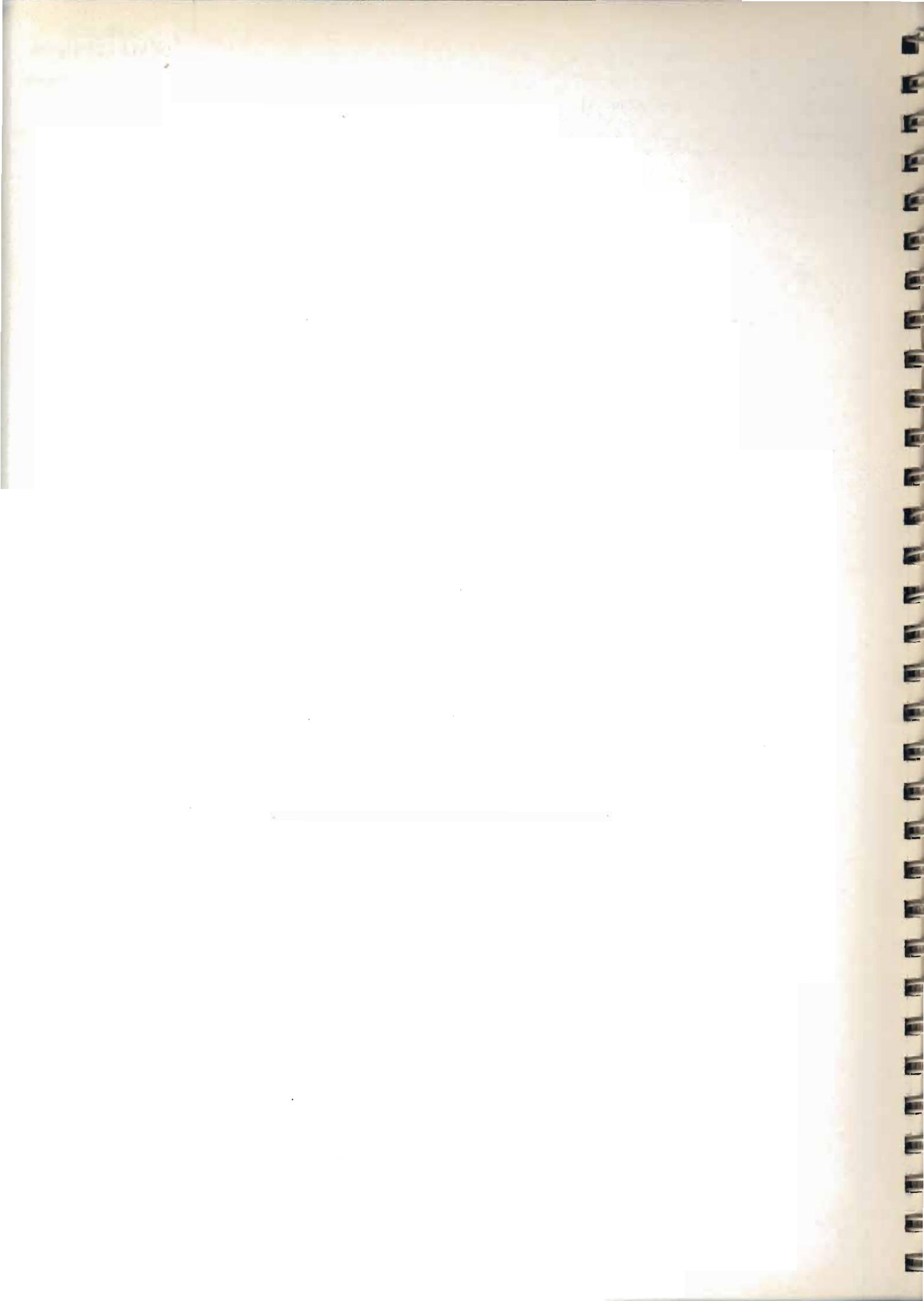
Sezione : 0 Propedeutica  
Capitolo : 00 Presentazione  
Paragrafo : 00.0 Esposizione generale  
Argomento : 00.00 Indice generale

# Capitolo 00

## PRESENTAZIONE

### Indice dei paragrafi e degli argomenti

par. 00 arg. 00.00 — Indice generale  
00.01 — Descrizione strutturale dell'opera  
00.02 — Bibliografia per il presente volume  
00.03 — Indice analitico



# Paragrafo 00.0

## ESPOSIZIONE GENERALE

### Indice degli argomenti e delle pagine

- arg. 00.00 **Indice generale**  
pag. 1 — Indice dei capitoli e dei paragrafi relativi alle sezioni 0 e 1  
" 3 — Indice dei paragrafi e degli argomenti relativi al Capitolo 00  
" 5 — Indice degli argomenti e delle pagine relativi al paragrafo 00.0
- arg. 00.01 **Descrizione strutturale dell'opera**  
pag. 1 — Struttura dell'opera  
Caratteristiche  
Metodo di spiegazione  
Contrassegni sulle pagine  
" 2 — Criterio di numerazione decimale dei fogli  
" 3 — **Comunicazione ai lettori**  
• Premessa  
• Presentazione  
" 4 — Come è nata l'idea  
Illustrazione del metodo  
" 5 — Formule  
Concetti  
" 6 — Precisazioni  
Alcune considerazioni  
" 7 — Argomenti preferiti in questa trattazione  
Chiediamo venia  
Conclusioni
- arg. 00.02 **Bibliografia per il presente volume**  
pag. 1 — Libri  
" 2 — Riviste
- arg. 00.03 **Indice analitico**

Handwritten text in the top left corner, possibly a date or page number.



Sezione	: 0	Propedeutica
Capitolo	: 00	Presentazione
Paragrafo	: 00.0	Esposizione Generale
Argomento	: 00.01	Descrizione strutturale dell'opera

APPUNTI DI ELETTRONICA	
Codice	Pagina
00.01	1

## STRUTTURA DELL'OPERA

Questo libro è costituito da una raccolta di fogli che trattano ciascuno un solo argomento come risulta dalla intestazione unificata.

L'argomento trattato su ogni singola pagina, viene esaurito nella stessa pagina.

In questo modo si evita che le figure possono trovarsi in pagine diverse da quelle del testo e perciò la lettura viene facilitata.

## CARATTERISTICHE

Il libro può essere trasformato in una raccolta di fogli mobili semplicemente staccandoli dal dorso, forandoli opportunamente e raccogliendoli in apposita copertina con anelli che si trova in qualsiasi cartoleria.

Questo sarà opportuno farlo:

- 1) — qualora il lettore intendesse aggiungere suoi appunti
- 2) — qualora il lettore volesse inserire dei cartoncini separatori per facilitare la ricerca e per meglio suddividere i capitoli
- 3) — per inserire eventuali fogli aggiuntivi che nel futuro venissero pubblicati
- 4) — per poter effettuare confronti di analogie con altri fogli della raccolta.

A questo scopo si segnala che il codice decimale di collocazione, posto accanto alla testata unificata, vuole ottenere lo scopo di permettere l'inserzione di fogli senza interferire sulla struttura stessa della pubblicazione.

Il lettore può dotare di linguette sporgenti con il richiamo del codice ogni foglio relativo ai vari indici.

In questo modo si facilita la ricerca e la consultazione.

Non si è voluto predisporre questo vantaggio in sede redazionale per non rendere troppo costoso ogni volume.

## METODO DI SPIEGAZIONE

Si è voluto dare alle figure un valore preponderante usando il testo come ausiliario esplicativo delle stesse.

Questo metodo, che si allontana dall'ortodossia tradizionale, è stato gradito dai lettori della precedente esperienza editoriale (v. pagg. seguenti).

Essi hanno riconosciuto in questo metodo una forza comunicativa notevole e molto più vicina a quella della viva voce dell'insegnante che spiega alla lavagna dialogando con gli allievi.

Vorremmo che il lettore apprezzasse quanto questo metodo abbia richiesto maggior dedizione da parte dell'autore e della Redazione e maggiori costi da parte dell'Editore.

## CONTRASSEGNI SULLE PAGINE

I contrassegni riportati sulle pagine in alto a destra hanno il seguente scopo:

- |                     |   |
|---------------------|---|
| nessun contrassegno | pagine sufficienti per coloro che voglio accontentarsi di una conoscenza superficiale   |
| una stella ★        | pagine destinate a coloro che desiderano una maggior conoscenza della materia, ma non possono essere trascurate dai lettori delle sole pagine senza contrassegno per quanto riguarda le conclusioni |
| due stelle ★ ★      | pagine destinate solo a coloro che desiderano un maggior approfondimento.   |



Sezione	: 0	Propedeutica
Capitolo	: 00	Presentazione
Paragrafo	: 00.0	Esposizione generale
Argomento	: 00.01	Descrizione strutturale dell'opera

## COMUNICAZIONE AI LETTORI

Cari lettori,

### P R E M E S S A

la precedente pubblicazione di questi fogli sulla rivista "Sperimentare" è stata oggetto di una esperienza interessante per tutti.

Lo scopo dell'autore, che l'Editore, la Direzione e la Redazione avevano accettato, consisteva nella elaborazione di articoli propedeutici di elettronica di nuova concezione da pubblicare sulla rivista senza una sequenza precisa.

Si è provveduto, per chi avesse voluto farne la raccolta, a dotare ogni pagina di un codice di collocazione al fine di dare alle pagine stesse una sequenza logica, in modo da trasformare la collezione in volumi di facile consultazione.

Il gradimento dei lettori ha però creato alcune difficoltà.

Coloro che vedevano nella pubblicazione un "corso di elettronica" volevano presto vederne la fine.

I nuovi lettori volevano gli arretrati, che quando reperibili, rendevano notevole la spesa per lo scopo che volevano raggiungere.

Ed è così che l'Editore ha deciso di ripubblicare il lavoro nella veste attuale.

### P R E S E N T A Z I O N E

Non è facile improvvisarsi buon tecnico elettronico perché difficilmente la tecnica elettronica è intuibile da chi ci si accosta per la prima volta.

Infatti niente è tanto apparentemente statico e al tempo stesso tanto freneticamente dinamico di ciò che è contenuto in una apparecchiatura elettronica.

Il meccanico, l'idraulico, il muratore, il falegname e perfino l'elettrotecnico vedono il funzionamento delle loro opere e possono apportarvi riparazioni, modifiche o miglioramenti, appoggiandosi unicamente al loro intuito.

Il tecnico elettronico non può. Niente si muove sotto il suo sguardo; di primo acchito i collegamenti e gli elementi del circuito sembrano tutti uguali.

Per capire qualche cosa egli deve avere imparato prima.

Deve fare delle misure, deve fare qualche piccolo calcolo, deve consultare delle tabelle.

Insomma, deve avere studiato la materia!

Conoscenza dell'elettronica significa soprattutto e prima di tutto conoscenza della matematica e della geometria per sapere bene calcolare gli elementi e ben interpretare i grafici.



Sezione : 0 Propedeutica  
 Capitolo : 00 Presentazione  
 Paragrafo : 00.0 Esposizione generale  
 Argomento : 00.01 Descrizione strutturale dell'opera

### CONCETTI

Se lo studioso di un fenomeno della natura ne afferra il concetto fondamentale, che generalmente è assai semplice anche in elettronica, non gli sarà difficile tradurlo poi in espressione matematica.

Prendiamo un esempio sconcertante per la sua semplicità a cui non poche espressioni elettroniche assomigliano.

Si tratta infatti di risolvere il problema che dice: vado al mercato e compero: 3 Kg di mele a 500 L/Kg, 4 Kg di pere a 600 L/Kg e 5 Kg di arance a 700 L/Kg. Quanto ho speso in tutto?

Tutti conoscono il procedimento per ottenere il risultato richiesto.

Pochi saprebbero tradurlo nella seguente espressione matematica, che dice la stessa cosa:

$$S = p_1 Q_1 + p_2 Q_2 + p_3 Q_3$$

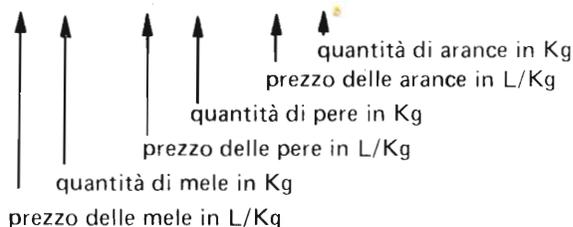
dove: S rappresenta la spesa totale

$p_1, p_2, p_3$  rappresentano rispettivamente i prezzi, in L/Kg, delle mele, delle pere e delle arance

$Q_1, Q_2, Q_3$  rappresentano rispettivamente le quantità acquistate, in Kg, di pere, mele e arance

Per facilitare lo studio, tutte le volte che sarà possibile, noi illustreremo l'espressione in questo modo.

Spesa totale in L. →  $S = p_1 Q_1 + p_2 Q_2 + p_3 Q_3$



### PRECISAZIONI

E' interessante comunque vedere l'espressione matematica non come un mezzo statico per ottenere un risultato, ma come un mezzo dinamico per rendersi conto di come il risultato (la spesa totale nel caso dell'esempio precedente) possa cambiare al variare dei singoli prezzi o delle singole quantità.

Un altro modo più sintetico di esprimere lo stesso concetto di prima è il seguente:

$$S = \sum p_n Q_n$$

Noi cercheremo di evitare di ricorrere ad espressioni di questo tipo per non complicare lo studio, così come cercheremo di evitare espressioni legate al calcolo infinitesimale.

Se poi qualche lettore crede ancora che questo lavoro sia redatto a livello universitario sarà bene che si convinca di non avere la preparazione sufficiente per affrontare seriamente l'elettronica.

Sezione	: 0	Propedeutica
Capitolo	: 00	Presentazione
Paragrato	: 00.0	Esposizione generale
Argomento	: 00.01	Descrizione strutturale dell'opera

### ALCUNE CONSIDERAZIONI

Gli scritti tecnici in generale non dovrebbero essere compilati in modo che la loro lettura debba essere ascoltata con voluttà tutta fine a se stessa!

I tecnici, e con questa parola vogliamo indicare tutti coloro che per motivi di lavoro o di passione amano ancora seguire le incorruttibili discipline di Pitagora, preferiscono scritti da osservare attentamente, piuttosto che leggerli pedissequamente, preferiscono scritti schematizzati in modo da ottenere da essi il maggior contenuto di informazione.

E' importante che il tecnico non debba far fatica, né perdere tempo per reperire in un libro, in un rapporto, in una lettera di lavoro, in un disegno o in una figura, l'informazione che gli interessa.

Il tempo che molti perdono a leggere e ad interpretare cattive o incomplete spiegazioni costituisce in una perdita economica molto maggiore del risparmio che si è fatto nella compilazione, che generalmente è eseguita in fretta e furia da una sola persona.

### ARGOMENTI PREFERITI IN QUESTA TRATTAZIONE

Quando si vuol dare semplicità alla spiegazione di certi fenomeni bisogna anche avere il coraggio di dire delle inesattezze, per cui ne troverete molte qui dentro, dato che vogliamo perseguire lo scopo di convincere i principianti che l'elettronica non è una materia poi così complicata!

Per capire poi la complicazione delle cose è necessario che si abbia ben compreso prima la loro semplificazione.

Daremo più importanza agli argomenti che il lettore sia in grado di realizzare e di sperimentare con attrezzature abbastanza comuni.

Cenni soltanto verranno dati circa la struttura intima e dei metodi di produzione degli elementi del circuito poiché pensiamo che a nessuno verrà in mente, a livello singolo, di fabbricarsi un transistor o qualche altro elemento del circuito!

### CHIEDIAMO VENIA

Nel rifacimento di ogni pagina si è tentato di ricuperare quanto si poteva del materiale già pubblicato su "Sperimentare".

Per questo motivo, spesso, la perfezione editoriale lascia un po' a desiderare e ne chiediamo venia ai lettori.

### CONCLUSIONI

L'autore ringrazia la Direzione e l'Editore che, consapevoli degli scopi che si volevano raggiungere, non hanno lesinato spazio sacrificando i costi alla facilità dello studio per il lettore.

L'autore ringrazierà quei Lettori che vorranno dare suggerimenti, critiche, disapprovazioni, e che volessero anche segnalare argomenti di loro interesse.

A tutti buona lettura. Cordialmente il vostro

Alvas T. Gilcart

Sezione : 0 Propedeutica  
 Capitolo : 00 Presentazione  
 Paragrafo : 00.0 Esposizione generale  
 Argomento : 00.02 Bibliografia per il presente volume

— LIBRI —

Abbreviazione nel contesto	Autore	Titolo	Edizione
Biancoli V.R.T.	L. Biancoli	Vademecum del tecnico Radio/TV	Carlo Moradei
Giometti	R. Giometti F. Frascari	Elettronica Elettronica Radiotecnica Vol. 1° e 2°	Calderini 1973
Terman RE Handb.	F.E. Terman	Radio Engineers' Handbook	McGraw Hill 1943
E.D.T.	—	Enciclopedia della Scienza e della Te- cnica 10 vol.	Mondadori 1966
R.E.D.	—	Riassunti editoriali Delfino	Editoriale Delfino
Barbagelata	A. Barbagelata	Misure elettriche 2 vol.	Tamburini 1950
Telettra M.I.T.			

**APPUNTI  
DI ELETTRONICA**Codice            Pagina  
00.02            2Sezione    :    0    Propedeutica  
Capitolo   :    00   Presentazione  
Paragrafo  :    00.0   Esposizione generale  
Argomento  :    00.02   Bibliografia per il presente volume

## - RIVISTE -

	Titolo	Edizione
TA	Tecniche dell'automazione	ETASKOMPAS
Sp	Sperimentare	J.C.E.
S.R.	Selezione Radio TV	J.C.E.
E.O.	Elettronica Oggi	J.C.E.

Sezione : 0 Propedeutica  
Capitolo : 00 Presentazione  
Paragrafo : 00.0 Esposizione generale  
Argomento : 00.03 Indice analitico

## INDICE ANALITICO DEL PRESENTE VOLUME

### Avvertenza

Ricordando il criterio di codificazione espresso al cod. **00.01** - 2 nell'indice che segue

se l'indicazione è fatta con	significa che la voce cercata è trattata
una sola cifra (es.: 2)	nell'intera <b>sezione</b> relativa alla cifra indicata
due cifre (es.: 12)	nell'intero <b>capitolo</b> relativo alle cifre indicate
tre cifre (es.: 11.4)	nell'intero <b>paragrafo</b> relativo alle cifre indicate
quattro cifre (es.: 10.53)	nell'intero <b>argomento</b> relativo alle cifre indicate
cinque cifre (es.: 10.21-3)	nella <b>pagina</b> relativa alle cifre indicate

**APPUNTI  
DI ELETTRONICA**

Codice            Pagina  
00.03            2

Sezione        : 0        Propedeutica  
Capitolo       : 00       Presentazione  
Paragrafo     : 00.0     Esposizione generale  
Argomento     : 00.03   Indice analitico

10.01-2	accelerazione	10.12-1	elementi del circuito
11.11-2	alternata (definizione aggettivo)	10.13-1	— attivi
10.21-3	ammettenza	10.13-1	— reattivi
10.11-2	ampere	10.13-1	— passivi
10.31-2	ampiezza	10.11-2	elettrone
10.5	analisi delle oscillazioni	10.01-2	energia
10.41-2	angolo percorso	10.51-3	equazione di Fourier
10.41-2	arco percorso		
10.51-2	armoniche	10.31-2	fase
11.71-1	ascissa	10.58-2	fattore di cresta
10.11-2	atomo	10.58-2	— di forma
10.01-2	atto —	10.01-1	femto —
		10.01-2	flusso elettrostatico
11.21	caduta di tensione	10.01-2	flusso magnetico
10.01-2	capacità	10.43-4	forma d'onda a dente di sega
11.13-2	caratteristiche di lavoro di generatore	10.54	“ “ “ “ “ “
11.71-1	caratteristica di funzionamento di componenti	10.43-1	— — a gradino
11.74	— non lineare	10.43-3	— — ad impulso
10.01-2	carica elettrica	10.43-2	— — rettangolare
10.11-2	— negativa	10.52	“ “ “
10.11-2	— — positiva	10.43-4	— — sinusoidale
10.01-1	centi —	10.43-4	— — triangolare
10.01-1	chilogrammo-massa	10.53	“ “ “
10.01-2	ciclo	10.59-1	forme d'onda (esame comparativo)
10.11-1	circuito elettrico	10.01-2	forza
10.12-1	circuito elettrico	12.31-1	— controlettromotrice
00.01-2	codice decimale dei fogli	10.01-2	— elettromotrice
10.13-1	collegamento in serie	11.12-1	“ “
10.13-2	— — parallelo	10.01-2	— magnetomotrice
10.13-2	— — misto	10.51-1	Fourier
10.31-1	composizione dei vettori	10.01-2	frequenza
10.43-6/8	— di grandezze	10.41-1	“
10.01-2	conduttanza	10.11-1	generatore
10.21-3	“	11.12-2	— di corrente
11.11-1	“	11.13	— di f.e.m.
11.11-2	continua (definizione aggettivo)	11.12-2	— di tensione
11.6	corrente alternata	10.01-1	giga
11.2	— continua	10.42-2	grandezze aperiodiche
11.4	— — modulata	10.31-1	— alternate sinusoidali
10.01-2	— elettrica	10.31-1	— rappresentazioni geometriche
11	“ “	10.31-1	— polare
10.11-2	“ “	10.31-1	— cartesiana
11.22	“ “	1	grandezze fondamentali
11.4	— variabile unidirezionale	10.21-1	impedenza
11.11-2	costante (definizione aggettivo)	11.33	— controllata
10.11-2	Coulomb	10.01-2	induttanza
		10.25-2	“
10.01-1	deca —		
10.01-1	deci —	10.11-2	jone
10.74-3	deformazioni d'onda		
11.13-1	diagramma funzionamento generatore f.e.m.	10.01-1	kilo —
10.11-1	differenza di potenziale	10.01-2	lavoro
10.12-1	dispositivi utilizzatori	10.21	legge di Ohm
10.01-2	distanza	10.01-2	lunghezza

Sezione : 0 Propedeutica  
Capitolo : 00 Presentazione  
Paragrafo : 00.0 Esposizione generale  
Argomento : 00.03 Indice analitico

10.01-2	massa	11.73-1	— — — in corrente alternata
10.01-1	mega —	11.73-2	— — — a tensione variabile polarizzata
10.01-1	micro —	11.72	— perfetta
10.01-1	milli —	11.72-1	— — in corrente continua
11.31-1	modulazione di corrente continua	11.72-2	— — in corrente alternata
11.4	modulazione di corrente continua	11.7	— statica
10.01-1	multipli	10.11-1	resistore
10.01-1	nano —	10.01-1	secondo
00.01	numerazione decimale dei fogli	10.31-2	sfasamento
10.54	onde a dente di sega	10.51-4	simmetria di quarto d'onda
10.56	— a doppia semisinoide	10.51-4	— di semionda
10.55	— a semisinoide	10.01-1	sistema internazionale (SI)
10.52	— quadra	10.01-1	— MKS
10.43-2	" "	10.01-1	sottomultipli
10.43-4	— sinoidale	10.59-2	spettri delle frequenze
10.53	— triangolare	10.01-2	superficie
10.43-4	" "	10.01-1	tempo
11.71-1	ordinata	10.43-2	— di commutazione
11.71-1	origine degli assi	10.43-1	— di discesa
10.31-1	oscillazioni	10.43-1	— di salita
10.5	— (analisi)	10.01-1	tensione
11.31-2	partitore di tensione	11.00	"
10.01-2	periodo	11.5	— alternata
10.41-1	"	11.2	— costante
10.01-1	pico —	11.30	— variabile unidirezionale
11.11-2	polarizzata (definizione aggettivo)	10.51-3	teorema di Fourier
11.31-1	polarizzazione per composizione	10.01-1	tera —
11.32	" " " "	11.11-2	unidirezionale (definizione aggettivo)
11.31-1	— per modulazione	10.11-2	unità di carica
11.33	" " "	11.22-1	unità di misura di corrente
10.11-1	polo negativo	11.22-1	— — — di quant. di elettricità
10.11-1	— positivo	11.21-1	— — — di tensione
10.01-2	potenza	10.01-1	— — — elettriche
11.62-2	— di corrente alternata polarizzata	10.01-1	— — — universali
11.52-2	— di tensione alternata polarizzata	10.11-2	unità di quantità di elettricità
10.01-2	potenziale	10.12-1	utilizzatore
11.21-1	"	10.59-1	valore efficace
10.11-1	"	11.61-2	unità di quantità di elettricità
10.11-2	— della carica	10.12-1	utilizzatore
11.31-2	potenziometro	10.58-1	valore efficace
0	Propedeutica	11.61-2	— — di corrente alternata
10.41-2	pulsazione	11.51-2	— — di tensione alternata
10.01-2	quantità di elettricità	11.52-3	— — di tensione in serie
11.11-1	rapporti statici fra V e I	11.62-1	— picco-picco di corrente
11.11-1	— dinamici fra V e I	11.52-2	— — di tensione
10.32-1	regola del parallelogramma	10.42-2	— medio
12.23-1	— della mano destra	10.01-2	velocità
10.01-2	resistenza	10.31-2	vettore
10.21-1	"	10.01-2	volume
11	"		
11.7	— differenziale		
11.73	— non lineare		

1941  
1942



Sezione	:	1	Grandezze fondamentali
Capitolo	:	10	Nozioni preliminari
Paragrafo	:	10.0	Indice dei paragrafi
Argomento	:	10.00	Indice

## Capitolo 10

# NOZIONI PRELIMINARI

### Indice dei paragrafi e degli argomenti

par. 10.0 — **Generalità**

- arg. 10.00 — Indice delle pagine
- " 10.01 — Definizioni

par. 10.1 — **Elettricità**

- arg. 10.10 — Indice delle pagine
- " 10.11 — Cenni sulla struttura dell'elettricità
- " 10.12 — Il circuito
- " 10.13 — Collegamenti degli elementi del circuito

par. 10.2 — **Parametri principali**

- arg. 10.20 — Indice delle pagine
- " 10.21 — La legge di Ohm

par. 10.3 — **Fenomeni alternati sinusoidale**

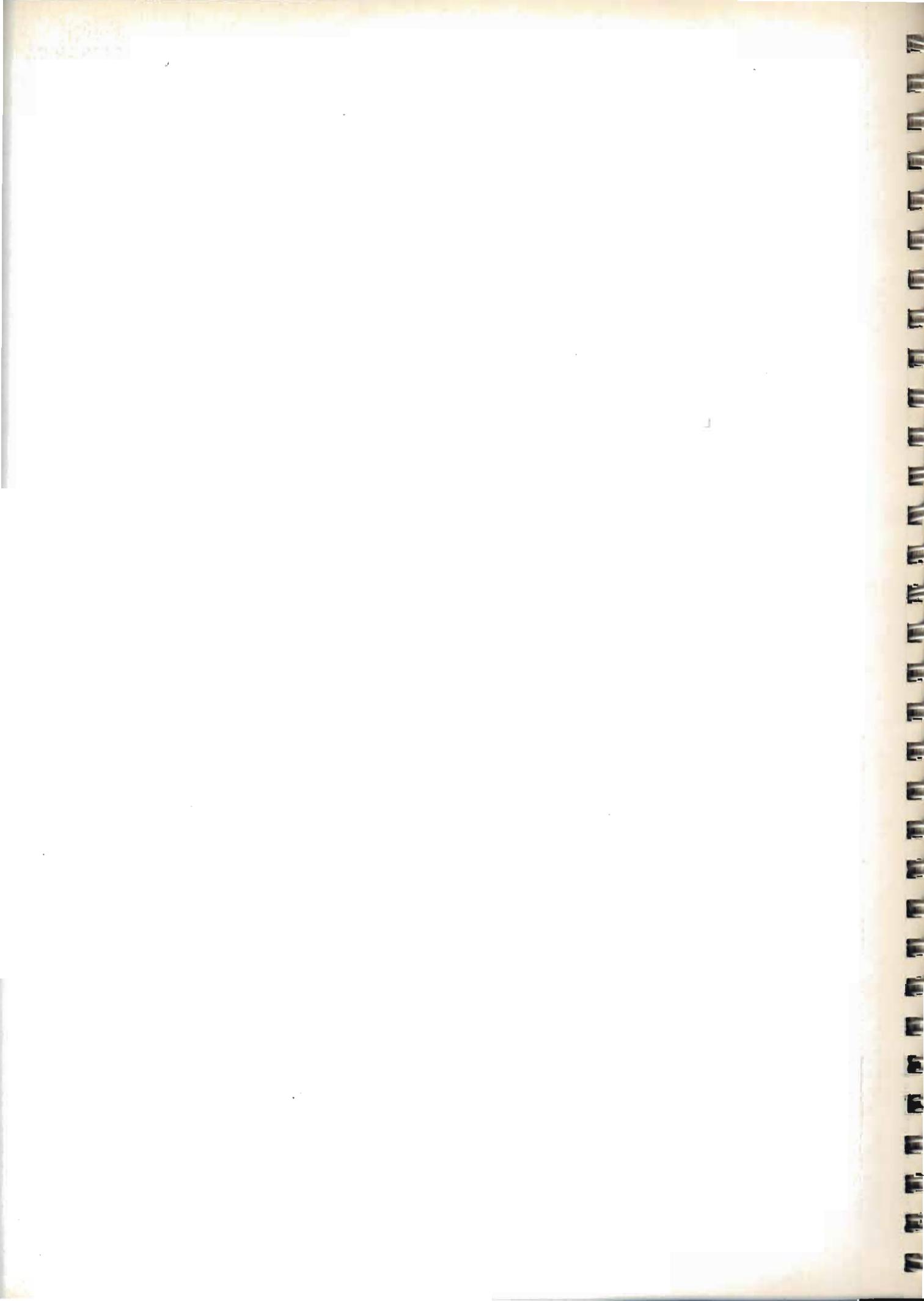
- arg. 10.30 — Indice delle pagine
- " 10.31 — Concetti fondamentali. Vettori
- " 10.32 — Operazioni sui vettori

par. 10.4 — **Oscillazioni**

- arg. 10.40 — Indice delle pagine
- " 10.41 — Rappresentazione fondamentale delle oscillazioni sinusoidali
- " 10.42 — Oscillazioni non sinusoidali
- " 10.43 — Forme d'onda

par. 10.5 — **Analisi delle oscillazioni**

- arg. 10.50 — Indice delle pagine
- " 10.51 — Teorema di Fourier
- " 10.52 — Onda quadra
- " 10.53 — Onda triangolare
- " 10.54 — Onda a denti di sega
- " 10.55 — Onda a semioide
- " 10.56 — Onda a doppia semi-sinoide
- " 10.58 — Valori e fattori caratteristici
- " 10.59 — Esame comparativo delle forme d'onda



Sezione : 1 Grandezze fondamentali  
 Capitolo : 10 Nozioni preliminari  
 Paragrafo : 10.0 Generalità  
 Argomento : 10.00 Indice del paragrafo

Codice Pagina  
 10.00 3

## Paragrafo 10.0

### GENERALITA'

#### Indice degli argomenti e delle pagine

arg. 10.01 — **Definizioni**

pag. 1 — Unità di misura universali  
 Unità di misura elettriche  
 Multipli e sottomultipli

" 2 — Panoramica delle grandezze più importanti



Sezione : 1 Grandezze fondamentali  
 Capitolo : 10 Nozioni preliminari  
 Paragrafo : 10.0 Generalità  
 Argomento : 10.01 Definizioni

**UNITA' DI MISURA UNIVERSALI**

Tutte le unità di misura derivano da tre grandezze fondamentali di cui si sono creati dei campioni internazionalmente riconosciuti e depositati.

Il sistema metrico internazionale si chiama anche sistema MKS dalle iniziali delle tre grandezze fondamentali che sono:

il metro	(m)	per le lunghezze e le distanze
il chilogrammo massa	(KgM)	per la quantità di materia
il secondo	(s)	per il tempo

Le altre grandezze sono tutte derivate dalle interazioni che i vari fenomeni fisici esercitano sui corpi. Esse sono comunque riportabili in termini che si esprimono ancora con le tre grandezze fondamentali.

**UNITA' DI MISURA ELETTRICHE**

Lo studioso potrà incontrare nei testi ancora l'ohm campione di resistenza elettrica come grandezza fondamentale insieme alle altre tre (sistema MKSΩ).

Attualmente il Sistema Internazionale (SI) ha preferito l'ampere come unità di misura della corrente elettrica (sistema MKSA).

Per questa trattazione abbiamo ritenuto più intuitivo per un principiante considerare come fondamentale la quantità di elettricità o carica elettrica.

**MULTIPLI E SOTTOMULTIPLI**

Certe unità di misura possono risultare o troppo grandi o troppo piccole per esprimere in cifre il valore della grandezza a cui si riferiscono.

Si usano perciò delle particelle attributive che si applicano ai nomi delle unità o misura quali prefissi come da tabella che segue

	Nome di	Simbolo	Fattore di moltiplicazione		Significato rispetto all'unità
			Espon.	Decimale	
multipli	tera	T	10 <sup>12</sup>	1.000.000.000.000	milioni di milioni o migliaia di miliardi
	giga	G	10 <sup>9</sup>	1.000.000.000	miliardi o migliaia di milioni
	mega	M	10 <sup>6</sup>	1.000.000	milioni
	Kilo	K	10 <sup>3</sup>	1.000	migliaia
	etto	h	10 <sup>2</sup>	100	centinaia
	deca	da	10	10	decine
sottomultipli	deci	d	10 <sup>-1</sup>	0,1	decimi
	centi	c	10 <sup>-2</sup>	0,01	centesimi
	milli	m	10 <sup>-3</sup>	0,001	millesimi
	micro	μ	10 <sup>-6</sup>	0,000.001	milionesimi
	nano	n	10 <sup>-9</sup>	0,000.000.001	miliardesimi o millesimi di milionesimi
	pico	p	10 <sup>-12</sup>	0,000.000.000.001	milionesimi di milionesimi o millesimi di miliardesimi
	femto	f	10 <sup>-15</sup>	Si tratterebbe di cifre o parole senza senso dovendo indicare grandezze estremamente piccole, per cui non rimane che affidarsi alla sola espressione esponenziale.	
	atto	a	10 <sup>-18</sup>		

Spiegazione. Si dirà ad esempio:

3 nanosecondi invece di dire 3 miliardesimi di secondo e si scriverà 3 ns anziché 0,000.000.003 s  
 29 megawatt invece di dire 29 milioni di watt e si scriverà 29 MW anziché 29.000.000 w

**PANORAMICA DELLE GRANDEZZE PIU' IMPORTANTI**

A titolo di riferimento diamo subito un elenco in ordine alfabético di alcune grandezze che incontreremo nel corso della trattazione.

Si raccomanda ai principianti di non confondere i nomi e i simboli delle grandezze con i relativi delle unità di misura.

Grandezza Nome	Simb.	Definizione	Unità di misura Nome	Simb.	Equiv.
Accelerazione	a	Rapidità di variazione della velocità	metro al sec. x sec.	m/s <sup>2</sup>	—
Capacità	C	Quantità di elettricità che bisogna mettere in un condensatore per fargli salire la tensione ai suoi capi di un determinato valore	farad	F	Q/V
Carica elettrica	Q	Fondamentale per noi (v. quant. di elettricità)	coulomb	C	—
Ciclo	c	L'insieme dei valori variabili di una grandezza che si ripetono costantemente	ciclo	c	—
Conduttanza	G	Rapporto fra corrente che si stabilisce attraverso un elemento e la tensione ad esso applicata	siemens	S	A/V
Corrente	I	Ritmo di passaggio di cariche elettriche attraverso un elemento del circuito	ampere	A	C/s
Distanza	d	Fondamentale (v. anche lunghezza)	metro	m	—
Energia	E	Attitudine di una massa per compiere lavoro	joule	J	N.m
Flusso elettrost.	Q	Quantità di elettricità che attraversa la sezione di un corpo o di spazio	coulomb	C	—
Flusso magnet.	φ	Quantità di magnetismo che attraversa la sezione di un corpo o di spazio	weber	Wb	—
Forza	F	Entità meccanica che imprime una data accelerazione ad una massa libera	newton	N	mKg/S <sup>2</sup>
Forza elettrom.	E	Tensione ai capi di un generatore quando non è attraversato da corrente	Volt	V	—
Forza magnetom.	M	Entità elettrica produttrice di magnetismo	amperspira	Asp	—
Frequenza	f	Numero di cicli che si compiono in un determinato tempo	hertz	Hz	c/s
Induttanza	L	Rapidità di variazione della corrente che si riscontra in funzione di una tensione applicata	henry	H	—
Lavoro	L	Entità sviluppata da una massa durante uno spostamento sotto l'azione di una forza	joule	J	Nm
Lunghezza	l	Fondamentale (v. anche distanza)	metro	m	—
Massa	M	Fondamentale come quantità di materia	kilogrammo	kgM	—
Periodo	T	Durata di un ciclo	secondo	s	s/c
Potenza	P	Energia sviluppata in un dato tempo	watt.	w	J/s
Potenziale	V	Livello di energia di un punto del circuito o di una carica ferma	volt	V	—
Quant. di elett.	Q	Fondamentale per noi (v. carica elettrica)	coulomb	C	—
Resistenza	R	Rapporto fra tensione che si stabilisce ai capi di un elemento e la corrente che l'attraversa	ohm	Ω	V/A
Superficie	S	Estensione di un piano	metro quadr.	m <sup>2</sup>	—
Tempo	t	Fondamentale	secondo	s	—
Tensione	V	Livello di energia posseduta da una carica	volt	V	—
Volume	v	Estensione di una massa	metro cubo	m <sup>3</sup>	—
Velocità	v	Distanza percorsa in un determinato tempo	metro al sec.	m/s	—

Sezione	:	1	Grandezze fondamentali
Capitolo	:	10	Nozioni fondamentali
Paragrafo	:	10.1	Elettricità
Argomento	:	10.10	Indice del paragrafo

## Paragrafo 10.1

# ELETTRICITA'

### Indice degli argomenti e delle pagine

arg. 10.11 — **Cenni sulla struttura dell'elettricità**

pag. 1 — Analogia di comportamento dell'energia elettrica con quella idraulica

" 2 — Unità di carica e di quantità di elettricità

Unità di carica ed elettrone

Potenziale della carica

Movimento delle cariche

Gli elettroni sono micro-cariche di segno negativo

Cariche positive

Atomo

Jone

arg. 10.12 — **Il circuito**

pag. 1 — Il circuito elettrico

" 2 — Metodo grafico di rappresentazione dei circuiti

arg. 10.13 — **Collegamenti degli elementi del circuito**

pag. 1 — Elementi del circuito

Collegamento in serie

" 2 — Collegamento in parallelo

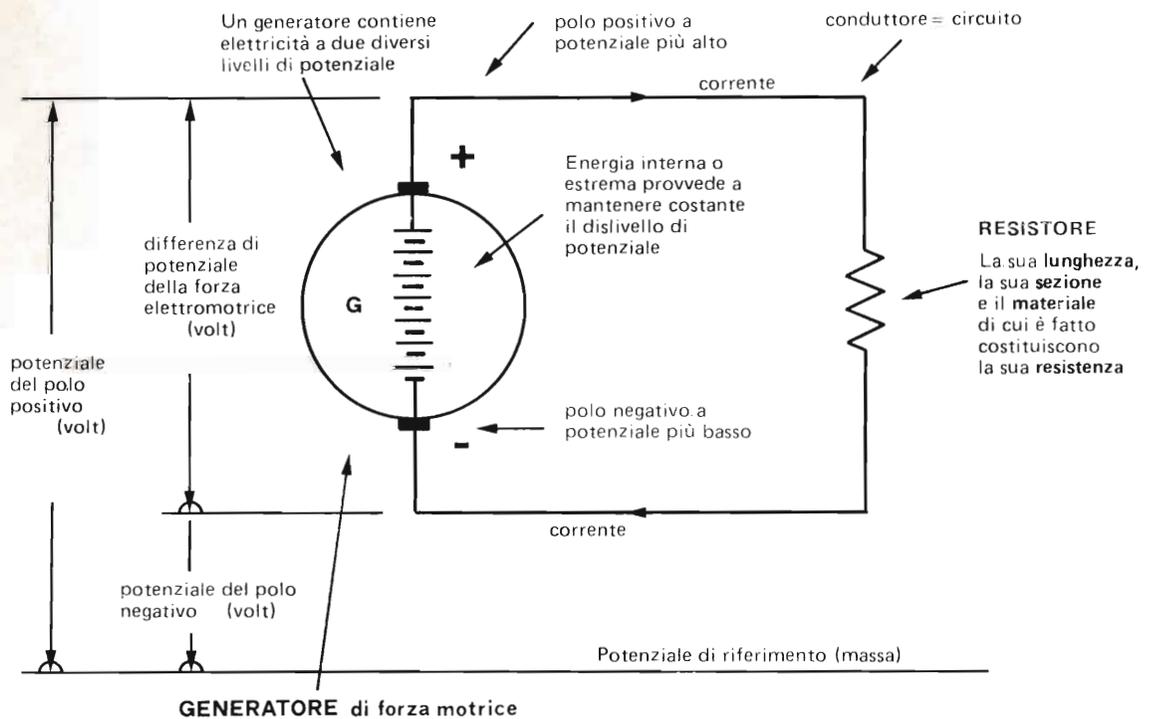
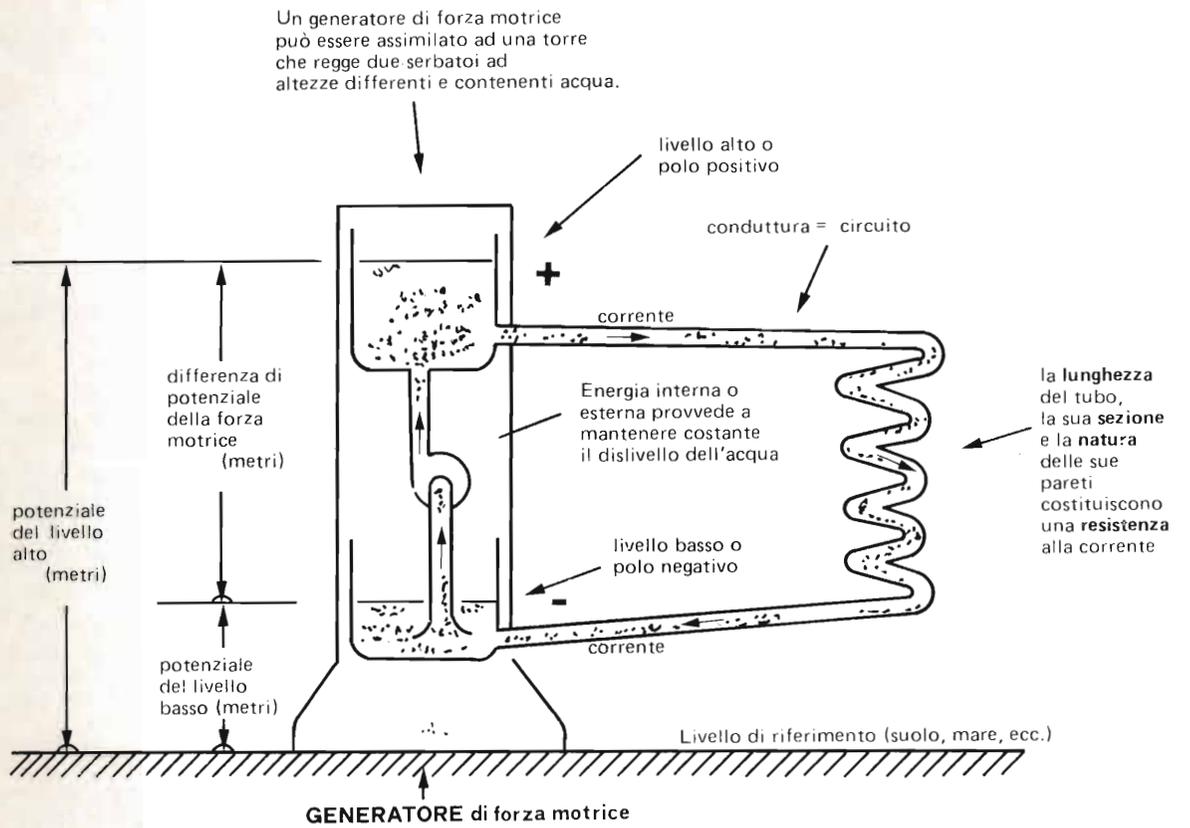
Collegamento misto



Sezione : 1 Grandezze fondamentali  
 Capitolo : 10 Nozioni preliminari  
 Paragrafo : 10.1 Elettricità  
 Argomento : 10.11 Cenni sulla struttura dell'elettricità

Codice Pagina  
 10.11 1

**ANALOGIA DI COMPORTAMENTO DELL'ENERGIA IDRICA CON QUELLA ELETTRICA**



Sezione	: 1	Grandezze fondamentali
Capitolo	: 10	Nozioni fondamentali
Paragrafo	: 10.1	Elettricità
Argomento	: 10.11	Cenni sulla struttura dell'elettricità

### UNITA' DI CARICA O DI QUANTITA' DI ELETTRICITA'

Come il chilogrammo (kg.) è stato scelto come unità di massa e di quantità di materia (p. es. acqua), così il

#### COULOMB (C)

è stato scelto come **unità di quantità di elettricità** o di carica elettrica. (v. anche 12.71)

### UNITA' DI CARICA ED ELETTRONE

Come la molecola è la parte più piccola di una data materia, così l'elettrone è la parte più piccola di elettricità.

in un **chilogrammo** di acqua si trovano  **$3.25 \cdot 10^{25}$**  molecole  
 In un coulomb di elettricità si trovano  **$5.25 \cdot 10^{18}$**  elettroni

### POTENZIALE DELLA CARICA

Come l'acqua può venire innalzata per farla acquistare del potenziale (in metri di altezza) anche l'elettricità può venire innalzata di potenziale (in volt. di tensione).

In altre parole:      in **volt** si misura il livello della carica elettrica,  
 così come            in **metri** si misura il livello della quantità di acqua

### MOVIMENTO DELLE CARICHE

Come l'acqua scorre dall'altezza maggiore a quella minore e la sua portata si misura

in chilogrammi al secondo (o litri al secondo)

anche l'elettricità scorre dal potenziale maggiore a quello minore e la sua corrente si misura

in coulomb al secondo

Vedremo altrove che questa unità di misura prende il nome di ampere (A).

A differenza dell'acqua che può essere tolta da una tubazione, gli elettroni sono sempre presenti in qualunque materiale e in particolare nei conduttori anche quando non c'è passaggio di corrente.

### GLI ELETTRONI SONO MICROCARICHE DI SEGNO NEGATIVO

A differenza delle molecole dell'acqua che si attirano fra di loro a causa dell'attrazione gravitazionale gli elettroni posseggono carica negativa, si respingono fra di loro e vengono soltanto attirati da cariche positive.

### CARICHE POSITIVE

Esse si chiamano protoni ed insieme ad elettroni e neutroni costituiscono l'atomo.

### ATOMO

Un atomo è la più piccola particella che costituisce un elemento della materia.

Esso è neutro quando ad un certo numero di suoi protoni corrisponde un ugual numero di elettroni.

### IONE

Un atomo con una quantità di elettroni superiore od inferiore al numero dei suoi protoni si chiama ione, e può essere:

**ione positivo** quando è in difetto di elettroni  
**ione negativo** quando ha elettroni in eccesso.

### IL CIRCUITO ELETTRICO

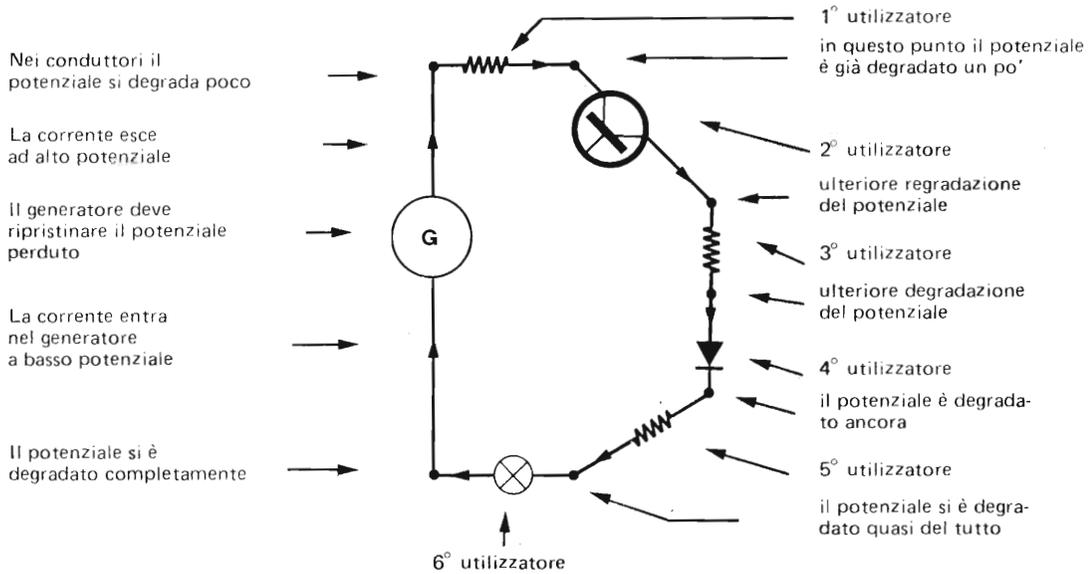
Per circuito elettrico si intende l'insieme di dispositivi elettrici chiamati **elementi del circuito** collegati fra loro in vario modo per assolvere una determinata funzione.

Si dice che la corrente elettrica percorre un circuito quando:

- esce da un terminale di un generatore fornita di alto potenziale
- attraversa i vari dispositivi utilizzatori (resistori, transistori, motori, altoparlanti ecc.)
- entra col potenziale degradato, nell'altro terminale del generatore
- esce di nuovo dal primo terminale col potenziale ripristinato a spese dell'energia interna del generatore.

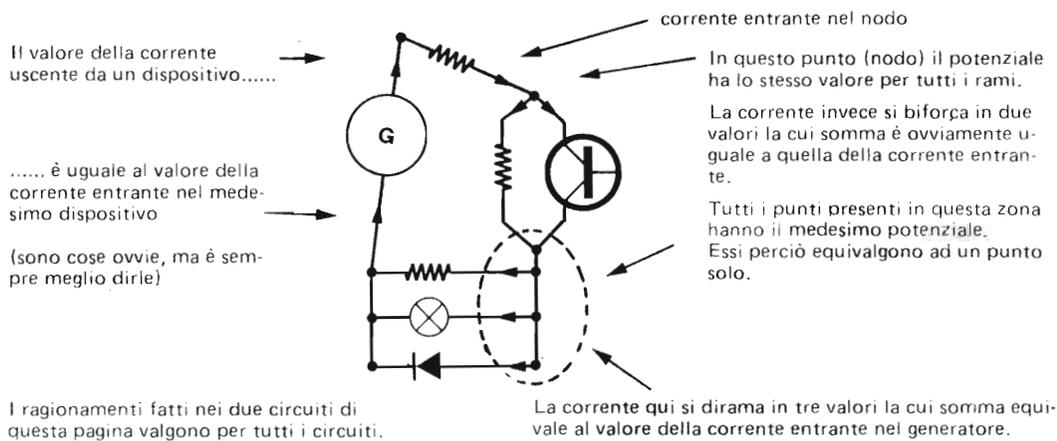
### ESEMPIO DI CIRCUITO

Constatiamo con una semplice figura quanto abbiamo appena detto.



### ALTRO ESEMPIO DI CIRCUITO

In questo esempio gli utilizzatori sono collegati in vario modo



**METODO GRAFICO DI RAPPRESENTAZIONE DEI CIRCUITI**

Noi cercheremo sempre di rappresentare i circuiti nel modo che segue:

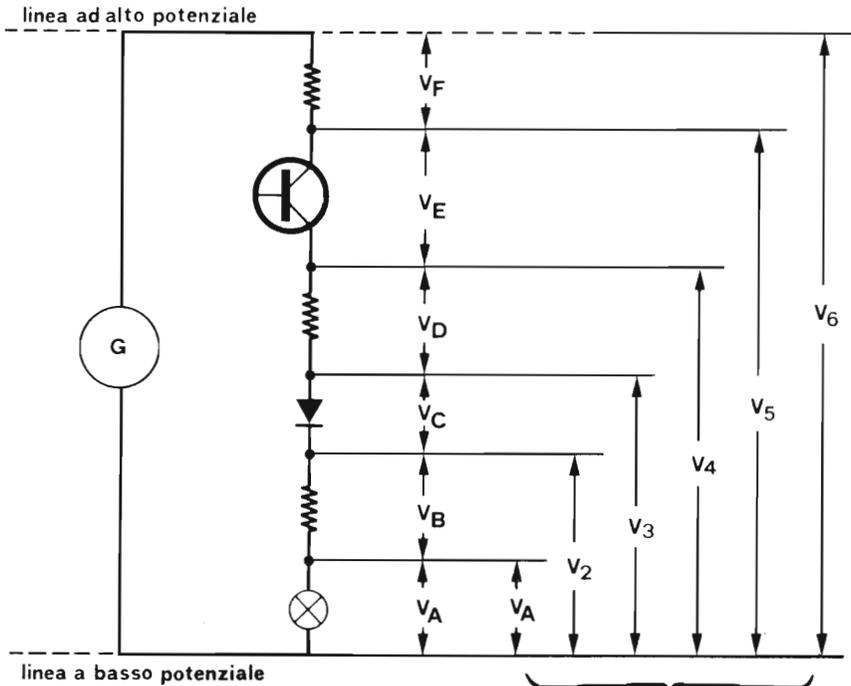
Prendiamo ad esempio i circuiti precedenti

**Primo circuito**

Le linee orizzontali non saranno interrotte da elementi del circuito poiché rappresenteranno situazioni ad ugual potenziale

Il generatore spesso sarà omesso in quanto si riterrà sottinteso. La sola presenza delle due linee orizzontali estreme giustificheranno quella del generatore.

Notare come la tensione  $V_G$  ai capi del generatore risulti uguale alla somma delle tensioni ai capi degli utilizzatori.



La disposizione in verticale degli elementi permette di creare una analogia fra la posizione di un punto dello schema e il livello del suo potenziale.

Differenze di potenziale fra un nodo e il successivo

Valori dei potenziali rispetto ad un punto di riferimento

Come punto di riferimento abbiamo preso la linea a basso potenziale

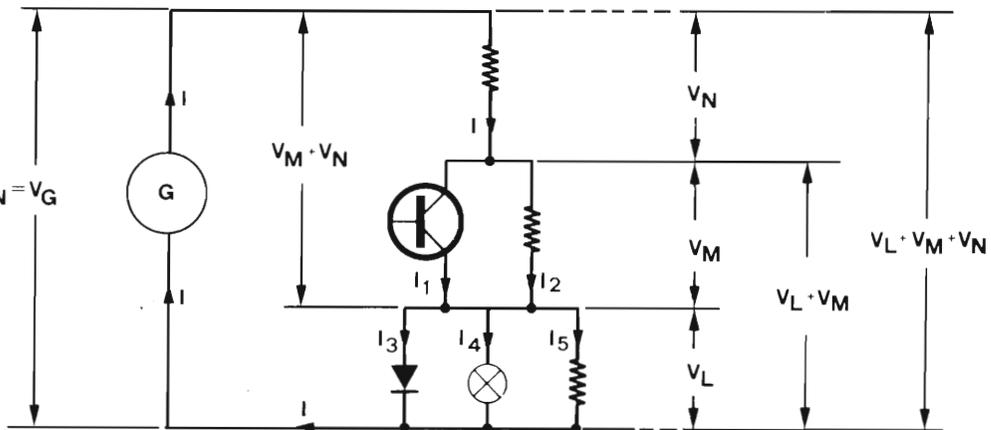
**Secondo circuito**

Dallo schema così disegnato risulta evidente che

$$V_L + V_M + V_N = V_G$$

Il bilancio delle correnti ci dà che

$$i = i_1 + i_2 = i_3 + i_4 + i_5$$

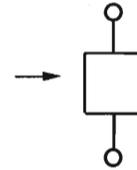


Sezione : 1 Grandezze fondamentali  
 Capitolo : 10 Nozioni preliminari  
 Paragrafo : 10.1 Elettricità  
 Argomento : 10.13 Collegamenti degli elementi del circuito

### ELEMENTI DEL CIRCUITO

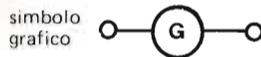
Iniziando ad accostarci nel mondo dell'elettronica, limitiamoci per ora a considerare i più comuni. Man mano che approfondiremo la materia impareremo a conoscerli tutti.

Quelli che considereremo qui posseggono sempre due terminali (uno per l'entrata della corrente e l'altro per l'uscita o viceversa) ai capi dei quali si misura una tensione.



Qui li vogliamo suddividere nelle seguenti tre grandi categorie.

#### Elementi attivi



Definizione

Elementi che erogano energia elettrica (prelevandola sotto altra forma)

Esempi

Dinamo  
 Alternatori  
 Accumulatori  
 Microfoni  
 ecc.

#### Elementi reattivi



Definizione

Elementi che sono in grado di accumulare e rendere energia elettrica sottoforma cinetica (corrente) o potenziale (tensione)

Esempi

Induttori  
 Condensatori

#### Elementi passivi



Definizione

Elementi che sfruttano l'energia elettrica in vari modi.

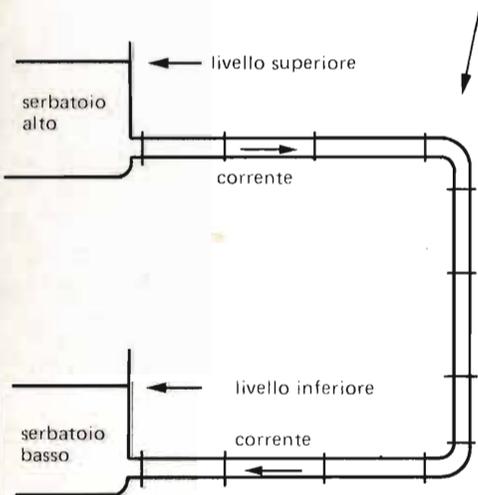
Esempi

Lampadine  
 Riscaldatori  
 Altoparlanti  
 Motori  
 ecc.

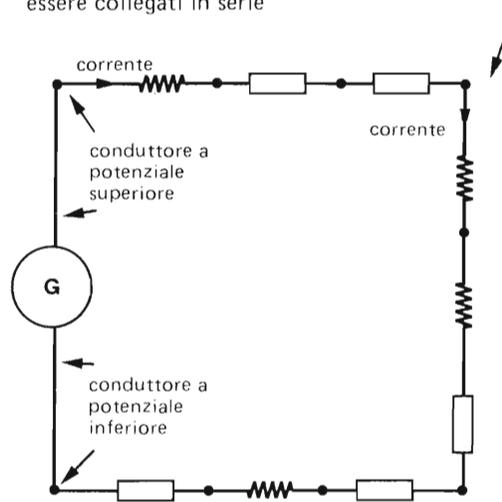
### COLLEGAMENTO IN SERIE DEGLI ELEMENTI DEL CIRCUITO

#### Analogia

Come i tronchi di tubo di cui è costituita una tubazione si trovano collegati in serie fra loro ...



...così gli elementi di un circuito elettrico possono essere collegati in serie



Il collegamento in serie è caratterizzato dal fatto che:

tutti gli elementi collegati sono attraversati dalla medesima corrente mentre ai capi di ciascuno di essi si stabilisce una tensione che dipende dalle caratteristiche dell'elemento stesso

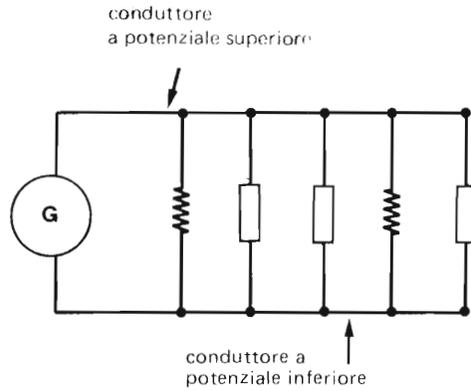
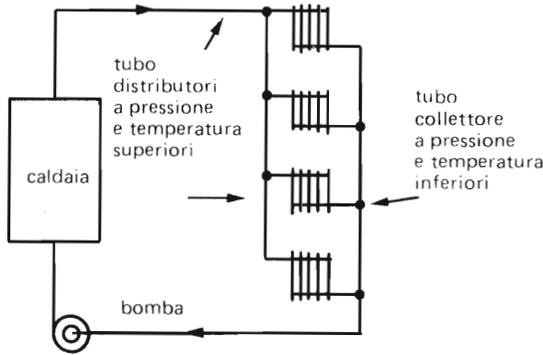
La somma delle singole tensioni sarà comunque uguale alla tensione presente ai capi del generatore.

**COLLEGAMENTO IN PARALLELO DEGLI ELEMENTI DEL CIRCUITO**

**Analogia**

Come i radiatori di cui è costituito un impianto di riscaldamento sono collegati in parallelo .....

..... così gli elementi di un circuito elettrico possono essere collegati in parallelo



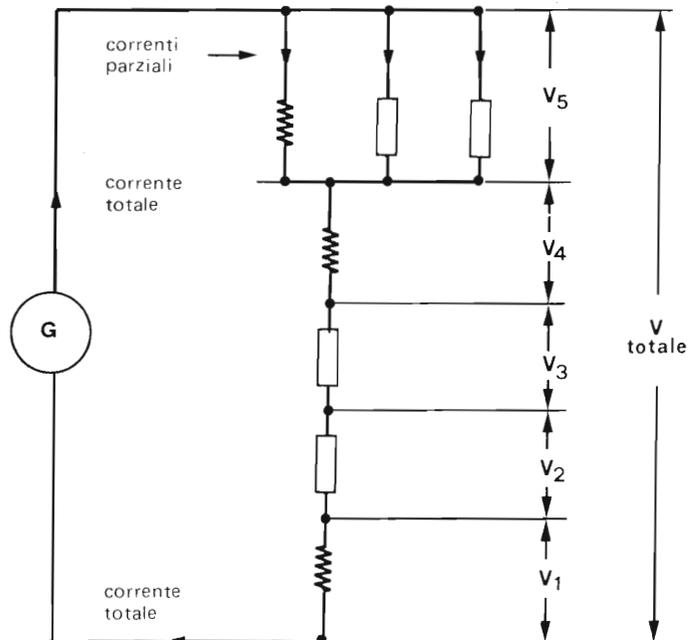
Il collegamento in parallelo è caratterizzato dal fatto che: ai capi di tutti gli elementi collegati sussiste la medesima tensione mentre attraverso di ciascuno di essi si stabilisce una corrente che dipende dalle caratteristiche dell'elemento stesso.

La somma delle singole correnti sarà comunque uguale alla corrente erogata dal generatore.

**COLLEGAMENTO MISTO DEGLI ELEMENTI DEL CIRCUITO**

Può succedere che:

- a) ad un gruppo di elementi in parallelo si colleghi in serie un gruppo di elementi in serie (v. figura)
- b) ad un gruppo di elementi in parallelo si colleghi in serie un altro gruppo di elementi in parallelo.
- c) ad un gruppo di elementi in serie si colleghi in parallelo un altro gruppo di elementi in serie.
- d) ecc.



Sezione	:	1	Grandezze fondamentali
Capitolo	:	10	Nozioni preliminari
Paragrafo	:	10.2	Parametri principali
Argomento	:	10.20	Indice del paragrafo

## Paragrafo 10.2

# PARAMETRI PRINCIPALI

### Indice degli argomenti principali

arg. 10.21 — **La legge di Ohm**

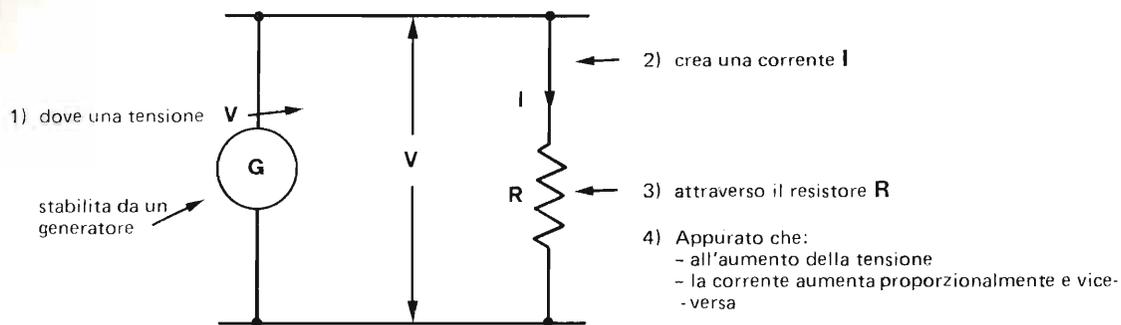
pag. 1 — Legge di Ohm per le resistenze  
Legge di Ohm per le conduttanze

" 2 — Esempi di calcolo



**LEGGE DI OHM PER LE RESISTENZE**

(A) Si abbia un circuito fatto così:



5) Si definisce la caratteristica del resistore e si chiama

N.B. In un elemento ideale questo rapporto è costante per qualsiasi tensione venga applicata

**RESISTENZA o IMPEDENZA (\*)**

il rapporto  $R = \frac{V}{I}$  cioè:

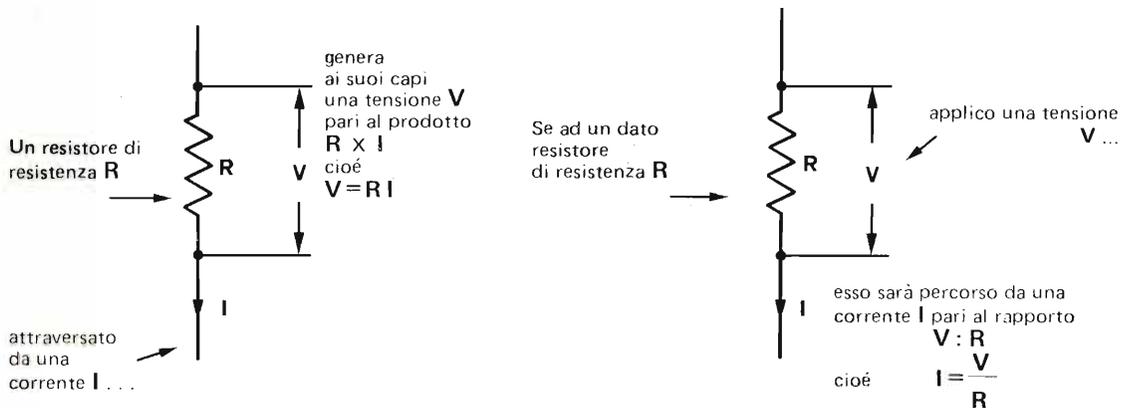
$\frac{\text{il valore di qualsiasi tensione applicata al resistore}}{\text{diviso}} \frac{\text{il valore della corrispondente corrente}}$

6) Questi dati si compendiano in una relazione che costituisce la

legge di ohm  $V = I R$

tensione applicata al resistore  $\uparrow$   $\uparrow$  resistenza del resistore  
 corrente che attraversa il resistore

(B) Altri aspetti del medesimo fenomeno:



**ATTENZIONE!** — Si usino sempre le stesse unità di misura, se si vuole calcolare correttamente le grandezze

(\*) In questo caso i concetti di impedenza e resistenza si identificano. Normalmente si usa solo il termine di "resistenza" quando si ha a che fare con correnti e tensioni costanti. Il termine resistenza differisce da impedenza con correnti e tensioni variabili. Altrove vedremo il perché.

Sezione	: 1	Grandezze fondamentali
Capitolo	: 10	Nozioni preliminari
Paragrafo	: 10.2	Parametri principali
Argomento	: 10.21	La legge di Ohm.

**ESEMPI DI CALCOLO SULLA LEGGE DI OHM PER LE RESISTENZE**

Riassumiamo qui, in attesa di parlarne più avanti in particolare, che

la tensione (V) si misura in volt (V)

la corrente (I) si misura in ampere (A)

la resistenza (R) si misura in ohm ( $\Omega$ )

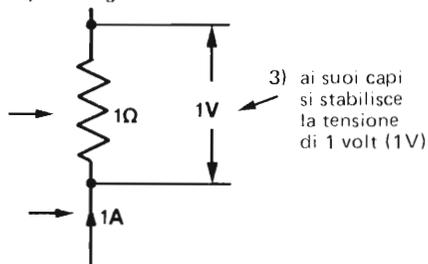
A) La relazione unitaria, cioè riferita alle unità di misura, per la legge di ohm, è la seguente:

**1 volt = 1 ampere X 1 ohm**

ciò significa che:

1) quando un resistore R del valore di 1 ohm ( $1\Omega$ )

2) è attraversato dalla corrente I del valore di 1 ampere (1A)

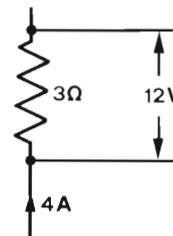


B) Se lo stesso resistore di  $1\Omega$  è attraversato dalla corrente di 2A la tensione che si stabilirà ai suoi capi sarà di 2V perché:

**2 ampere X 1 ohm = 2 volt**

C) Se il resistore ha una resistenza di  $3\Omega$  ed è attraversato da una corrente di 4A, la tensione che si stabilirà ai suoi capi sarà di 12V perché:

**4 ampere X 3 ohm = 12 volt**



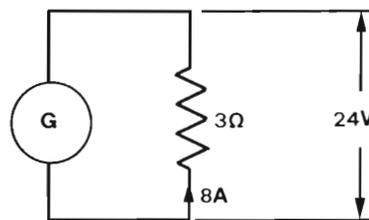
D) Si possono stabilire 12 volt con infinite combinazioni, ad esempio:

- |                                      |   |  |
|--------------------------------------|---|--|
| <b>12 <math>\Omega</math> con 1A</b> | <b>1 <math>\Omega</math> con 12A</b>    | <b>1000 <math>\Omega</math> con 12 mA</b>  |
| <b>4 <math>\Omega</math> con 3A</b>  | <b>0,5 <math>\Omega</math> con 24A</b>  | <b>5000 <math>\Omega</math> con 2,4 mA</b> |
| <b>2 <math>\Omega</math> con 6A</b>  | <b>0,1 <math>\Omega</math> con 120A</b> | <b>ecc.</b>                                |

E) Inversamente, se abbiamo a disposizione 24V e vogliamo creare una corrente di 8A dobbiamo collegare col generatore un resistore che abbia la resistenza di  $3\Omega$  perché:

$$\frac{24 \text{ volt}}{8 \text{ ampere}} = 3 \text{ ohm}$$

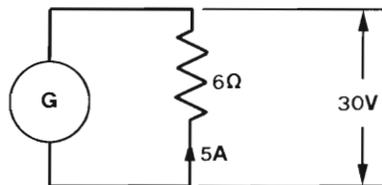
Infatti **8 ampere X 3 ohm = 24 volt**



F) Infine, se abbiamo a disposizione una tensione di 30V applicata ad una resistenza di 6 ohm, si produrrà una corrente di 5 ampere, perché:

$$\frac{30 \text{ volt}}{6 \text{ ohm}} = 5 \text{ ampere}$$

Infatti **6 ohm X 5 ampere = 30 volt**



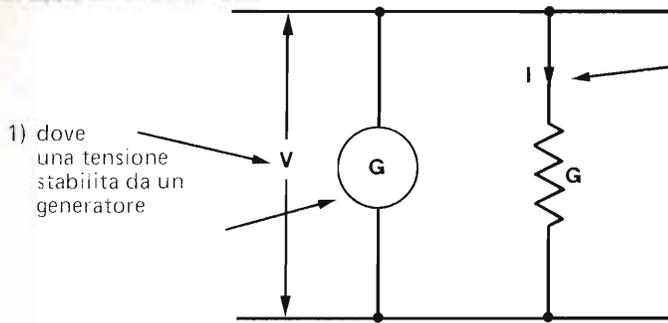
G) Conclusione e attenzione: non sembri paradossale, ma in fondo tutta l'elettrotecnica e tutta la elettronica si fondano principalmente su questa semplice legge!

Sezione : 1 Grandezze fondamentali  
Capitolo : 10 Nozioni preliminari  
Paragrafo : 10.2 Parametri principali  
Argomento : 10.21 La legge di Ohm

**LEGGE DI OHM PER LE CONDUTTANZE**

**Avvertenza** - Per mettere in evidenza le analogie si confronti questa pagina con la pagina 1

A) Si abbia un circuito fatto così:



- 2) crea una corrente I
- 3) attraverso il conduttore G.
- 4) Appurato che:  
- all'aumentare della tensione la corrente aumenta proporzionalmente e viceversa.

5) Si definisce la caratteristica del conduttore e si chiama

**CONDUTTANZA O AMMETTENZA (\*)**

**N.B.** In un elemento ideale questo rapporto è costante per qualsiasi corrente che l'attraversi.

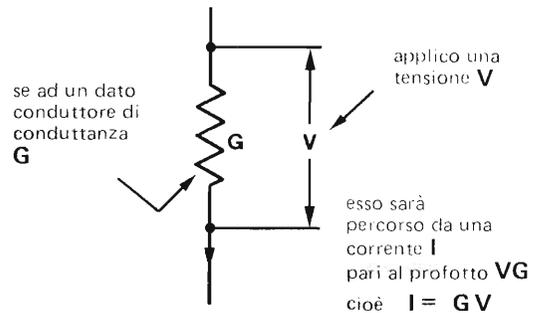
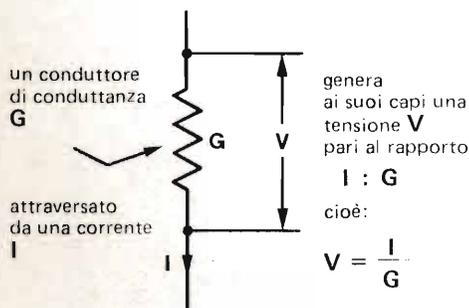
il rapporto  $G = \frac{i}{V}$  cioè  $\frac{\text{il valore di qualsiasi corrente che attraversa il conduttore}}{\text{il valore della corrispondente tensione applicata}}$

6) Questi dati si compendiano in una relazione che costituisce la

**Legge di Ohm per le conduttanze**

$I = V G$   
 corrente che attraversa il conduttore      produttanza del conduttore  
 tensione applicata al conduttore

B) Altri aspetti del medesimo fenomeno



**Attenzione** - Si usino sempre le stesse unità di misura se si vuole calcolare correttamente le grandezze.

(\*) N.B. - In questo caso i concetti di ammettenza e conduttanza si identificano

Normalmente si usa solo il termine di conduttanza quando si ha a che fare con correnti continue e tensioni costanti.

Il termine conduttanza differisce da ammettenza quando si ha a che fare con correnti e tensioni variabili

Altrove vedremo i motivi

**ESEMP. DI CALCOLO SULLA LEGGE DI OHM PER LE CONDUTTANZE**

Riassumiamo qui, in attesa di parlarne più avanti in particolare, che:

- la tensione (V) si misura in volt. (V)
- la corrente (i) si misura in ampere (A)
- la conduttanza (G) si misura in siemens (S)

**Importante:** la conduttanza è l'inverso della resistenza e la resistenza è l'inverso della conduttanza.

Infatti: essendo  $G = \frac{I}{V}$  ed essendo (vedi pag. 1)  $R = \frac{V}{I}$

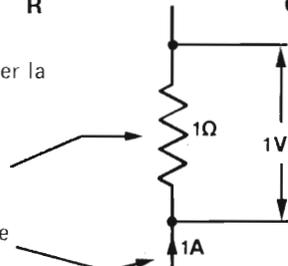
sostituendo un valore comune si ha  $G = \frac{1}{R}$  e anche  $R = \frac{1}{G}$

A) La relazione unitaria cioè riferita alle unità di misura per la legge di Ohm è la seguente:

**1 ampere = 1 volt X 1 siemens**

ciò significa che:

- 1) quando un conduttore G del valore di 1 siemens (1S)
- 2) è attraversato da una corrente I del valore di 1 ampere (1A)



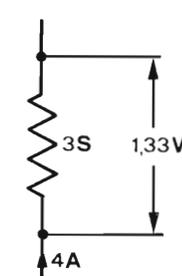
- 3) ai suoi capi si stabilisce la tensione di 1 volt (1V)

B) Se lo stesso conduttore di 1S è attraversato dalla corrente di 2A la tensione che si stabilirà ai suoi capi sarà di 2V perchè:

**2 ampere : 1 siemens = 2V**

C) Se il conduttore ha una conduttanza di 3S ed è attraversato da una corrente di 4A la tensione che si stabilirà ai suoi capi sarà di 1,33V perchè:

**4 ampere : 3 siemens = 1,33V**



D) Si possono stabilire 1,33V con infinite combinazioni ad esempio:

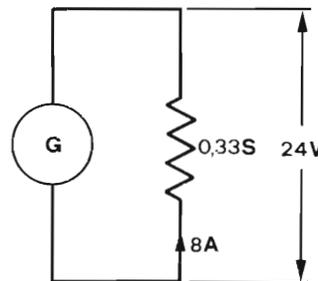
- 6S con 8A      1S con 1,33A      6 mS con 8mA
- 12S con 16A      0,5S con 0,66A      ecc.

E) Inversamente se abbiamo a disposizione 24V e vogliamo creare una corrente di 8A dobbiamo collegare con il generatore un conduttore che abbia la conduttanza di 0,33S perchè:

$\frac{8 \text{ ampere}}{24 \text{ volt}} = 0,33 \text{ siemens}$

Infatti:

**0,33 siemens x 24 volt = 8 ampere**



**IMPORTANTE**

Si può notare dal corrispondente esercizio del foglio 10.21-2 che si tratta non solo degli stessi valori di tensione e di corrente, ma anche dello stesso resistore che

in quel caso è espresso come:  
e in questo caso è espresso come:

**resistenza di 3Ω**  
**conduttanza di 0.33S**

Infatti:  $3\Omega = \frac{1}{0,33} \text{ S} = 0,33\text{S}$

Sezione	:	1	Grandezze fondamentali
Capitolo	:	10	Nozioni preiiminari
Paragrafo	:	10.3	Fenomeni alternati sinusoidali
Argomento	:	10.30	Indice dei paragrafo

Codice	Pagina
10.30	1

## Paragrafo 10.3

# FENOMENI ALTERNATI SINOIDALI

### Indice degli argomenti e delle pagine

- arg. 10.31 — **Concetti fondamentali - Vettori**  
pag. 1 — Rappresentazione geometrica di grandezze alternate sinusoidali  
" 2 — Vettore ampiezza fase
- arg. 10.32 — **Operazioni sui vettori**  
pag. 1 — Composizione vettoriale e cartesiana dei vettori  
" 2 — Un modo più comodo per comporre i vettori



Sezione : 1 Grandezze fondamentali  
 Capitolo : 10 Nozioni preliminari  
 Paragrafo : 10.3 Fenomeni alternati sinusoidali  
 Argomento : 10.31 Concetti fondamentali - Vettori

RAPPRESENTAZIONE GEOMETRICA DI GRANDEZZE ALTERNATE SINOIDALI

Fenomeni alternati sinusoidali sono principalmente quelli connessi alle:

- proiezioni di movimenti circolari
- oscillazioni libere di corpi elastici (molle, corde, ecc.)
- oscillazioni di masse gravitazionali vincolate (pendoli)
- oscillazioni libere di scambio di energia elettrica cinetica e potenziale (circuiti oscillanti)

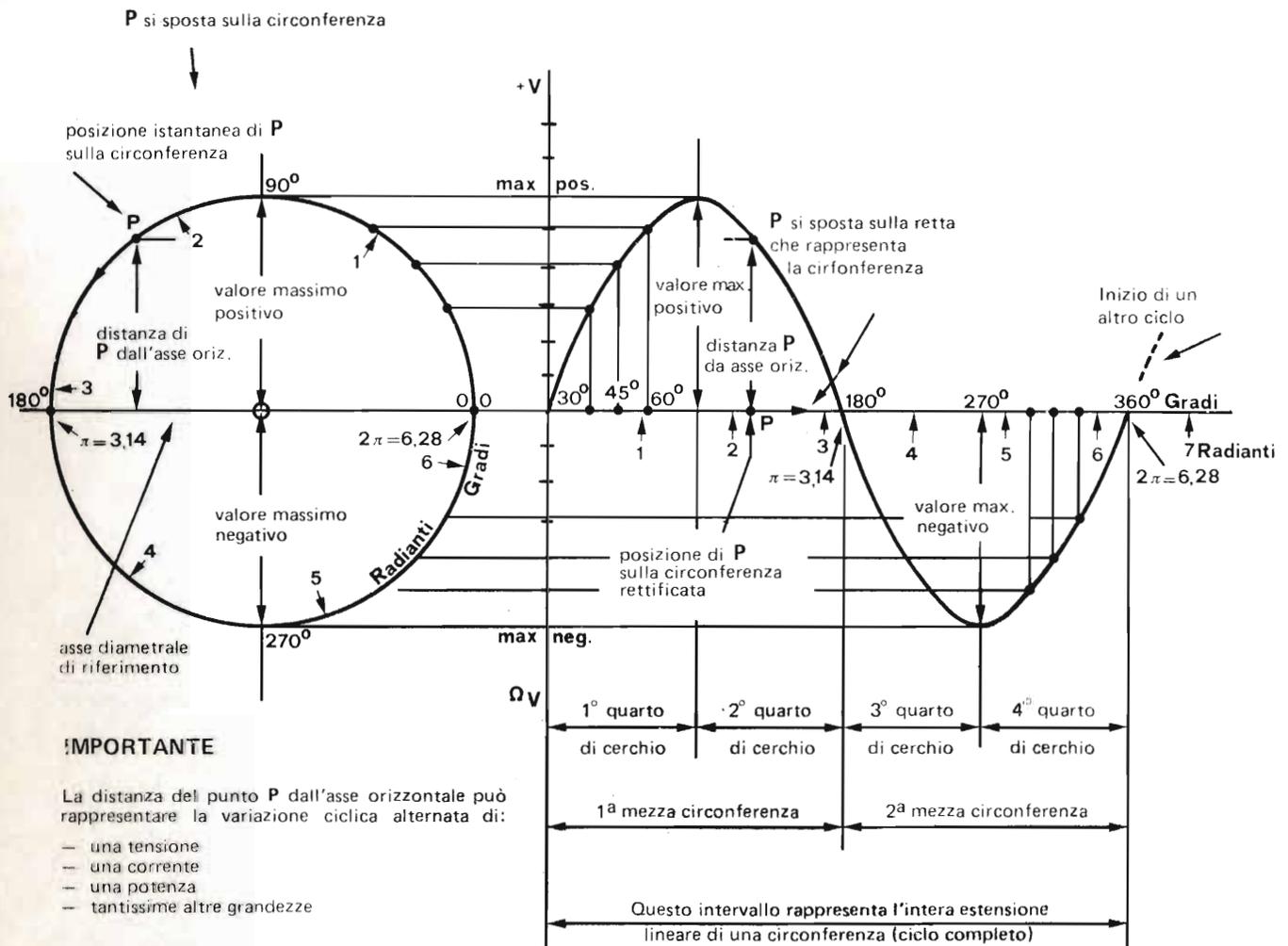
RAPPRESENTAZIONE POLARE

I valori assunti da grandezze relative ai fenomeni alternati sinusoidali possono essere rappresentati dalla sequenza di distanze che un punto viaggiante su una circonferenza assume rispetto ad un asse diametrale preso come riferimento.

RAPPRESENTAZIONE CARTESIANA

Lo stesso fenomeno può essere rappresentato su assi cartesiani.

Come si vede, i due valori massimi (positivo e negativo) coincidono con il raggio della circonferenza generatrice e non possono essere superati.



IMPORTANTE

La distanza del punto P dall'asse orizzontale può rappresentare la variazione ciclica alternata di:

- una tensione
- una corrente
- una potenza
- tantissime altre grandezze

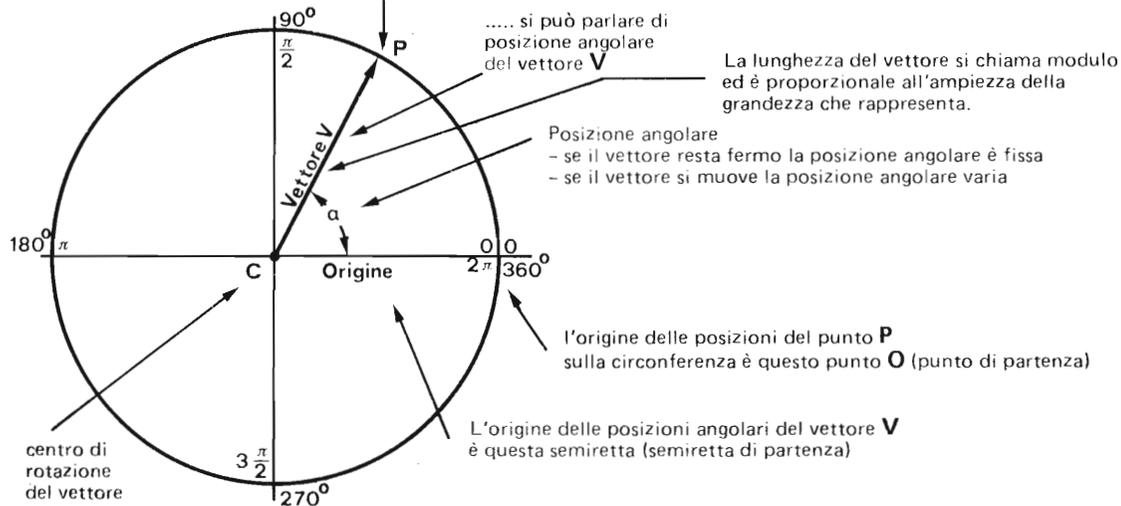
In questa rappresentazione grafica il fenomeno non dipende dal tempo, ma solo dalle posizioni riferite al ciclo.

Qui infatti non si parla nè di periodo nè di frequenza.

**ETTORE AMPIEZZA FASE**

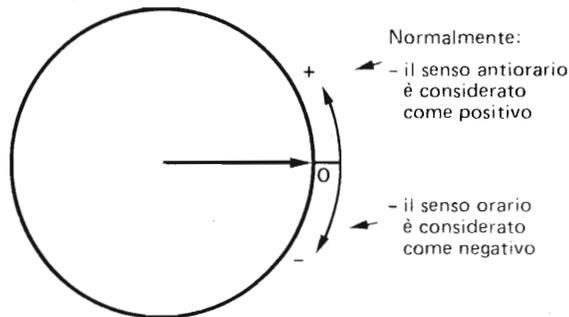
Il punto che ruota sulla circonferenza di cui la pag. 1, assume ulteriori significati.

Cioè, invece di parlare della posizione del punto P sulla circonferenza .....

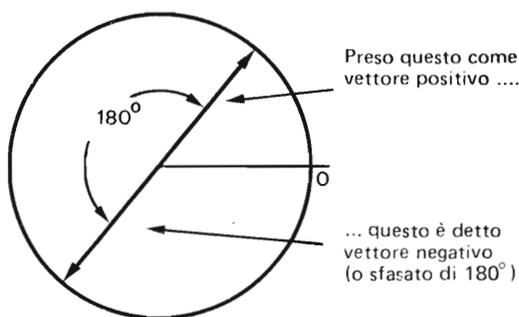


Il vettore è caratterizzato da un'ampiezza rappresentata dalla lunghezza del raggio le cui estremità sono contrassegnate:  
 da una freccia per la parte rotante  
 da un punto per la parte solidale al centro

**SENSI DI ROTAZIONE**

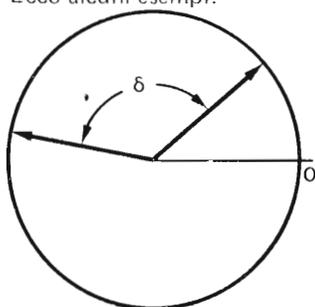


**DIREZIONI**

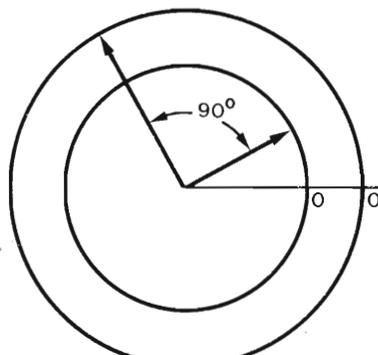


**VEVITORI SFASATI**

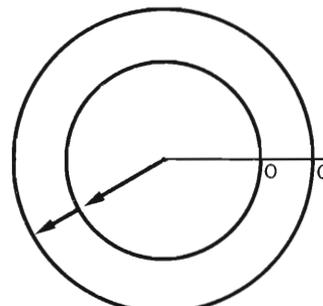
Più vettori possono ruotare mantenendosi equidistanti fra loro. Si dice in questo caso che essi ruotano sfasati. Ecco alcuni esempi:



Due vettori di uguale ampiezza sfasati dell'angolo  $\varphi$



Due vettori di differente ampiezza sfasati di 90° ( $\varphi = 90^\circ$ )



Due vettori di differente ampiezza ruotanti in fase (sfasamento uguale a zero) ( $\varphi = 0$ )

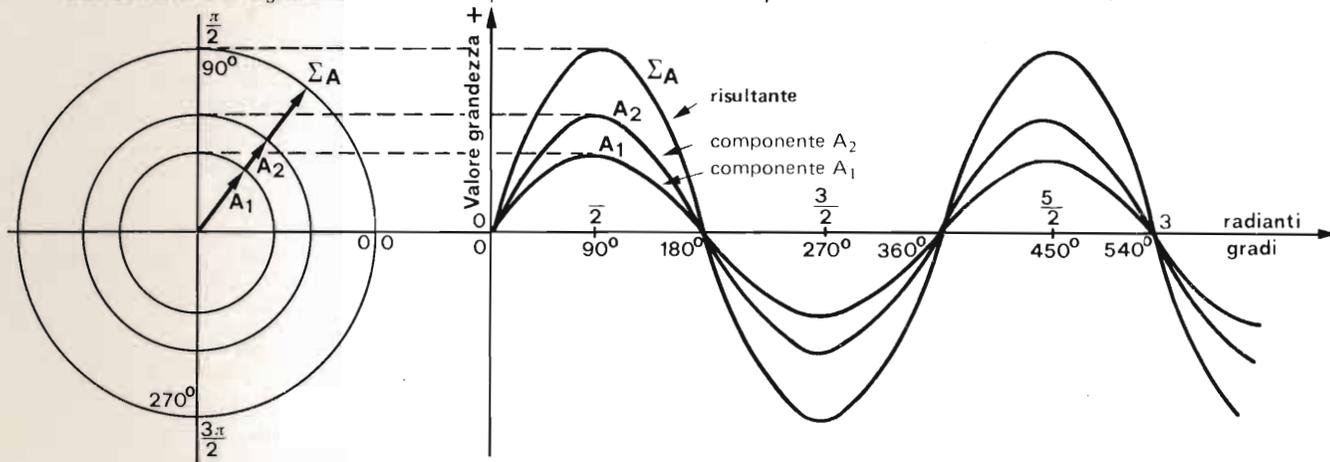
Sezione : 1 Grandezze fondamentali  
 Capitolo : 10 Nozioni preliminari  
 Paragrafo : 10.3 Fenomeni alternati sinusoidali  
 Argomento : 10.32 Operazioni sui vettori

Codice Pagina  
 10.32 1

**COMPOSIZIONE VETTORIALE E CARTESIANA DI GRANDEZZE ALTERNATE**

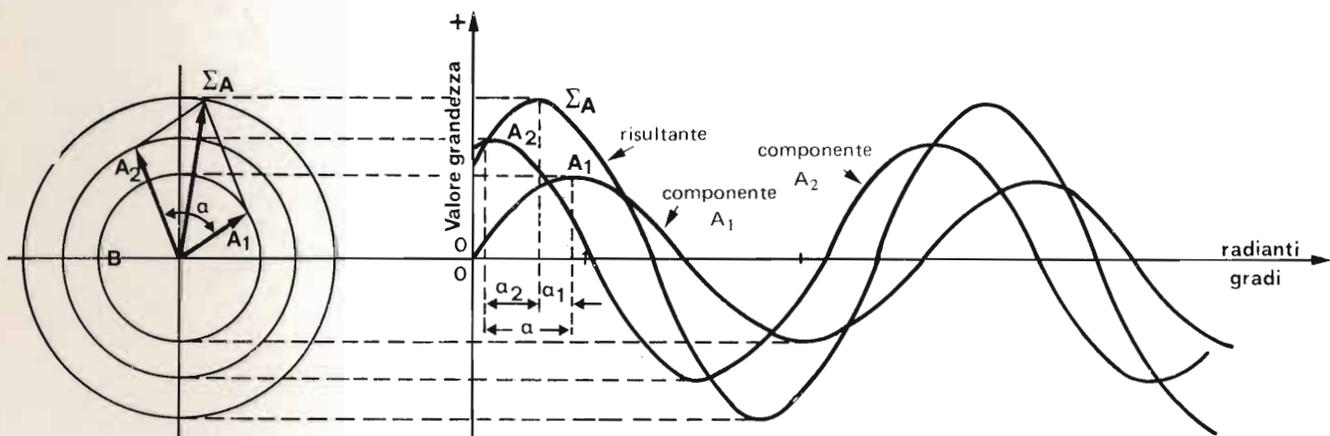
**A) DUE GRANDEZZE RUOTANTI IN FASE**

La risultante è una grandezza di modulo pari alla somma delle componenti ed è in fase con le stesse.



**B) DUE GRANDEZZE RUOTANTI SFASATE SOLIDALMENTE IN UN ANGOLO  $\alpha$**

La risultante è una grandezza che si compone vettorialmente come modulo e fase secondo la regola del parallelogrammo.

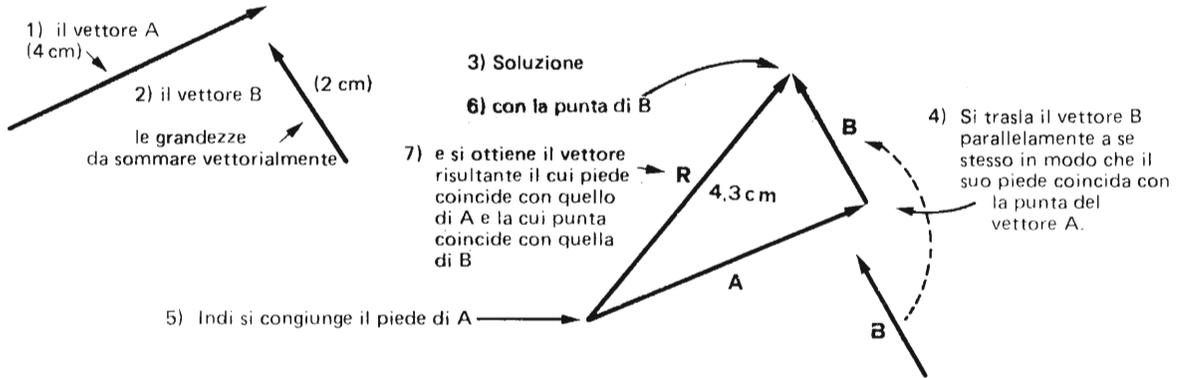


**C) COMPOSIZIONE VETTORIALE DI DUE GRANDEZZE SFASATE (Regola del parallelogrammo)**

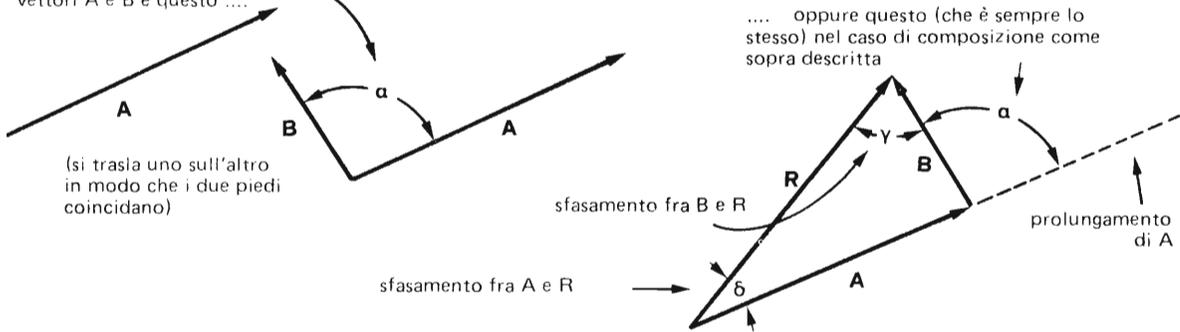
- 
- 1) Si abbia una grandezza  $A_1$  e la si voglia sommare ad
  - 2) ... una grandezza  $A_2$
  - 3) ... da cui è sfasata di un angolo  $\alpha$
  - 4) Soluzione Da questo punto
  - 5) ... si traccia la parallela
  - 6) ... a questo segmento
  - 7) ... e da questo punto
  - 8) ... si traccia la parallela
  - 9) ... a questo segmento e si compone un parallelogrammo
  - 10) Dall'origine comune ai due vettori
  - 11) ... si traccia la diagonale del parallelogrammo La sua lunghezza corrisponde al modulo della grandezza risultante
  - 12) ... e la sua origine sarà in comune con quella delle componenti
  - 13) La risultante sarà sfasata rispetto alle componenti di questi due angoli rispettivi  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$

**UN MODO PIU' COMODO PER COMPORRE I VETTORI**

**A) DUE GRANDEZZE**

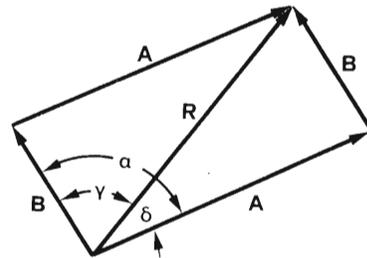


L'Angolo di sfasamento fra i due vettori A e B è questo ....



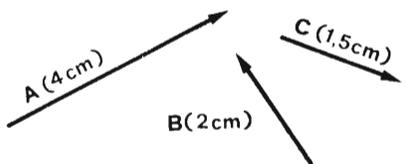
Rivediamoli tutti insieme ... con i piedi uniti!

per dimostrare che questo nuovo modo di operare è altrettanto rigoroso quanto quello tradizionale del parallelogrammo.

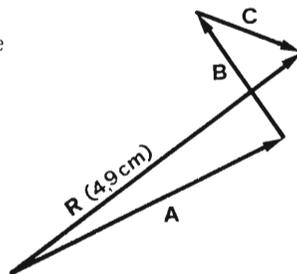


**B) TRE GRANDEZZE**

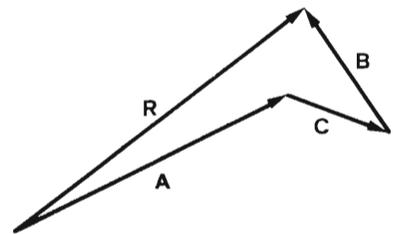
Allo stesso modo siano date tre grandezze A, B, C, da sommare vettorialmente



Si effettua la traslazione mantenendo ogni vettore parallelo a se stesso



La composizione avviene con la stessa tecnica La direzione della risultante è fra il piede del primo vettore e la punta dell'ultimo



Proprietà commutativa il risultato non cambia modificando la sequenza dei componenti

**C) N.B.;**

Con la composizione grafica effettuata accuratamente, usando una buona riga millimetrata e un buon goniometro, si possono effettuare calcoli grafici più rapidamente e con la stessa precisione che si ottiene effettuando calcoli complicati con un regolo calcolatore.

Sezione	:	1	Grandezze fondamentali
Capitolo	:	10	Nozioni preliminari
Paragrafo	:	10.4	Oscillazioni
Argomento	:	10.40	Indice del paragrafo

Codice	Pagina
10.40	1

## Paragrafo 10.4

# OSCILLAZIONI

### Indice degli argomenti e delle pagine

arg. 10.41 — **Rappresentazione fondamentale delle oscillazioni sinusoidali**

- pag. 1 -- Frequenza e periodo  
Relazioni fra frequenza e periodo  
Unità di misura
- " 2 — Pulsazioni  
Frequenza e pulsazione  
Periodo e pulsazione  
Arco (angolo) percorso dopo un determinato tempo

arg. 10.42 — **Oscillazioni non sinusoidali**

- pag. 1 — Oscillazioni dovute a moto non uniforme sulla circonferenza
- " 2 — Grandezze aperiodiche — Valore medio

arg. 10.43 — **Forme d'onda**

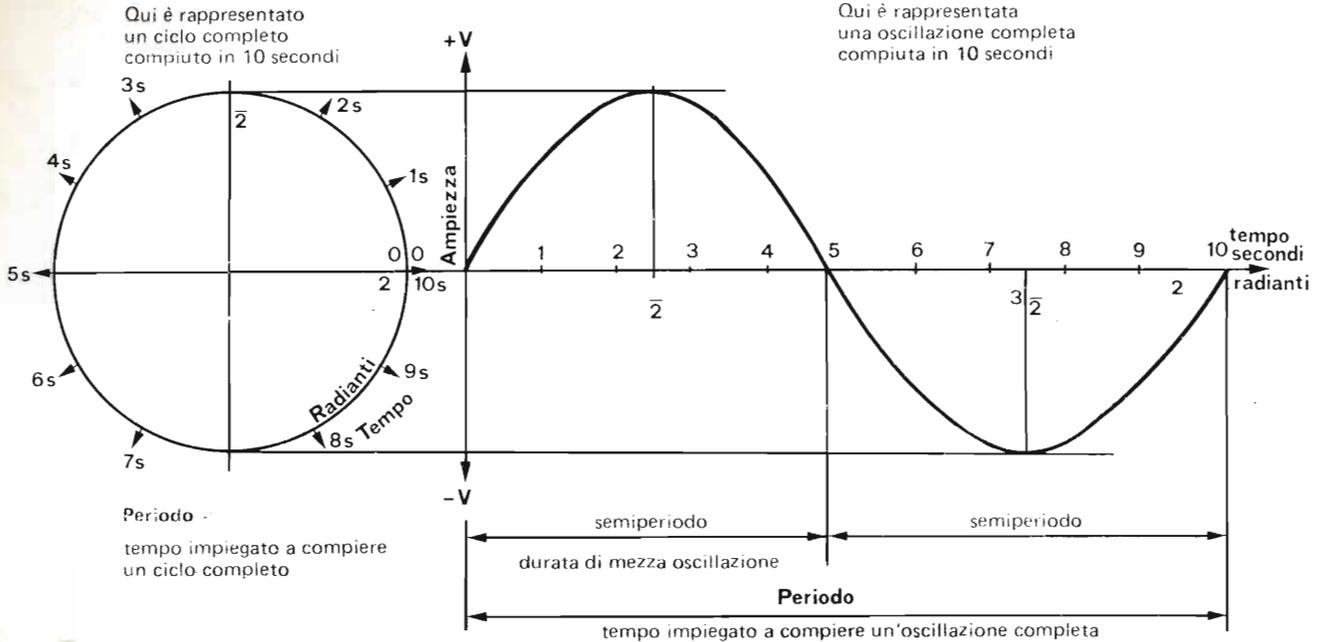
- pag. 1 — Forma a gradino
- " 2 — Forma rettangolare
- " 3 — Forma ad impulso
- " 4 — Forma triangolare
- " 5 — Forma sinusoidale (sinusoidale)
- " 6 — Composizione di grandezze non sinusoidali aventi lo stesso periodo
- " 7 — Composizione di grandezze sinusoidali di frequenza e ampiezze diverse
- " 8 — Composizione di grandezze non sinusoidali qualsiasi



**FREQUENZA E PERIODO**

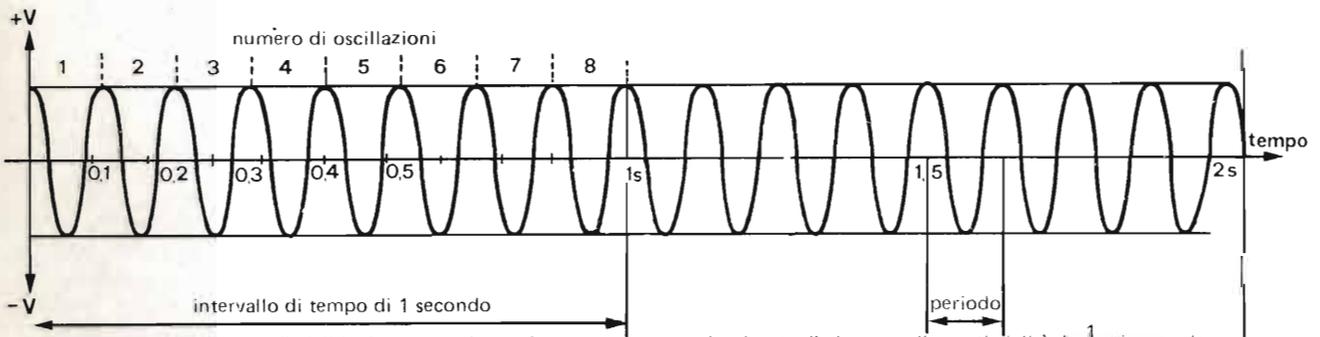
Quando la rotazione del punto P sulla circonferenza o la rotazione angolare del vettore V si compiono in un determinato tempo subentrano i concetti di periodo e frequenza.

(v: 10.31-1)  
 (v: 10.31-2)



Quando cicli completi od oscillazioni complete si ripetono regolarmente nel tempo, si chiama **frequenza** il numero di cicli o di oscillazioni che si compiono in un sec.

Esempio



In questo caso si contano 8 cicli in 1 sec. perciò si definisce una frequenza di 8 cicli al secondo o anche 8 hertz

La durata di ciascuno di questi cicli è di  $\frac{1}{8}$  di secondo perciò si dice che queste oscillazioni hanno un periodo di  $\frac{1}{8}$  sec. o 0.125 sec.

**RELAZIONI TRA FREQUENZA E PERIODO**

**Frequenza**  $f = \frac{1}{T}$  cicli al secondo o hertz (Hz)

**Periodo**  $T = \frac{1}{f}$  secondi

**UNITA' DI MISURA**

Per la **frequenza** ( simbolo f ) è: **hertz** ( simbolo Hz ) - frequenza in hertz =  $\frac{\text{numero di cicli compiuti}}{\text{il tempo (in secondi) impiegato a compierli}}$

Per il **periodo** ( simbolo T ) è il minuto **secondo** ( simbolo sec. ): infatti si tratta del tempo impiegato a compiere un ciclo;

Sezione	: 1	Grandezze fondamentali
Capitolo	: 10	Nozioni preliminari
Paragrafo	: 10.4	Oscillazioni
Argomento	: 10.41	Rappresentazione fondamentale delle oscillazioni sinusoidali

**PULSAZIONE**

In elettrotecnica spesso è importante tener conto non del numero dei cicli alternativi che si compiono in un secondo, ma del **numero di radianti** che si percorrono in un secondo.

Questa grandezza si chiama **pulsazione** (simbolo  $\omega$ ) e si misura in radianti al secondo (rad/sec.).

**FREQUENZA E PULSAZIONE**

Poiché in un ciclo ci sono  $2\pi$  radianti (6,28 radianti) ed essendo la frequenza espressa in cicli/sec., la relazione che lega la frequenza alla pulsazione sarà la seguente:

**pulsazione** (in rad/sec.)  $\longrightarrow \omega = 2\pi f$   $\longleftarrow$  **frequenza** (in cicli/sec. o Hz)  
 radianti in un ciclo (= 6,28)

e viceversa  $f = \frac{\omega}{2\pi}$

**PERIODO E PULSAZIONE**

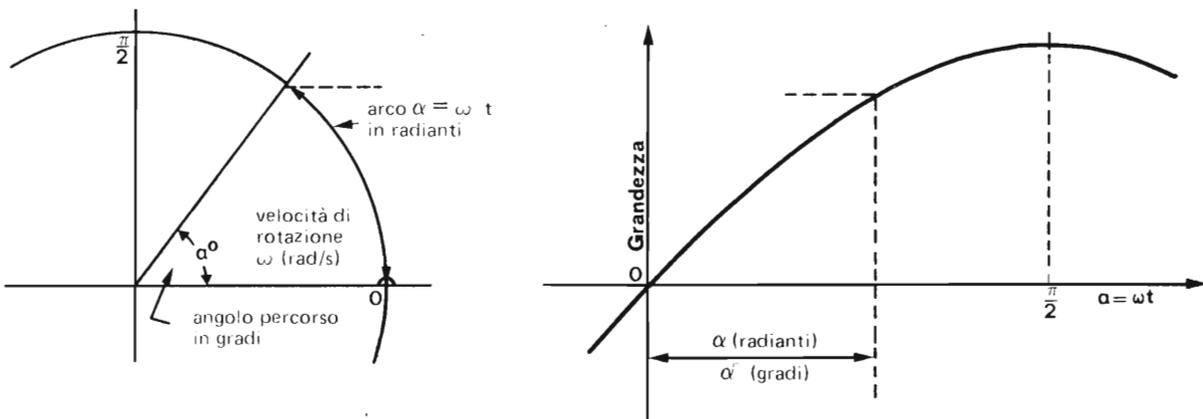
Poiché la frequenza  $f = \frac{1}{T}$  è l'inverso del periodo di tempo (in sec.) che occorre per compiere una oscillazione, la relazione che lega il periodo alla pulsazione sarà la seguente:

**pulsazione** (in rad/sec.)  $\longrightarrow \omega = \frac{2\pi}{T}$   $\longleftarrow$  radianti in un ciclo (= 6.28)  
 periodo (in sec.) di un ciclo

e viceversa  $T = \frac{2\pi}{\omega}$

**ARCO (ANGOLO) PERCORSO DOPO UN DETERMINATO TEMPO**

Quando si vuole tener conto della situazione istantanea dei valori che una determinata grandezza oscillante assume dopo un certo tempo  $t$ , basterà moltiplicare la pulsazione  $\omega$  (che è una velocità di rotazione in rad/s) per il tempo  $t$  intercorso dall'inizio del fenomeno e avremo calcolato l'arco  $\alpha$  (in radianti) percorso in questo intervallo di tempo.



**ARCO (IN RADIANTI) E ANGOLO (IN GRADI)**

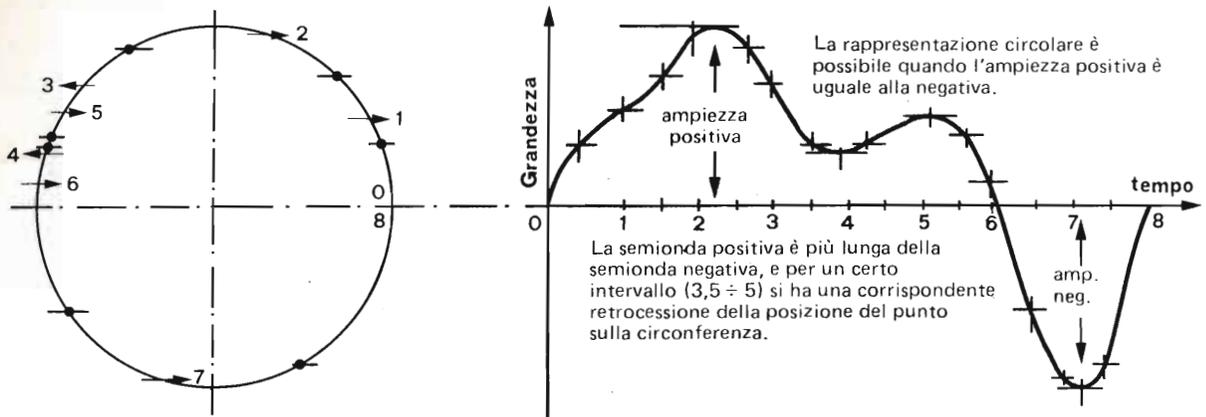
Data la proporzionalità fra queste due grandezze  $1 \text{ rad} = \frac{360^\circ}{2\pi}$

si ha  $\alpha^\circ = \alpha^{\text{rad}} \frac{360^\circ}{2\pi}$  e  $\alpha^{\text{rad}} = \alpha^\circ \frac{2\pi}{360}$

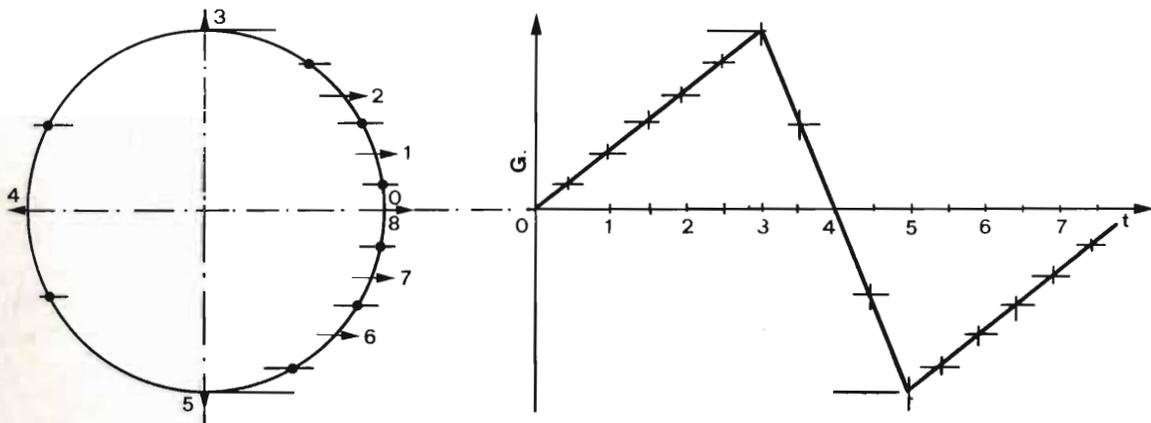
OSCILLAZIONI DOVUTE A MOTO NON UNIFORME SULLA CIRCONFERENZA

A) Abbiamo visto al 10.40-1 il ciclo rappresentato dal movimento uniforme di un punto sulla circonferenza e la sua rappresentazione grafica.

Qui sotto vediamo invece la rappresentazione grafica di un punto che si muove con velocità irregolare sulla circonferenza sopra la quale sono stati segnati anche i tempi di passaggio.



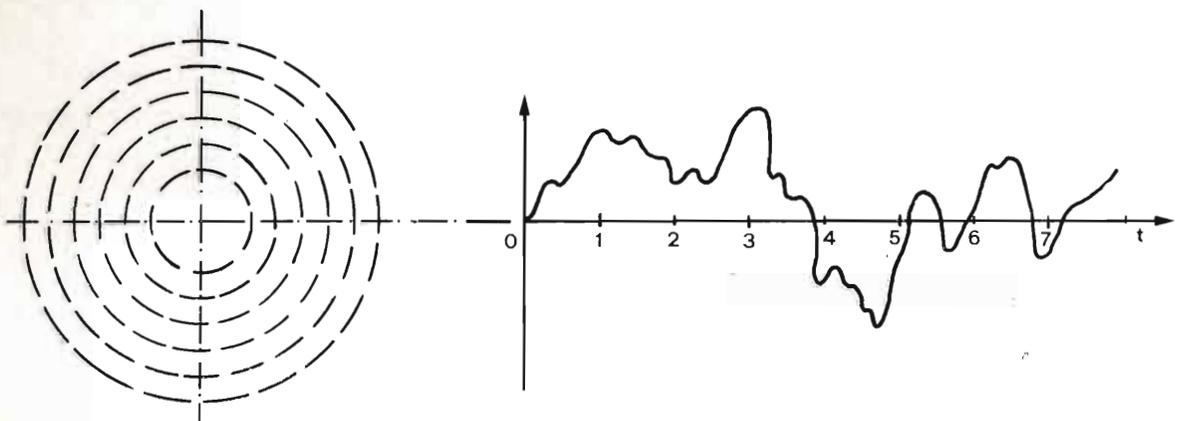
B) Un'altra forma grafica e relativa disposizione dei tempi di passaggio.



Ad incremento lineare della grandezza non corrisponde incremento lineare della posizione del punto sulla circonferenza.

C) Il caso più generale prevede che non solo la velocità, ma anche l'ampiezza vari col tempo.

La sua rappresentazione circolare o cartesiana è alquanto laboriosa e di nessuna utilità pratica. Vedremo altre tecniche di rappresentazione.



**GRANDEZZE APERIODICHE - VALORE MEDIO**

Una grandezza alternata, rappresentata in diagramma cartesiano temporale, può:

- non avere forma geometrica o trigonometrica definita
- non ripetersi ciclicamente

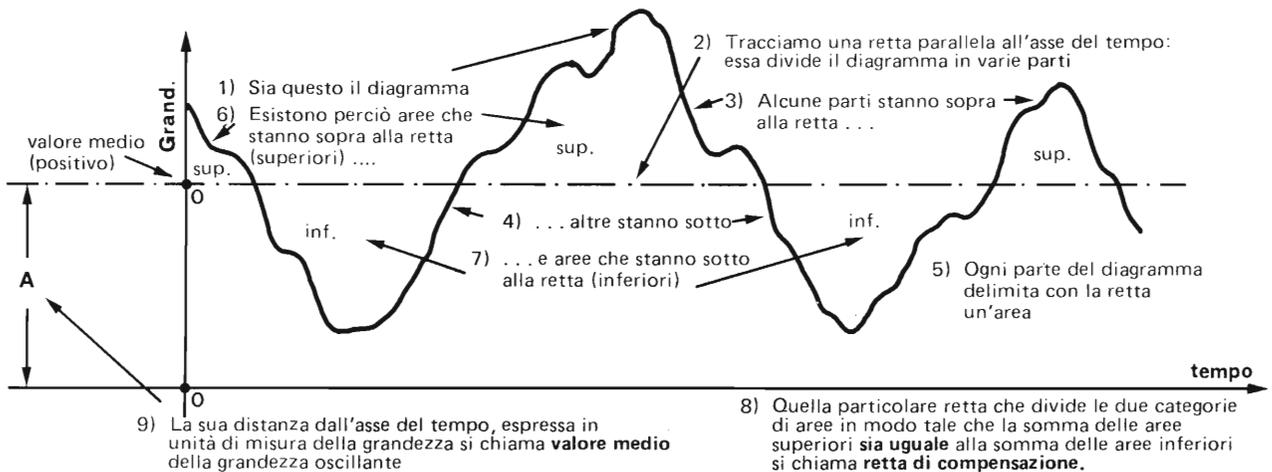
In questo caso si dice che la grandezza è **aperiodica**.

Essa può variare attorno ad un valore fisso che si chiama **valore medio**.

Esempio. La tensione prodotta da:

- un microfono sollecitato da suoni di un'orchestra o dalla voce, oppure da
- un rivelatore fonografico sollecitato dal movimento del solco di un disco ecc. ha un andamento capriccioso attorno ad un valore medio qualsiasi che dipende dalle caratteristiche del dispositivo e che può essere anche uguale a zero.

Avendo a disposizione un diagramma qualsiasi, si può sempre determinare graficamente il valore medio con sufficiente approssimazione. Infatti:

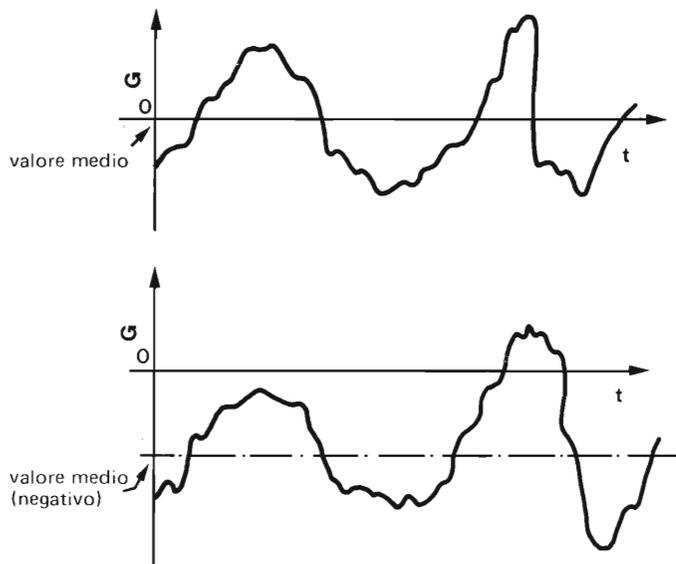


Ovviamente la precisione con la quale si determina il valore medio è tanto maggiore quanto maggior quantità di aree o di alternanze si prendono in considerazione.

Ci sono semplici circuiti mediante i quali è possibile determinare e sfruttare il valore medio di una grandezza. Veda il lettore la sezione appropriata della trattazione.

Se il valore medio è uguale a zero la grandezza si dice semplicemente **alternata**.

Se il valore medio è diverso da zero la grandezza si dice **alternata unidirezionale** oppure **alternata polarizzata** positiva o negativa a seconda del segno del valore medio.

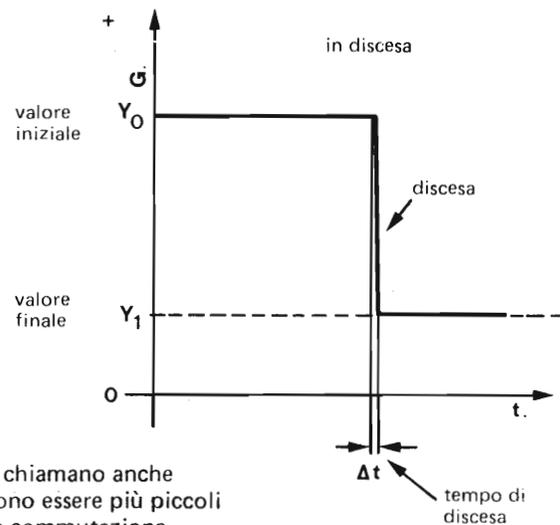
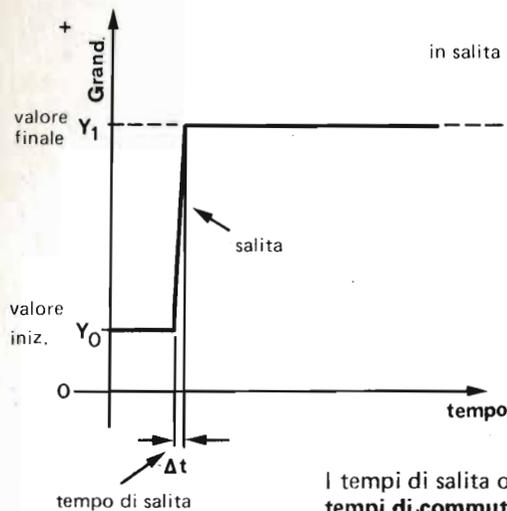


### FORMA D'ONDA A GRADINO

Si ha quando da un valore si passa istantaneamente (o quasi) ad un altro valore.

Si ricorda che anche gli elettroni hanno una inerzia (induttanza del circuito) per cui è impensabile una reale istantaneità del fenomeno.

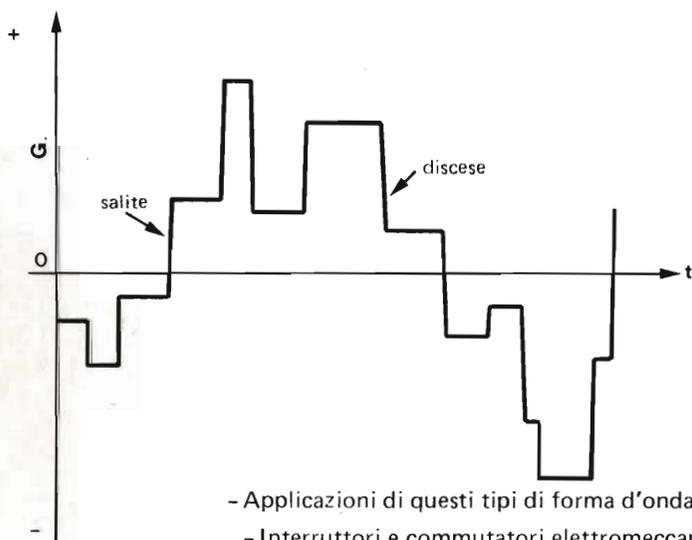
Esempio A – Gradino singolo (per valori positivi)



I tempi di salita o di discesa si chiamano anche **tempi di commutazione** e devono essere più piccoli possibile se si vuole una rapida commutazione.

Nei calcolatori i tempi di commutazione sono dell'ordine di nanosecondi (ns) cioè  $10^{-9}$  secondi o milionesimi di secondo.

Esempio B – A gradini successivi (e per valori positivi e negativi)



- Applicazioni di questi tipi di forma d'onda si trovano in:

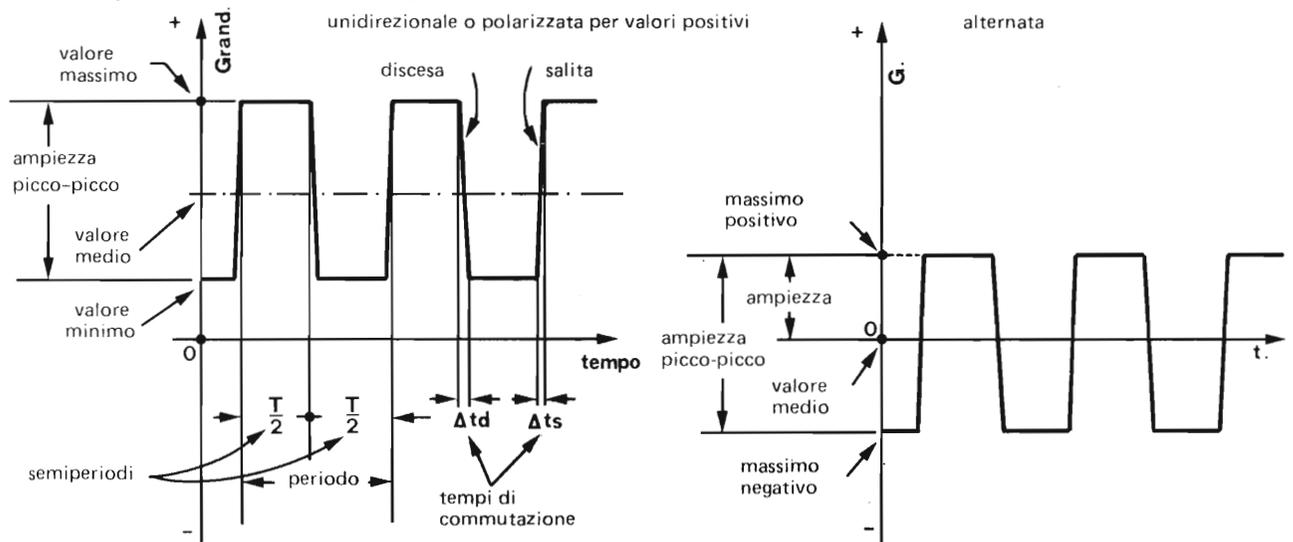
- Interruttori e commutatori elettromeccanici
- Telecomunicazioni codificate
- Telecomandi
- Televisione
- Calcolatori digitali o logici

**FORMA D'ONDA RETTANGOLARE**

E' l'estensione periodica della forma d'onda a gradino (vedi pag. 1) ed è caratterizzata dalla costanza della ampiezza e del valore medio.

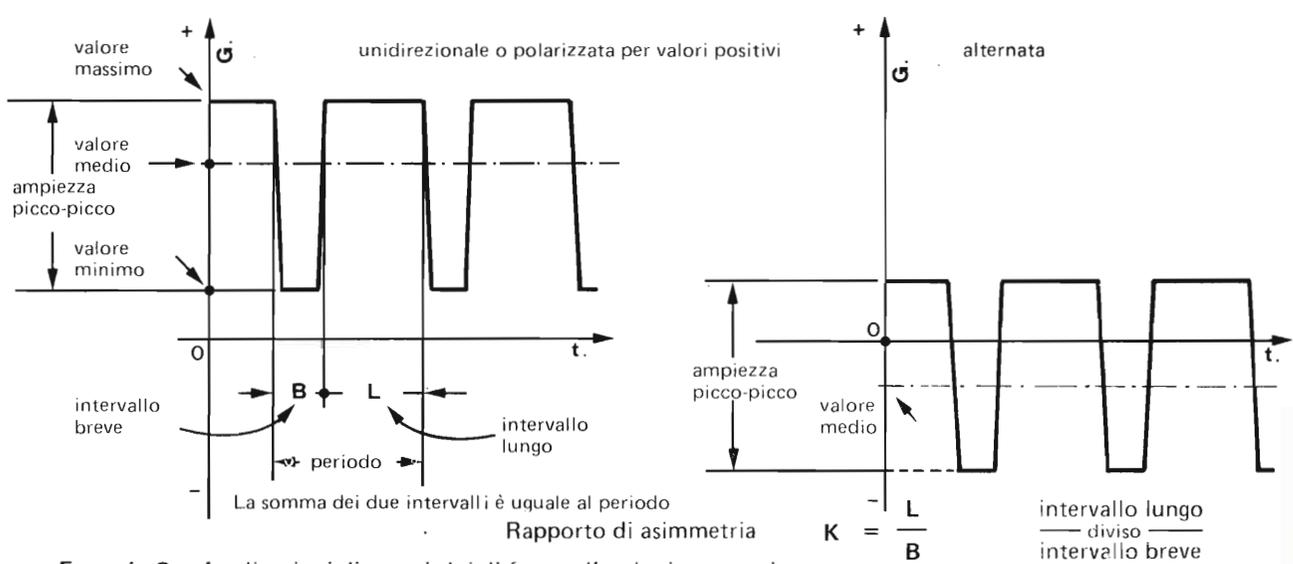
A causa dell'impossibilità di ottenere commutazioni istantanee (tempi di valore nullo), in realtà queste forme d'onda risultano trapezoidali.

**Esempio A - Simmetrica (Quadra)**



Nelle tecniche di commutazione ad alta velocità i tempi di commutazione sono dell'ordine di nanosecondi (ns) cioè  $10^{-9}$  secondi (miliardesimi di secondo)

**Esempio B - Asimmetrica** (attenzione alla retta "valore medio": essa non è sulla mezzaria del "picco-picco").



**Esempio C - Applicazioni** di questi tipi di forma d'onda si trovano in:

- Calcolatori digitali o logici
- Analizzatori di risposta in frequenza degli amplificatori
- Multivibratori.

Sezione : 1 Grandezze fondamentali  
Capitolo : 10 Nozioni preliminari  
Paragrafo : 10.4 Oscillazioni  
Argomento : 10.43 Forme d'onda

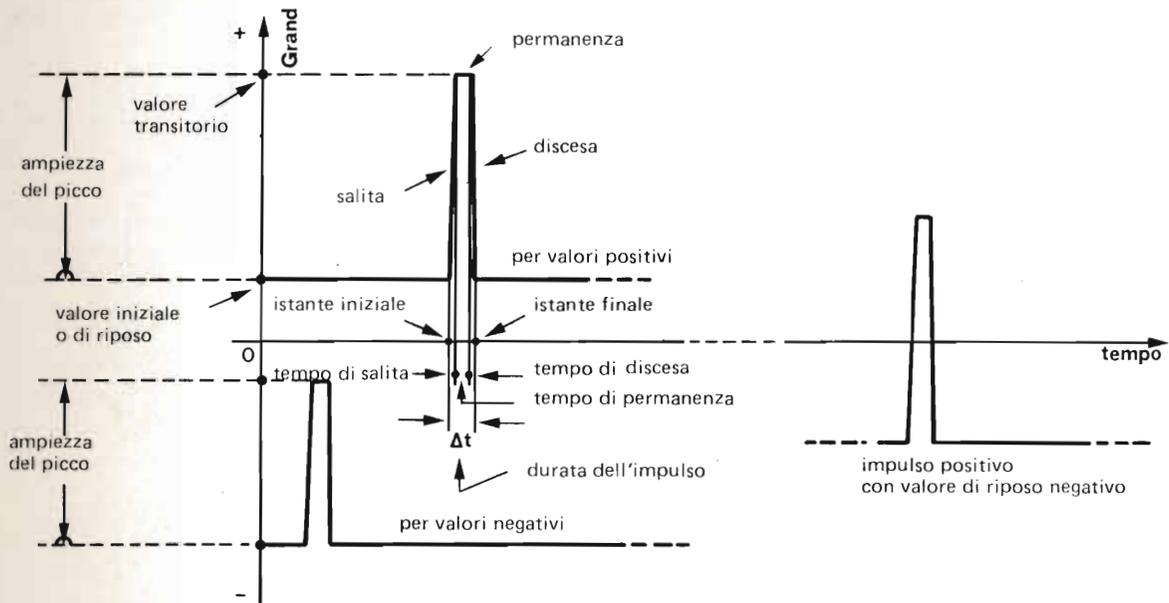
FORMA D'ONDA A IMPULSO

È un caso particolare di forma d'onda rettangolare (vedi 10.43 pag. 2) aperiodico dove la grandezza (tensione, corrente, ecc.) cambia di valore e si riporta al valore iniziale (o di riposo) durante un intervallo di tempo brevissimo.

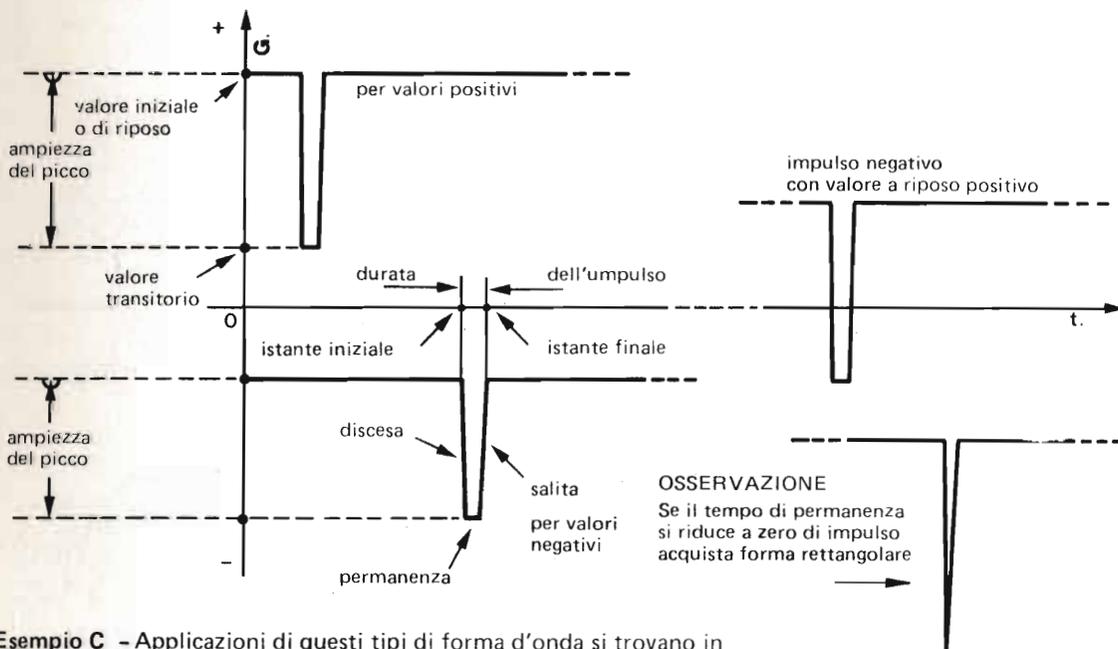
Si può parlare anche di impulsi periodici quando un'onda rettangolare è molto asimmetrica.

In questo caso comunque il valore medio è così prossimo al valore di riposo che praticamente ne coincide

**Esempio A - Impulsi positivi:** cioè l'impulso è un addendo positivo ad un valore qualsiasi di riposo



**Esempio B - Impulsi negativi:** cioè l'impulso è un addendo negativo ad un valore qualsiasi di riposo.



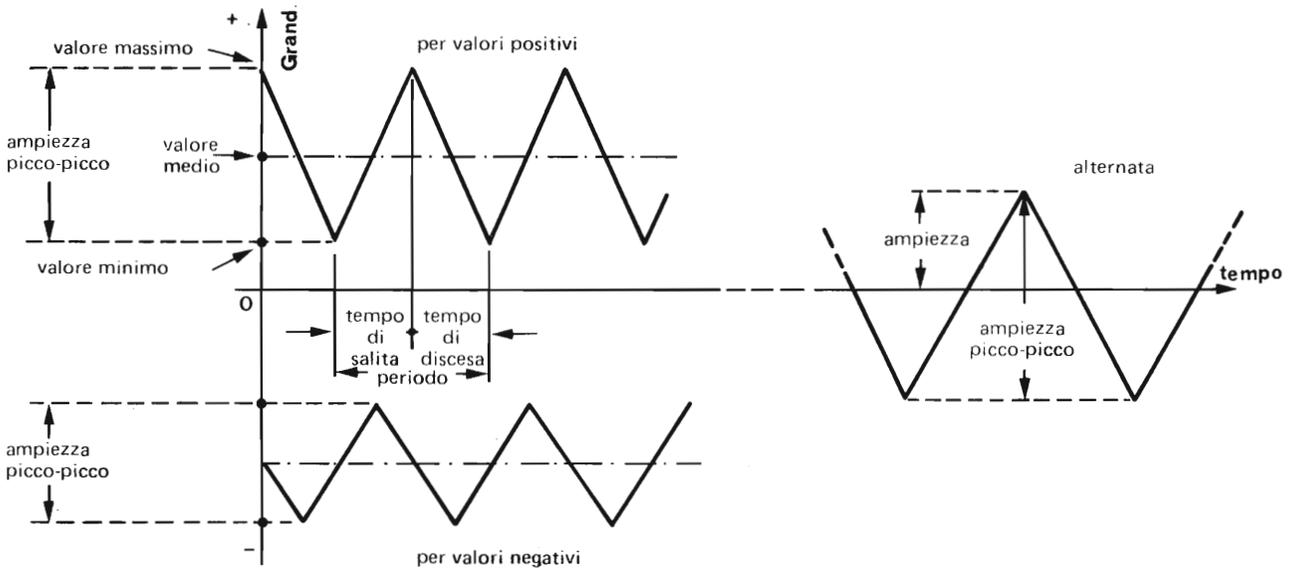
**Esempio C - Applicazioni di questi tipi di forma d'onda si trovano in**

- Comandi di dispositivi a scarica
- Radar
- Televisione
- Calcolatori digitali o logici

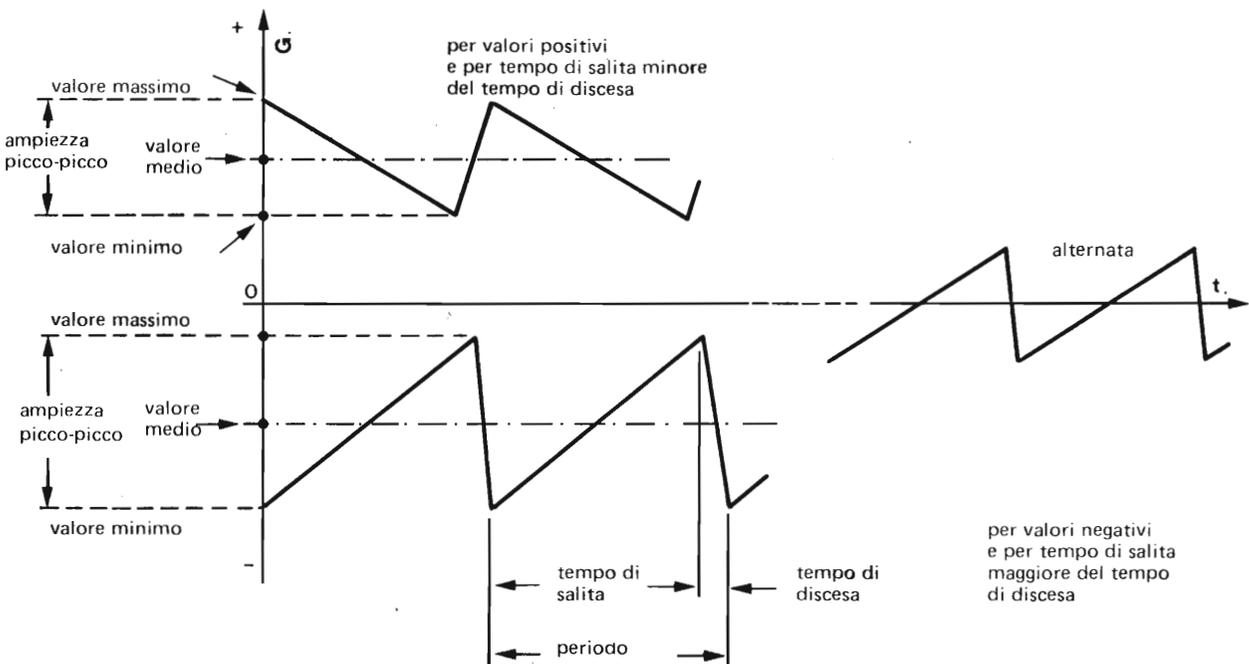
**FORMA D'ONDA TRIANGOLARE**

Può essere considerata come un caso particolare di forma d'onda periodica a gradino (vedi 10.43), dove le fasi di salita e discesa assumono importanza particolare.

**Esempio A - Simmetrica:** (i tempi di salita e di discesa sono uguali)



**Esempio B - Asimmetrica: o "a dente di sega":** (i tempi di salita e di discesa sono disuguali)



**Esempio C - Applicazioni di questi tipi di forma d'onda si trovano in:**

- Simulazione lineare del tempo mediante grandezze elettriche (oscilloscopi, radar, ecc.)
- Televisione
- Calcolatori analogici

### FORMA D'ONDA SINOIDALE (sinusoidale)

E' la regina di tutte le forme d'onda perché tutte le altre forme si possono ricondurre ad una opportuna combinazione di vari tipi di essa - vedi par. 10.5 (Teorema di Fourier).

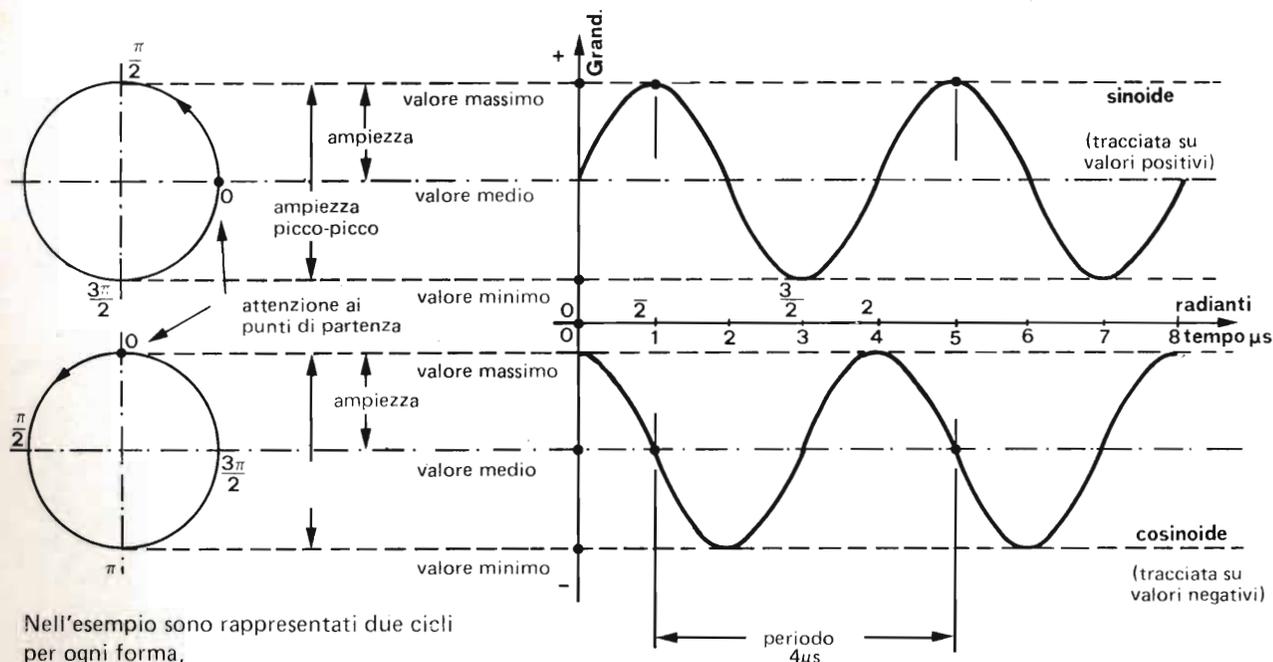
Come descritto nel foglio 10.41 e in altri citati nello stesso, essa corrisponde alla successione di valori della distanza di un punto che percorre una circonferenza da un diametro preso come riferimento in funzione dello spostamento del punto stesso.

Questa distanza, funzione dell'arco percorso, corrisponde alla funzione trigonometrica del "seno" se la rotazione la si fa partire dalla posizione del numero 3 di un orologio; o alla funzione di trigonometrica complementare del "coseno" se la rotazione la si fa partire dalla posizione del numero 12 di un orologio.

Da cui le forme prendono il nome:

sinusoide o, meglio e più brevemente, **sinoide**  
 cosinusoide o, meglio e più brevemente, **cosinoide**

Se il punto ruota con moto uniforme, la sua posizione sulla circonferenza si identifica con il tempo essendo la lunghezza di arco percorso proporzionale al trascorrere del tempo stesso.



Nell'esempio sono rappresentati due cicli per ogni forma,

Le due forme d'onda sono essenzialmente identiche, ma sfasate di  $\frac{\pi}{2}$  radianti ( $90^\circ$ ) e perciò in ogni caso si parlerà sempre di senoide.

A titolo di esercizio e per fissare le idee espresse nel foglio 10.41, per le due forme d'onda rappresentate in questo foglio, essendo la scala del tempo dei diagrammi espressa in  $\mu s$  (microsecondi) si ha:

$$\text{periodo} = 4 \mu s \text{ cioè } 4 \cdot 10^{-6} \text{ secondi oppure } 4 \text{ microsecondi}$$

$$\text{frequenza} = \frac{1}{4 \cdot 10^{-6}} = 0.25 \cdot 10^6 \text{ Hz cioè } 250.000 \text{ Hz oppure } 0.25 \text{ MHz o } 250 \text{ kHz}$$

Le applicazioni di questi tipi di forma d'onda sono innumerevoli e citiamo solo quelle più comuni:

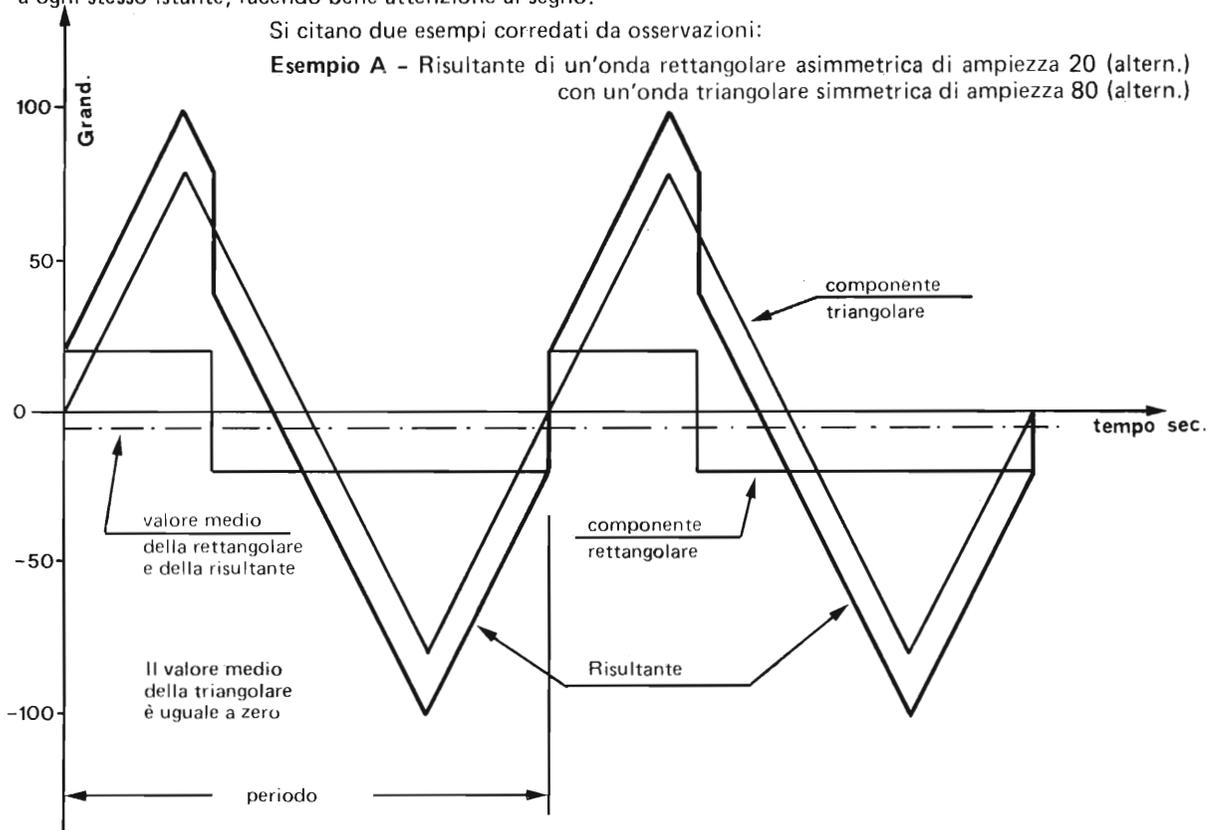
- Generatori di segnali puri di riferimento ed analizzatori
- Trasmettitori e ricevitori radio-televisione
- Generatori di energia elettrica industriale e domestica
- Radiazioni di tutti i tipi: dal suono, al calore, alla luce fino ai raggi cosmici

**COMPOSIZIONE DI GRANDEZZE NON SINOIDALI, AVENTI LO STESSO PERIODO**

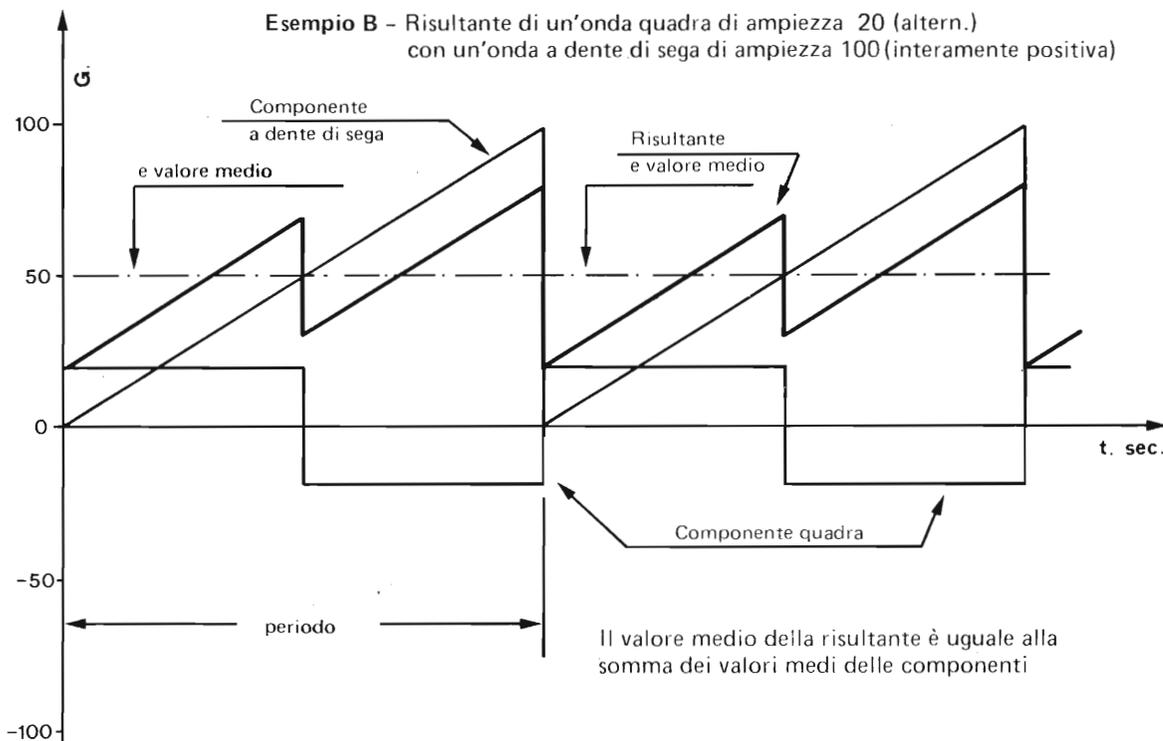
La composizione avviene tenendo conto dei valori, istante per istante, e sommando fra loro quelli relativi a ogni stesso istante, facendo bene attenzione al segno.

Si citano due esempi corredati da osservazioni:

**Esempio A** - Risultante di un'onda rettangolare asimmetrica di ampiezza 20 (altern.) con un'onda triangolare simmetrica di ampiezza 80 (altern.)



**Esempio B** - Risultante di un'onda quadra di ampiezza 20 (altern.) con un'onda a dente di sega di ampiezza 100 (interamente positiva)



N.B. - Per la composizione di grandezze sinusoidali di uguale frequenza vedi par. 10.3

Sezione : 1 Grandezze fondamentali  
 Capitolo : 10 Nozioni preliminari  
 Paragrafo : 10.4 Oscillazioni  
 Argomento : 10.43 Forme d'onda

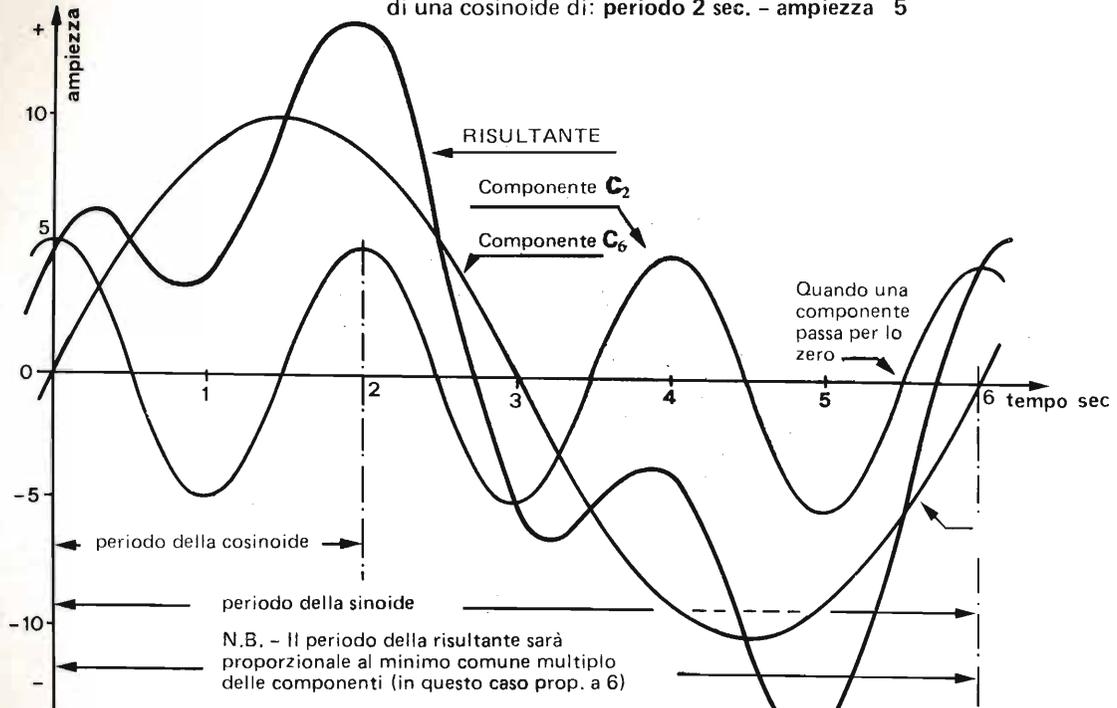
Codice Pagina  
 10.43 7

**COMPOSIZIONE DI GRANDEZZE SINOIDALI DI FREQUENZA E AMPIEZZE DIVERSE**

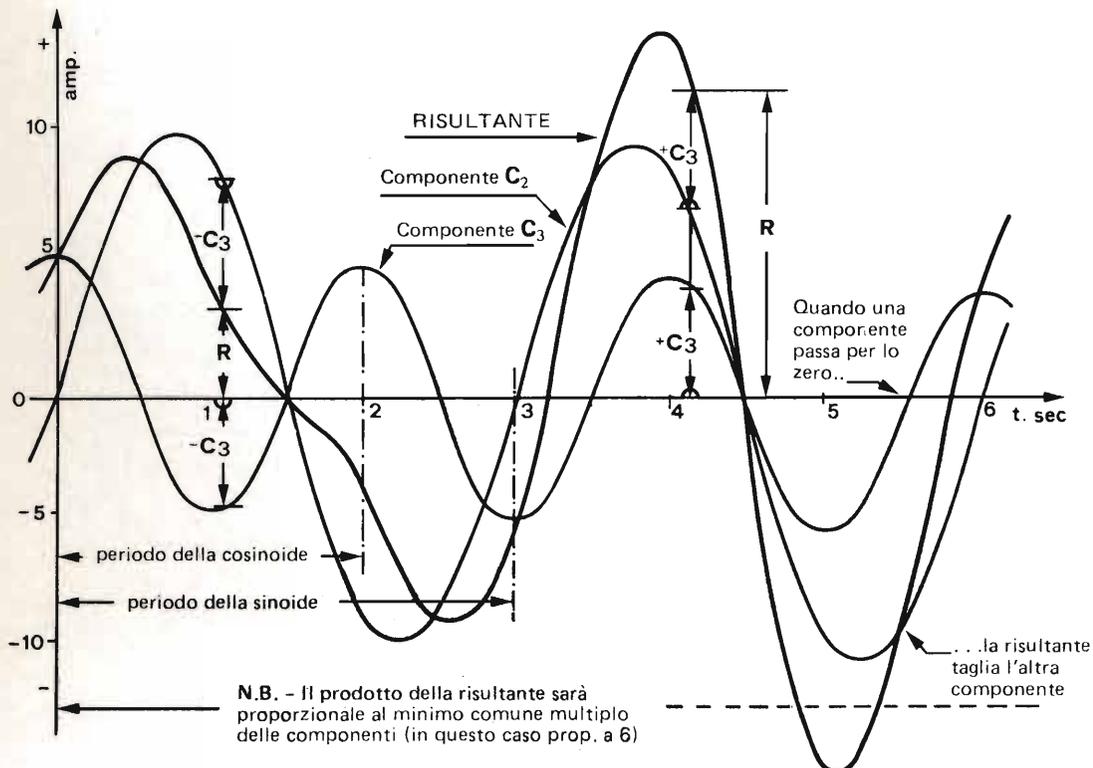
La composizione avviene tenendo conto dei valori, istante per istante, e sommandoli fra di loro, facendo bene attenzione al segno.

Si citano due esempi corredati di osservazioni e di un'importante nota,

**Esempio A** - Risultante di una senoide di: periodo 6 sec. - ampiezza 10  
 di una cosinoide di: periodo 2 sec. - ampiezza 5



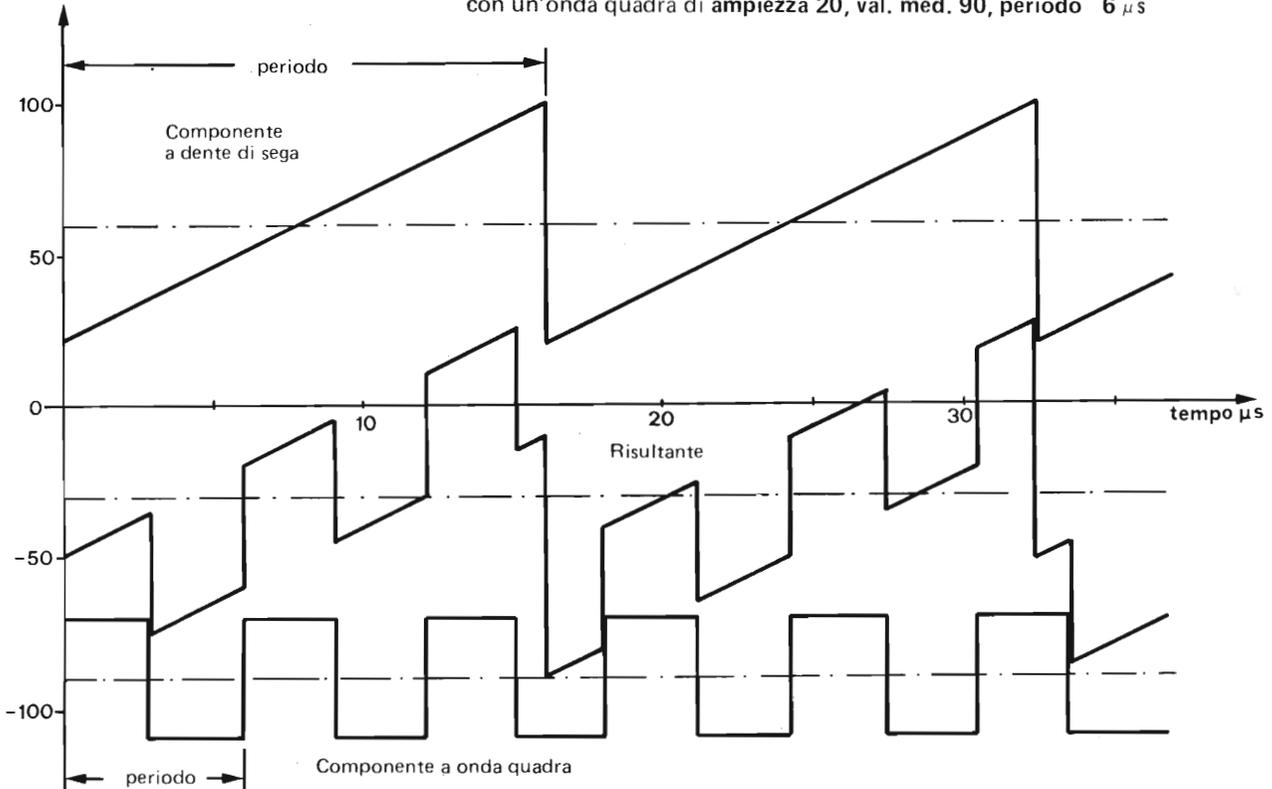
**Esempio B** - Risultante di una senoide di: periodo 2 sec. - a



**COMPOSIZIONE DI GRANDEZZE NON SINOIDALI QUALSIASI**

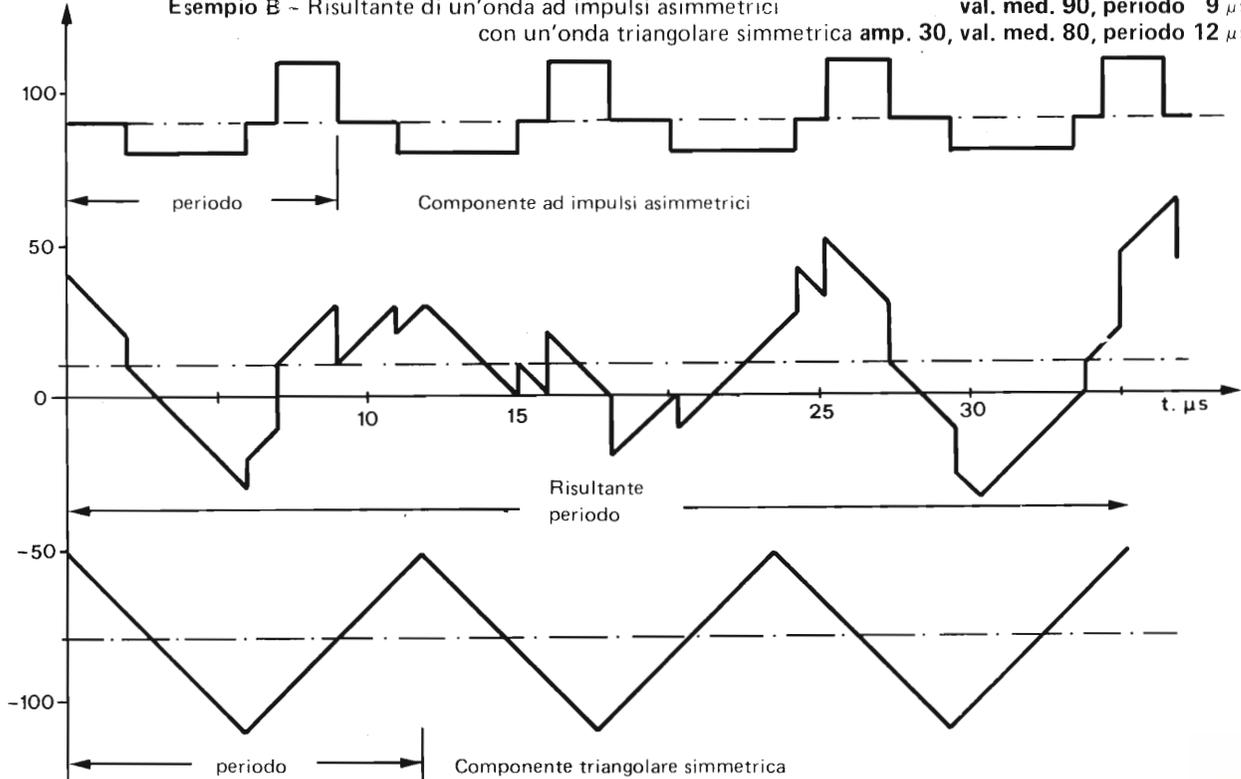
Abituiamoci ad usare un sottomultiplo del minuto secondo molto usato in elettronica: il **microsecondo** ( $\mu s$ )  
Nei diagrammi che seguono in ascissa 1 microsecondo è rappresentato da 4 mm.

**Esempio A** - Risultante di un'onda a dente di sega di **ampiezza 40**, val. med. **60**, periodo **16  $\mu s$**   
con un'onda quadra di **ampiezza 20**, val. med. **90**, periodo **6  $\mu s$**



La risultante ha un periodo di **48  $\mu s$** , corrispondente a **3 cicli a dente di sega** e **8 cicli quadri**.

**Esempio B** - Risultante di un'onda ad impulsi asimmetrici **val. med. 90**, periodo **9  $\mu s$**   
con un'onda triangolare simmetrica **amp. 30**, val. med. **80**, periodo **12  $\mu s$**



La risultante ha un periodo di **36  $\mu s$** , corrispondente a **4 cicli ad impulsi** e **3 cicli triangolari**.

Sezione	:	1	Grandezze fondamentali
Capitolo	:	10	Nozioni preliminari
Paragrafo	:	10.5	Analisi delle oscillazioni
Argomento	:	10.50	Indice del paragrafo

## Paragrafo 10.5

# ANALISI DELLE OSCILLAZIONI

### Indice degli argomenti e delle pagine

- arg. 10.51 – **Teorema di Fourier**
  - pag. 1 – Premessa storica su Fourier  
Analisi delle oscillazioni e teorema di Fourier  
Significato pratico
  - " 2 – Significato del teorema di Fourier
  - " 3 – Teorema di Fourier
  - " 4 -- Concetti generali sulle forme d'onda
  
- arg. 10.52 – **Onda quadra**
  - pag. 1 – Analisi armonica dell'onda quadra
  - " 2 – Sintesi dell'onda quadra
  
- arg. 10.53 – **Onda triangolare**
  - pag. 1 – Analisi armonica dell'onda triangolare
  - " 2 – Sintesi dell'onda triangolare
  
- arg. 10.54 – **Onda a dente di sega**
  - pag. 1 -- Analisi armonica dell'onda a dente di sega
  - " 2 – Sintesi dell'onda a dente di sega
  
- arg. 10.55 – **Onda a semi-sinoide**
  - pag. 1 – Analisi armonica dell'onda a semisinoide
  - " 2 – Sintesi dell'onda a semisinoide
  
- arg. 10.56 – **Onda a doppia semi-sinoide**
  - pag. 1 – Analisi armonica dell'onda a doppia semisinoide
  - " 2 – Sintesi dell'onda a doppia semisinoide
  
- arg. 10.58 – **Valori e fattori caratteristici**
  - pag. 1 – Valore efficace delle forme d'onda
  - " 2 – Fattori di forma e di cresta delle forme d'onda
  
- arg. 10.59 – **Esame comparativo delle forme d'onda**
  - pag. 1 – Tabella riassuntiva delle armoniche per le principali forme d'onda
  - " 2 – Spettri delle frequenze per le principali forme d'onda



Sezione	:	1	Grandezze fondamentali
Capitolo	:	10	Nozioni preliminari
Paragrafo	:	10.5	Analisi delle oscillazioni
Argomento	:	10.51	Teorema di Fourier

Codice	Pagina
10.51	1

### PREMESSA STORICA SU FOURIER

Al paragrafo 10.4 si sono esaminate le forme d'onda più comuni nelle applicazioni elettroniche.

La grande scoperta di J.B.J. Fourier consiste nell'aver stabilito una relazione fra una forma d'onda qualsiasi, purché periodica e matematicamente determinabile, e la forma sinusoidale.

E' interessante constatare che Jean Baptiste Joseph Fourier visse in Francia fra il 1768 e il 1830, quando cioè l'elettronica era di là da venire e l'elettrotecnica stava buttando i primi passi con Luigi Galvani (1737-1798) e Alessandro Volta (1745-1827).

A quei tempi la sua scoperta non poteva che avere un valore puramente matematico applicabile solo nei campi della fisica allora conosciuti.

Non è raro il caso in cui l'elettronica sia stata preceduta da oltre un secolo da scoperte appartenenti al campo della matematica pura.

Quando l'elettronica nacque trovò il terreno già preparato per svilupparsi nel modo esplosivo al quale noi stiamo assistendo.

### Analisi delle oscillazioni e teorema di Fourier

Fourier poté dunque stabilire che:

una forma d'onda qualsiasi

(purché periodica e matematicamente determinabile)

può essere scomposta in

una serie infinita di onde sinusoidali

ciascuna di frequenza multipla di quella forma d'onda e di ampiezza via via decrescente con l'aumentare della frequenza, secondo una legge matematica precisa.

(non troppo facilmente determinabile per un principiante!).

### SIGNIFICATO PRATICO

Un significato pratico di questa legge consiste ad esempio nel fatto che:

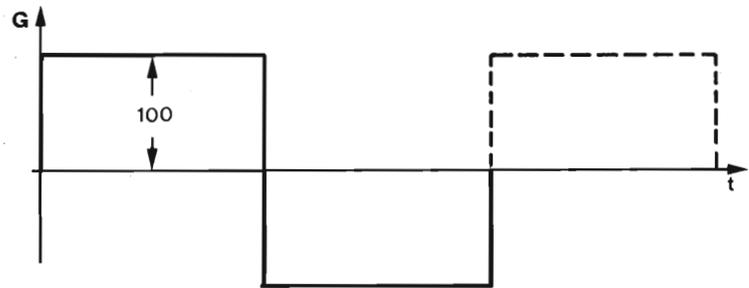
- a) — generare un'onda diversa dalla sinusoidale significa generare una serie di onde sinusoidali di varie caratteristiche, oppure che:
- b) — la distorsione di un segnale può essere considerata come la generazione di onde sinusoidali indesiderate, conoscendo le quali, non è difficile eliminarle con opportuni circuiti (filtri).

**SIGNIFICATO DEL TEOREMA DI FOURIER**

Con la premessa fatta alla pagina precedente vediamo se riusciamo a far capire il significato e la portata di una simile scoperta.

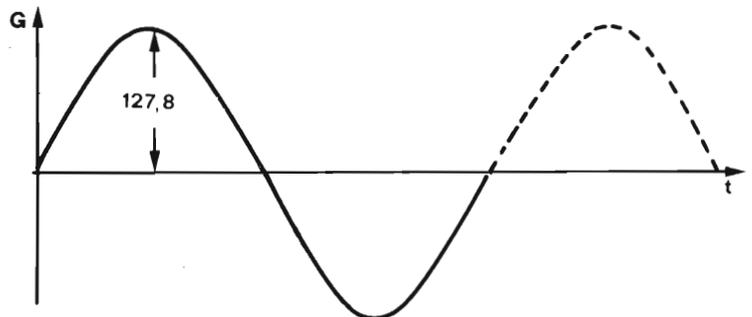
Prendiamo ad esempio un ciclo di forma d'onda quadra di ampiezza uguale a 100

Il teorema di Fourier dice che questa onda si può scomporre:



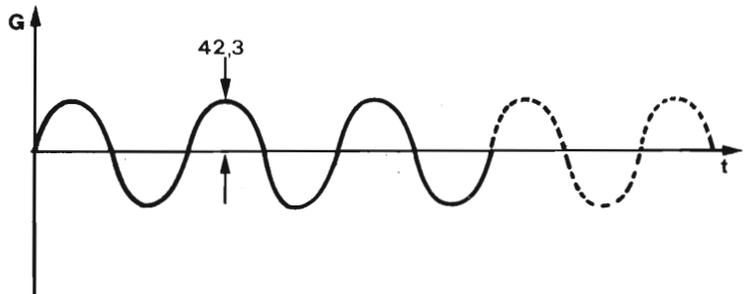
a) — In un'onda sinusoidale (1<sup>a</sup> armonica o fondamentale) della stessa frequenza di quella data in fase con la stessa e di ampiezza uguale a 127,8

più



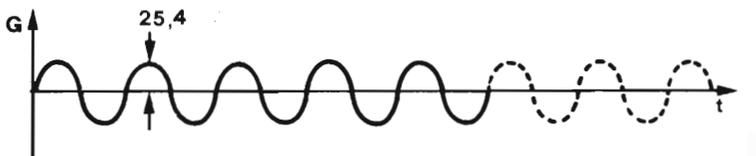
b) — un'onda sinusoidale di frequenza tripla rispetto a quella data (3<sup>a</sup> armonica) in fase rispetto al suo punto di partenza e di ampiezza pari a 42,3

più



c) — un'onda sinusoidale di frequenza quintupla rispetto a quella data (5<sup>a</sup> armonica) in fase rispetto al suo punto di partenza e di ampiezza pari a 25,4

più



d) — la 7<sup>a</sup> armonica ecc. come risulta dalla tabella illustrata in 10.59-1

**Osservazione**

Questa forma d'onda è mancante delle armoniche di ordine pari (la 2<sup>o</sup>, la 4<sup>o</sup>, ecc.) altre forme d'onda invece le posseggono (v. 10-59).

**Avvertenze**

Vale anche la proposizione inversa secondo la quale infatti prendendo tutte insieme queste sinusoidali e sommandole fra di loro per punti corrispondenti si può ricomporre, quale risultante, l'onda originaria. Si vedano gli esempi riportati nelle seconde pagine degli argomenti che seguono.



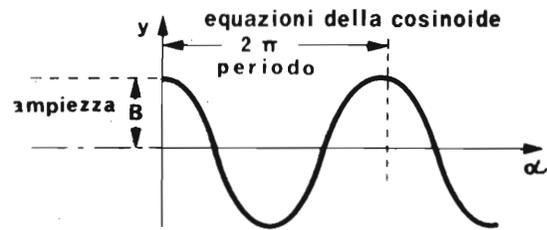
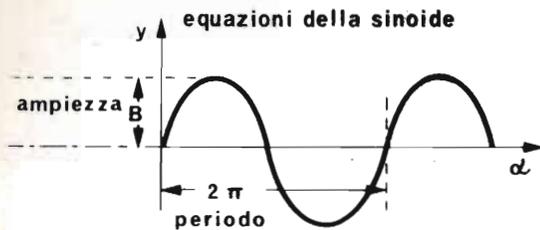
**TEOREMA DI FOURIER**

Una forma d'onda qualsiasi, purchè sia periodica, può essere scomposta in un insieme di infinite componenti sinusoidali e cosinoidali.

Rispetto alla sinusoide fondamentale di frequenza uguale alla forma d'onda in esame, la frequenza di ogni componente è crescente secondo multipli interi, mentre l'ampiezza decresce secondo una determinata legge algebrica e geometrica.

Inversamente, ciò significa che ogni grandezza periodica di qualsiasi forma può essere ricostruita sommando algebricamente i valori di infinite sinoidi e cosinoidi di frequenza crescente secondo multipli interi e di ampiezza decrescente secondo una regola predeterminata per ogni forma.

**Equazioni fondamentali**



$y_{1s} = A_1 \text{ sen } \alpha$                       fondamentali  
 $y_{2s} = A_2 \text{ sen } 2\alpha$                     2<sup>e</sup> armoniche  
 $y_{3s} = A_3 \text{ sen } 3\alpha$                     3<sup>e</sup> armoniche  
 .....  
 $y_{ns} = A_n \text{ sen } \alpha$                     n<sup>e</sup> armoniche

$y_{1c} = B_1 \text{ cos } \alpha$   
 $y_{2c} = B_2 \text{ cos } 2\alpha$   
 $y_{3c} = B_3 \text{ cos } 3\alpha$   
 .....  
 $y_{nc} = B_n \text{ cos } \alpha$

**Equazione generale di Fourier**

In base al teorema enunciato, una forma d'onda qualsiasi, di frequenza f, è uguale alla seguente somma:

**valore della risultante**      $y = y_0 + y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n$

valore di un'eventuale componente continua che si presenta qualora il valore medio della forma d'onda fosse diverso da zero.

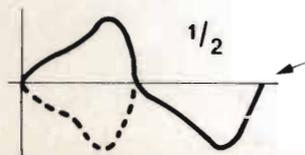
$y_1 = y_{1s} + y_{1c}$   
 valori della fondamentale di frequenza uguale a quella della forma d'onda in analisi

$y_n = y_{ns} + y_{nc}$      valori delle successive componenti (o armoniche) di ordine (o frequenza) n, rispetto alla fondamentale.  
 $y_3 = y_{3s} + y_{3c}$      valori della 3<sup>a</sup> armonica di frequenza tripla rispetto alla fondamentale.  
 $y_2 = y_{2s} + y_{2c}$      valori della 2<sup>a</sup> armonica di frequenza doppia rispetto alla fondamentale.

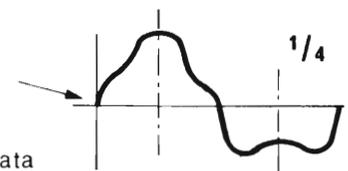
**Alcune osservazioni di carattere generale**

Ogni forma d'onda di tipo geometrico (oltre che periodico) presentano caratteristiche diverse di simmetria.

**Simmetria di quarto d'onda:** ogni semionda, tagliata con un asse mediano, forma due quarti d'onda fra loro simmetrici.



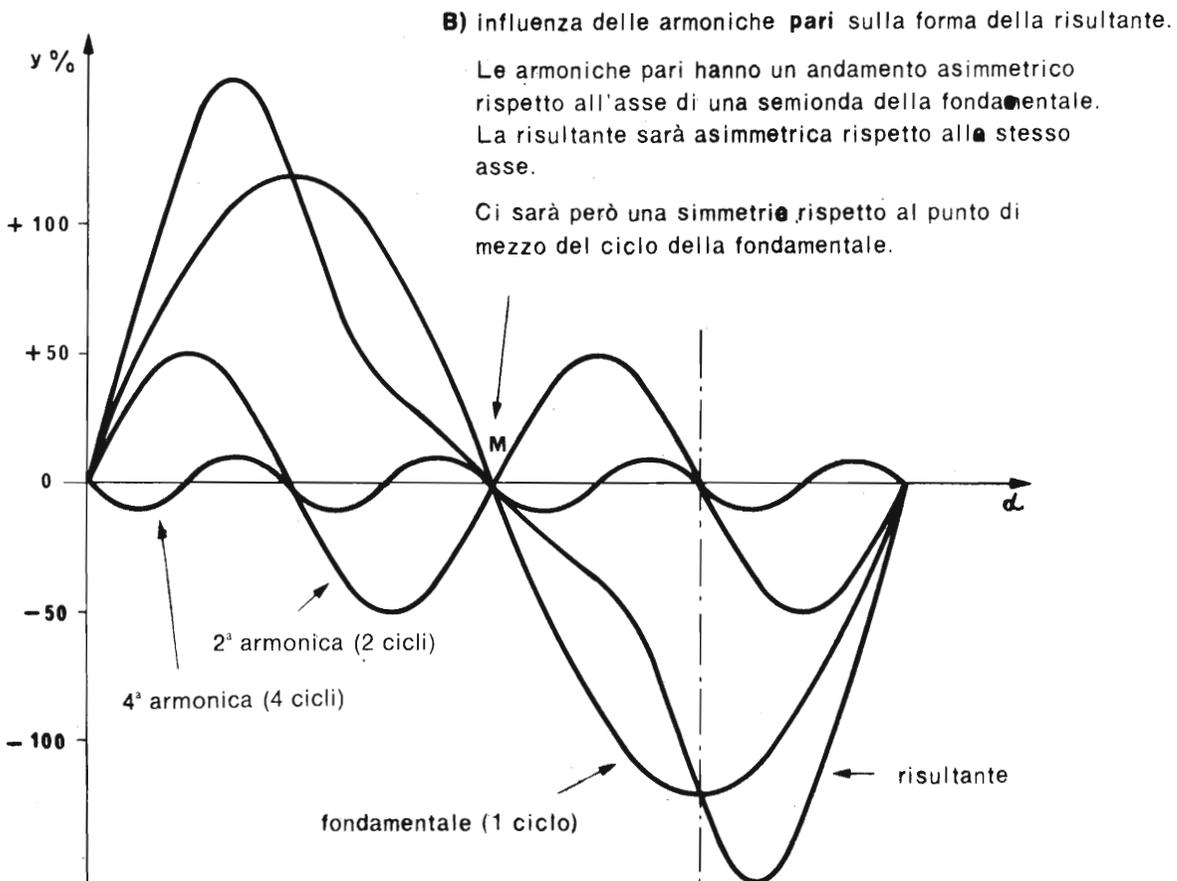
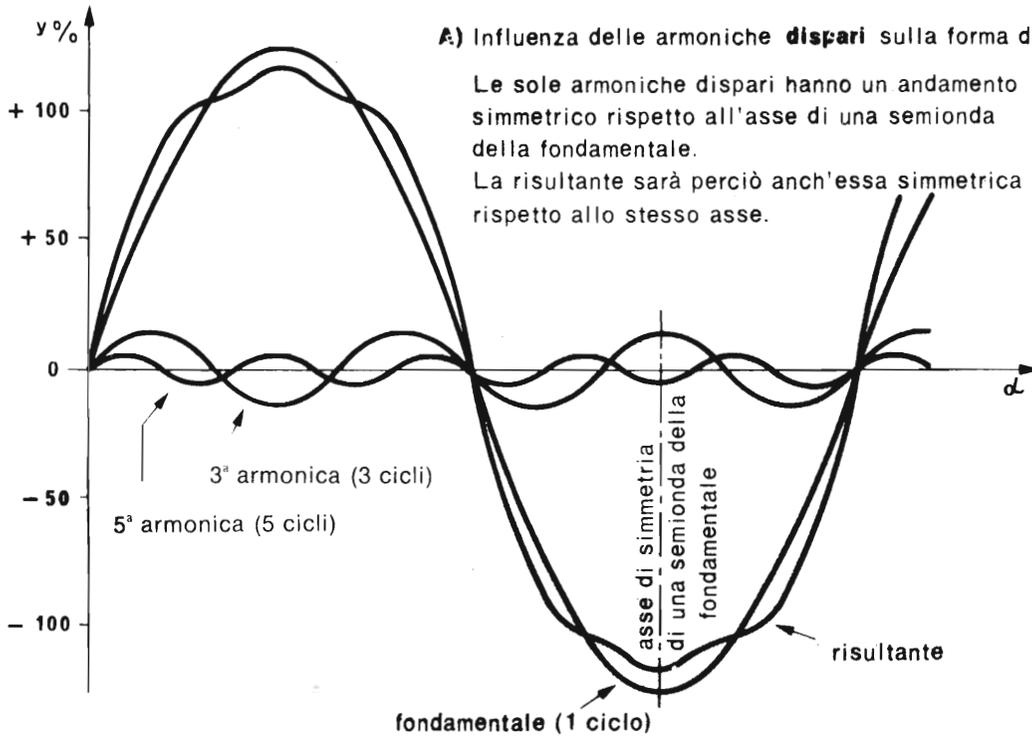
**Simmetria di semionda:** ogni semionda, traslata di un semiperiodo è simmetrica a quella opposta.



Le armoniche, cioè le varie sinoidi e cosinoidi che le compongono, si presentano secondo un certo ordine logico che dipende dal tipo di simmetria della forma d'onda, come si può vedere nelle analisi che seguono.

1975 - A.T. Gilcan - Proprietà riservata a termini di legge - Riproduzione vietata senza autorizzazione  
 di i rme ne alori al V. 1 - g. 1. 1 - E. F. dbc. pa 20 - S.T. ni. 7. g.

CONCETTI GENERALI SULLE FORME D'ONDA

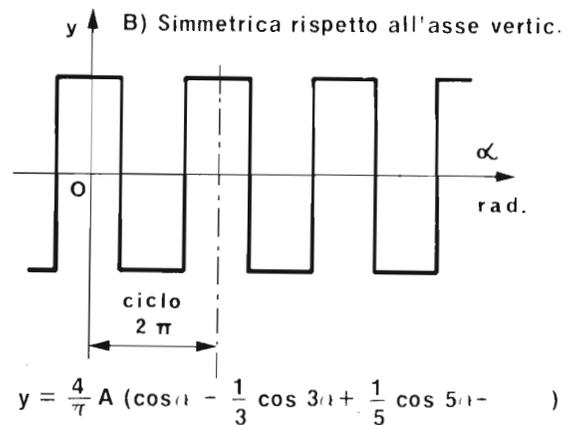
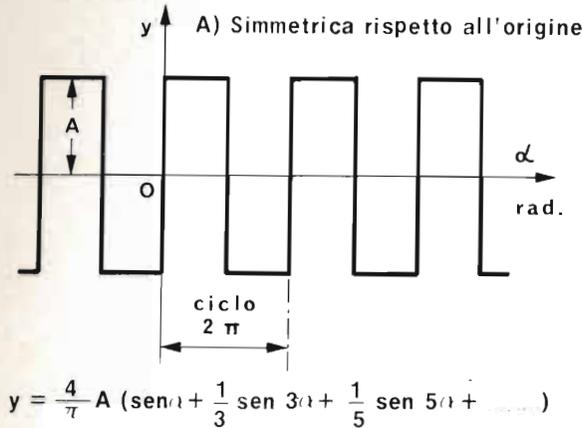


Sezione : 1 Grandezze fondamentali  
Capitolo : 10 Nozioni preliminari  
Paragrafo : 10.5 Analisi delle oscillazioni  
Argomento : 10.52 Onda quadra



**ANALISI ARMONICA DELL'ONDA QUADRA**

Le serie armoniche delle frequenze sinusoidali che compongono la forma d'onda quadra sono le seguenti:

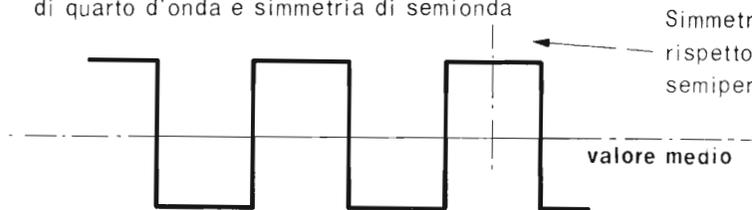


**Tabella analitica delle componenti sinusoidali**

Definizione di ogni componente sinusoidale nome	simbolo	Frequenza rispetto a quella della quadra	TERMINI CORRISPONDENTI A OGNI COMPONENTE			Note
			Ampiezza (identica nei 2 casi)	A) per simmetrica risp all'orig (solo seni)	B) per simmetrica risp all'asse vertic (solo coseni)	
Vaioe medio	$y_0$	0	0	—	—	L'assenza di valore medio indica mancanza di componente costante
Fondamentale	$y_1$	f	$\frac{4}{\pi}$	+ sen $\alpha$	+ cos $\alpha$	
3 armonica	$y_3$	3 f	$\frac{4}{3\pi}$	+ sen 3 $\alpha$	- cos 3 $\alpha$	
5 armonica	$y_5$	5 f	$\frac{4}{5\pi}$	+ sen 5 $\alpha$	+ cos 5 $\alpha$	
(2n-1) armonica	$y_{(2n-1)}$	(2n-1) f	$\frac{4}{(2n-1)\pi}$	sen (2n-1) $\alpha$	$(-1)^{(2n-1)}$ cos (2n-1) $\alpha$	

sono presenti solo armoniche di frequenza dispari.  
Infatti (vedi 10.50) la forma possiede simmetria di quarto d'onda e simmetria di semionda

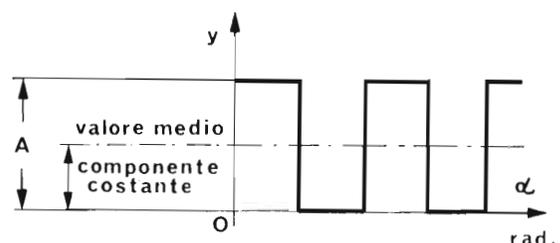
vedi 10.59 per l'analisi di questa forma d'onda



Simmetria di semionda:

la semionda inferiore traslata di un semiperiodo è simmetrica alla semionda superiore rispetto all'asse del valore medio.

**N.B.** - Forme d'onda quadra interamente al disopra delle ascisse hanno un valore medio = A/2

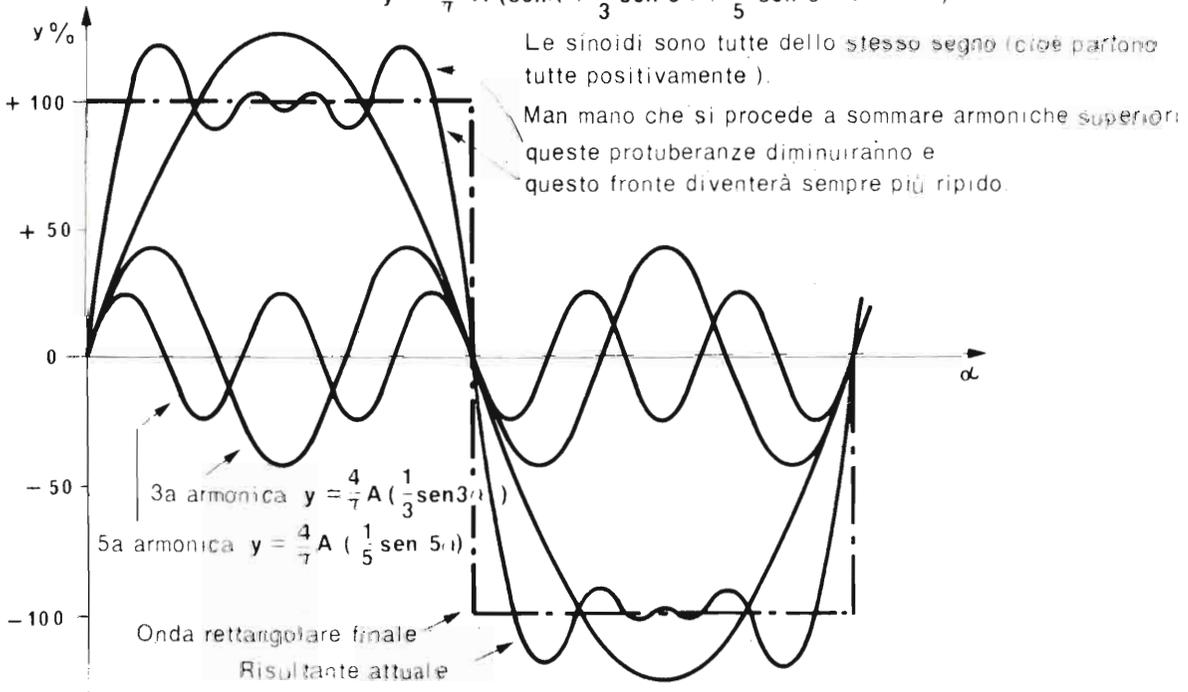




**SINTESI DELL'ONDA QUADRA**

**A) Per composizione di sinoidi** (simmetrica rispetto all'origine)

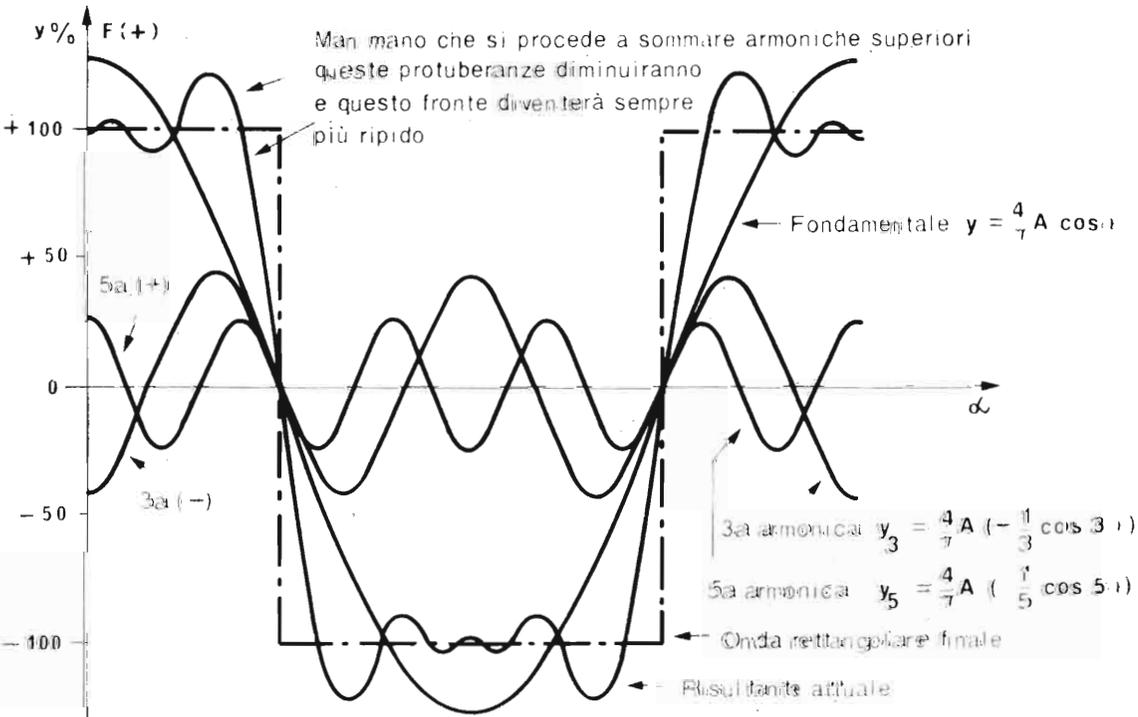
$$y = \frac{4}{\pi} A \left( \text{sen } \omega t + \frac{1}{3} \text{sen } 3\omega t + \frac{1}{5} \text{sen } 5\omega t + \dots \right)$$



**B) Per composizione di cosinoidi** (simmetrica rispetto alle ordinate)

Le cosinoidi sono alternativamente positive e negative (cioè partono alternativamente da valori positivi e negativi)

$$y = \frac{4}{\pi} A \left( \text{cos } \omega t - \frac{1}{3} \text{cos } 3\omega t + \frac{1}{5} \text{cos } 5\omega t - \dots \right)$$



Sezione : 1 Grandezze fondamentali  
 Capitolo : 10 Nozioni preliminari  
 Paragrafo : 10.5 Analisi delle oscillazioni  
 Argomento : 10.53` Onda triangolare

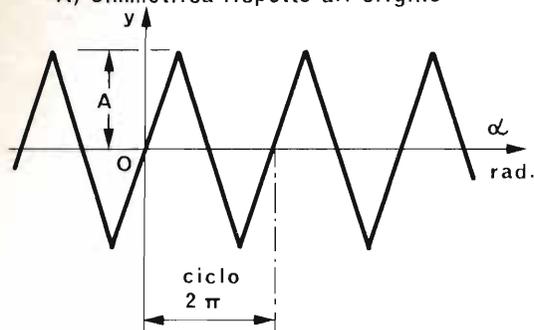
Codice Pagina  
 10.53 1



**ANALISI ARMONICA DELL'ONDA TRIANGOLARE**

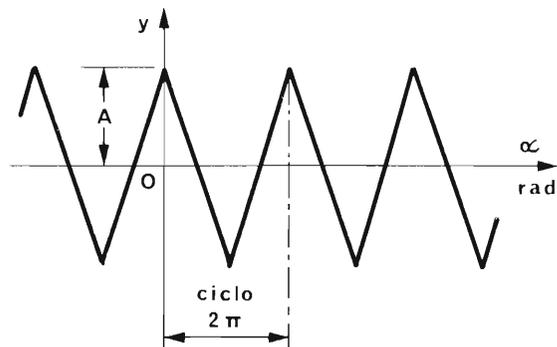
Le serie armoniche delle frequenze sinusoidali che compongono la forma d'onda triangolare sono le seguenti:

**A) Simmetrica rispetto all'origine**



$$y = \frac{8}{\pi^2} A \left( \text{sen } \alpha - \frac{1}{9} \text{sen } 3\alpha + \frac{1}{25} \text{sen } 5\alpha - \dots \right)$$

**B) Simmetrica rispetto all'asse verticale**



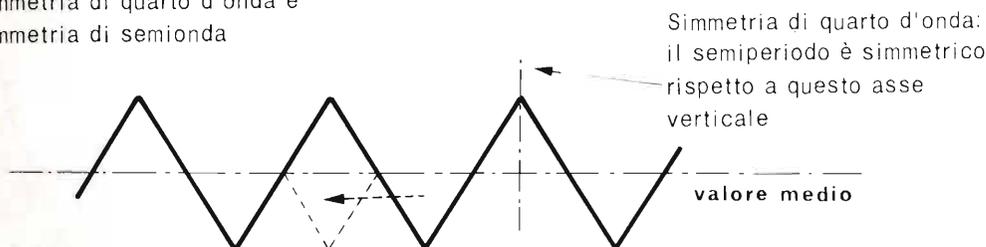
$$y = \frac{8}{\pi^2} A \left( \text{cos } \alpha + \frac{1}{9} \text{cos } 3\alpha + \frac{1}{25} \text{cos } 5\alpha + \dots \right)$$

**Tabella analitica delle componenti sinusoidali**

Definizione di ogni componente sinusoidale nome simbolo	Frequenza rispetto a quella della triangolare	TERMINI CORRISPONDENTI A OGNI COMPONENTE			Note
		Ampiezza (identica nei 2 casi)	A) per simmetrica risp all'orig (solo seni)	B) per simmetrica risp all'asse vertic (solo coseni)	
Valore medio $y_0$	0	0	—	—	← L'assenza di valore medio indica mancanza di componente costante
Fondamentale $y_1$	f	$\frac{8}{\pi^2}$	+ sen $\alpha$	+ cos $\alpha$	
3a armonica $y_3$	3f	$\frac{8}{9\pi^2}$	- sen 3 $\alpha$	+ cos 3 $\alpha$	
5a armonica $y_5$	5f	$\frac{8}{25\pi^2}$	+ sen 5 $\alpha$	+ cos 5 $\alpha$	
(2n-1) armonica $y_{(2n-1)}$	(2n-1)f	$\frac{8}{(2n-1)^2\pi^2}$	$(-1)^{\frac{n}{2}+1} \text{sen } (2n-1)\alpha$	cos (2n-1) $\alpha$	

sono presenti solo armoniche di frequenza dispari.

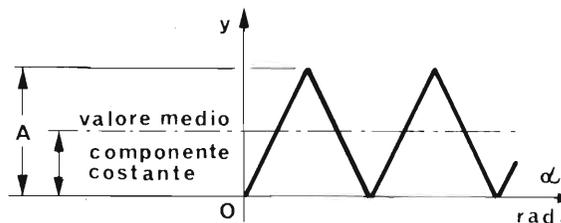
Infatti (vedi 10.50) la forma possiede simmetria di quarto d'onda e simmetria di semionda



**Simmetria di semionda:**

la semionda inferiore traslata di un semiperiodo è simmetrica alla semionda superiore rispetto all'asse del valore medio.

**N.B.** - Forme d'onda triangolari interamente al disopra delle ascisse hanno un valore medio = A/2.



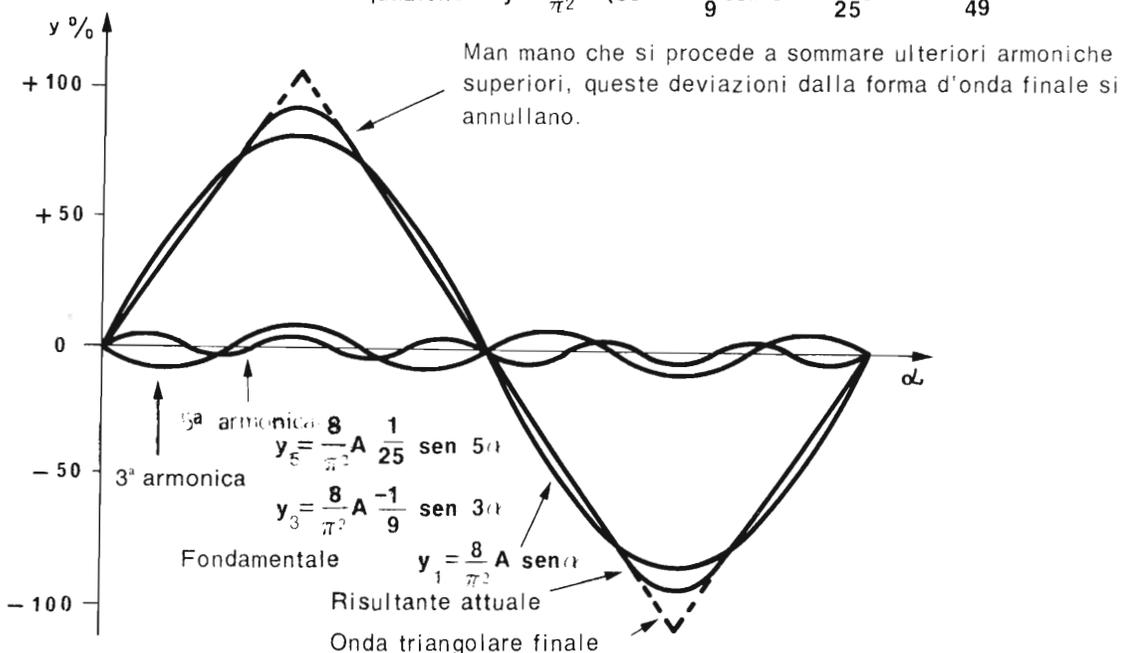


**SINTESI DELL'ONDA TRIANGOLARE**

Questa forma d'onda è così povera di armoniche che già con le prime tre si trova ben delineata.

**A) Per composizione di sinoidi (simmetrica rispetto all'origine)**

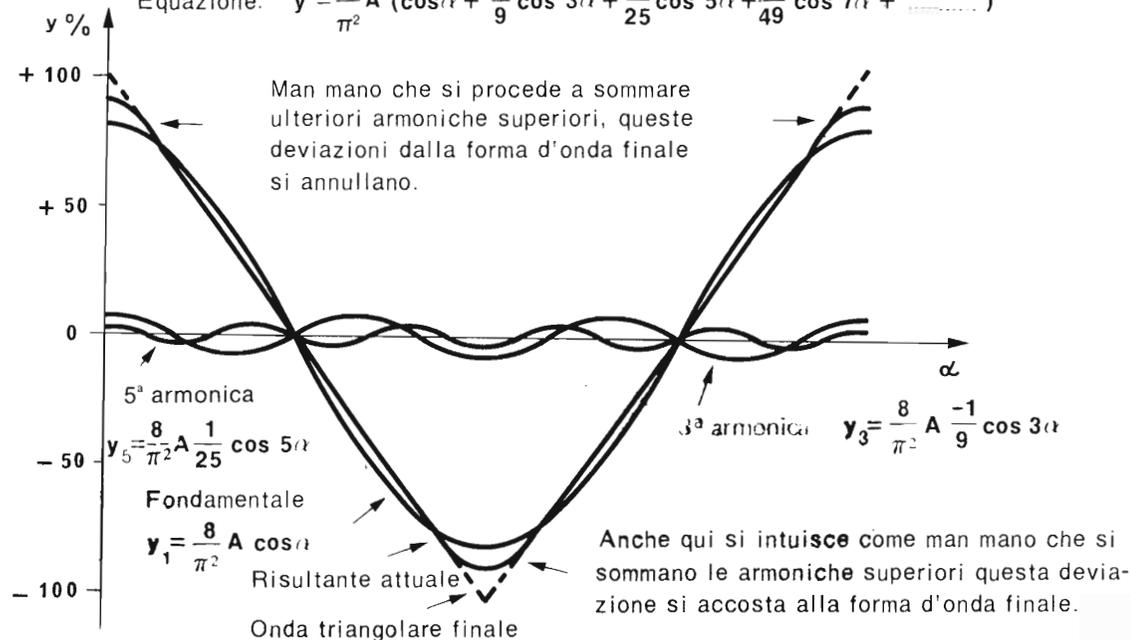
Le sinoidi sono alternativamente di segno opposto (partono alternativamente assumendo valori positivi e negativi). Equazione:  $y = \frac{8}{\pi^2} A (\text{sen } \alpha - \frac{1}{9} \text{sen } 3\alpha + \frac{1}{25} \text{sen } 5\alpha - \frac{1}{49} \text{sen } 7\alpha + \dots)$



**B) Per composizione di cosinoidi (simmetrica rispetto alle ordinate)**

Le cosinoidi sono tutte dello stesso segno (partono tutte positivamente)

Equazione:  $y = \frac{8}{\pi^2} A (\cos \alpha + \frac{1}{9} \cos 3\alpha + \frac{1}{25} \cos 5\alpha + \frac{1}{49} \cos 7\alpha + \dots)$



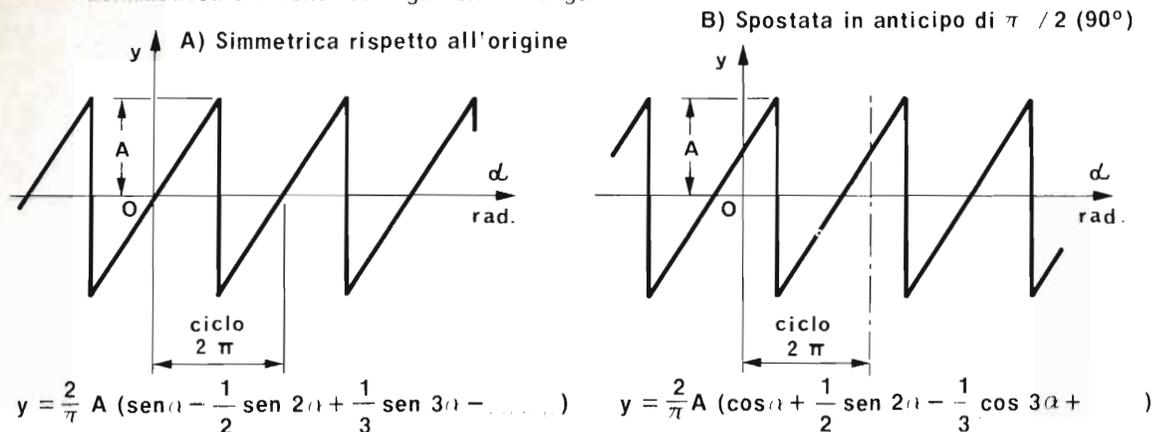
N.B. - I diagrammi sono costruiti per un ciclo della fondamentale e per A = 100.

© 1973 - A. Gilchrist - Proprietà riservata a termini di legge - Riproduzione vietata senza consenso



**ANALISI ARMONICA DELL'ONDA A DENTE DI SEGA**

Le serie armoniche delle frequenze sinusoidali che compongono la forma d'onda triangolare asimmetrica o a dente di sega sono le seguenti:



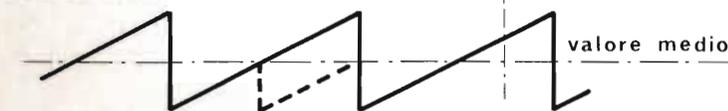
**Tabella analitica delle componenti sinusoidali**

Definizione di ogni componente sinusoidale nome simbolo	Frequenza rispetto alla dente di sega	TERMINI CORRISPONDENTI A OGNI COMPONENTE			Note
		Ampiezza (identica nei due casi)	A) per simmetrica risp all'origine (solo seni)	B) per spostata in anticipo di pi/2 (solo coseni)	
Valore medio $y_0$	0	0	—	—	← L'assenza di valore medio indica mancanza di componente costante
Fondamentale $y_1$	f	$\frac{2}{\pi}$	+ sen $\alpha$	+ cos $\alpha$	
2a armonica $y_2$	2f	$\frac{2}{\pi}$	- sen 2 $\alpha$	- cos 2 $\alpha$	
3a armonica $y_3$	3f	$\frac{2}{3\pi}$	+ sen 3 $\alpha$	+ cos 3 $\alpha$	
n <sup>a</sup> armonica $y_n$	nf	$\frac{2}{n\pi}$	$-(-1)^n$ sen n $\alpha$	$-(-1)^n$ cos n $\alpha$	

sono presenti tutte le armoniche (vedi 10.51)

questa forma non possiede simmetrie nè di quarto d'onda nè di semionda

Asimmetria di quarto d'onda:  
 il semiperiodo non è simmetrico rispetto a questo asse verticale

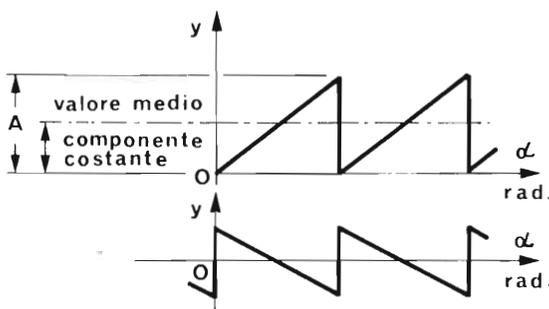


Asimmetria di semionda:

la semionda inferiore, traslata di un semiperiodo, non è simmetrica alla semionda superiore rispetto all'asse del valore medio.

**N.B.** - Forme d'onda a dente di sega interamente al di sopra delle ascisse hanno valore medio = A/2.

**N.B.** - Per avere il diagramma in discesa basta invertire di segno il valore delle componenti.



Fonte di informazione: ...

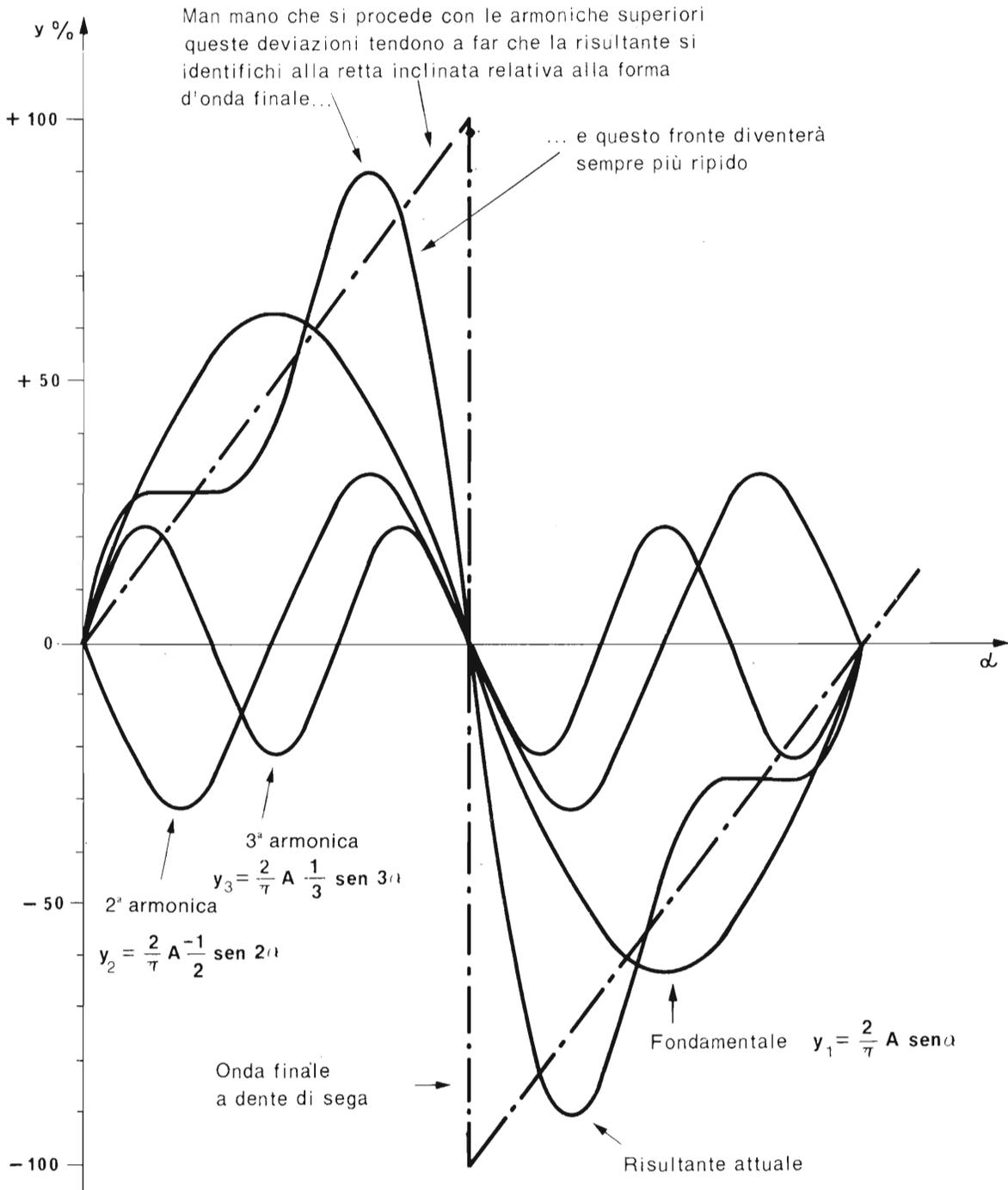


**SINTESI DELL'ONDA A DENTE DI SEGA**

**A) Per composizione di sinoidi (simmetrica rispetto all'origine)**

Le sinoidi sono alternativamente positive e negative (cioè assumono all'inizio valori positivi o negativi).

Equazione:  $y = \frac{2}{\pi} A (\text{sen } \alpha - \frac{1}{2} \text{sen } 2\alpha + \frac{1}{3} \text{sen } 3\alpha - \frac{1}{4} \text{sen } 4\alpha + \dots)$



**N.B.** - Il diagramma è costruito per un ciclo della fondamentale e per  $A = 100$ .

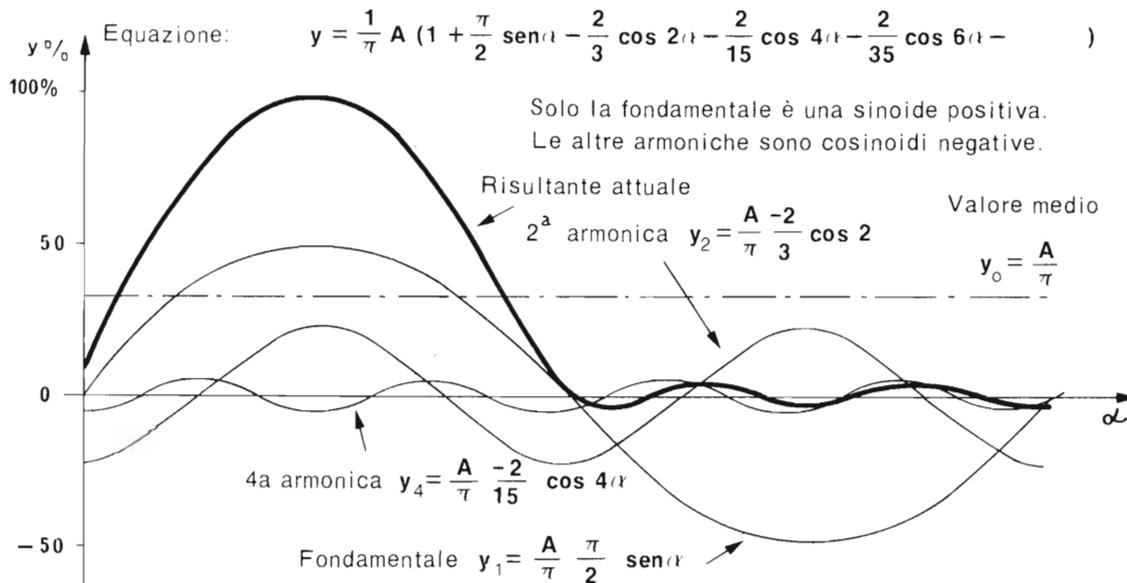




**SINTESI DELL'ONDA A SEMISINOIDE**

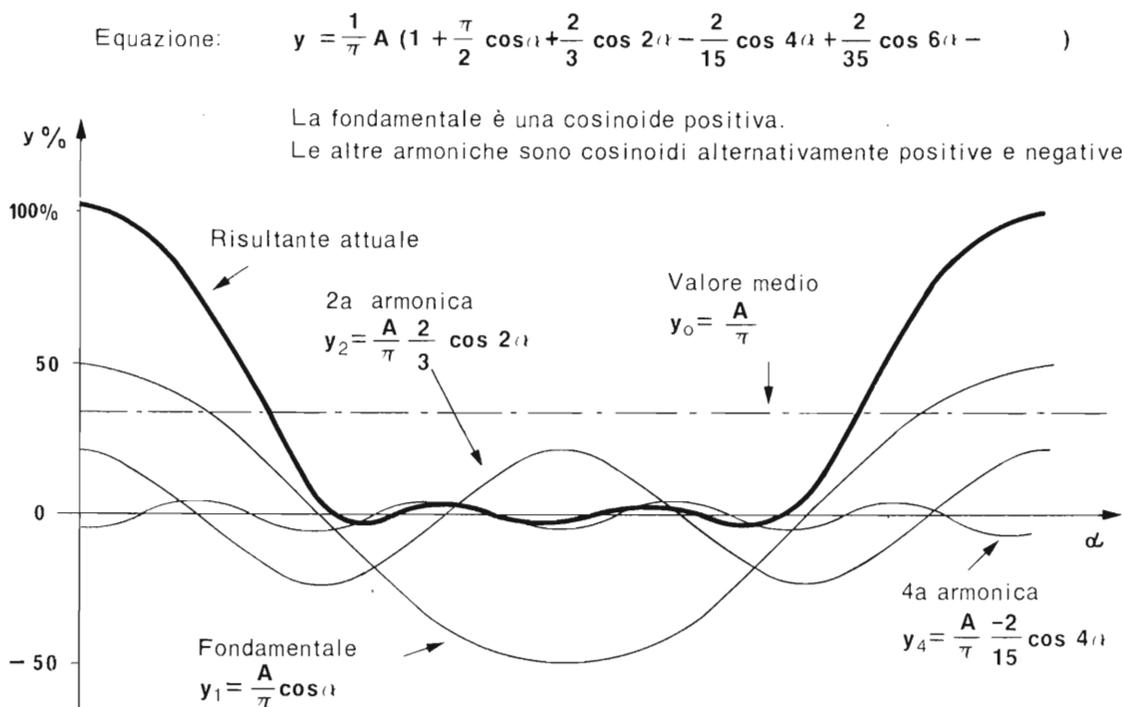
Questa forma d'onda è così povera di armoniche che essa si trova già ben delineata con le prime tre.

**A) Con inizio dall'origine**



Man mano che si procede a sommare ulteriori armoniche superiori, le deviazioni dalla forma d'onda finale (qui non indicata) si annullano.

**B) Simmetrica rispetto alle ordinate**



Man mano che si procede a sommare ulteriori armoniche superiori, le deviazioni dalla forma d'onda finale (qui non disegnata) si annullano.

**N.B.** - I diagrammi sono costruiti per un ciclo della fondamentale e per A = 100.

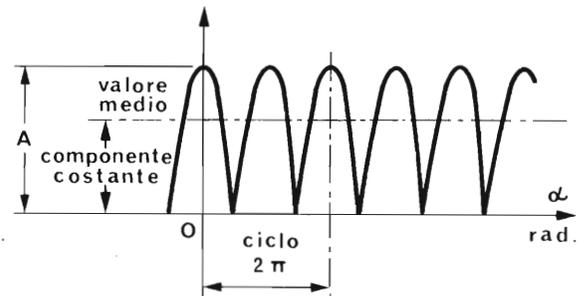
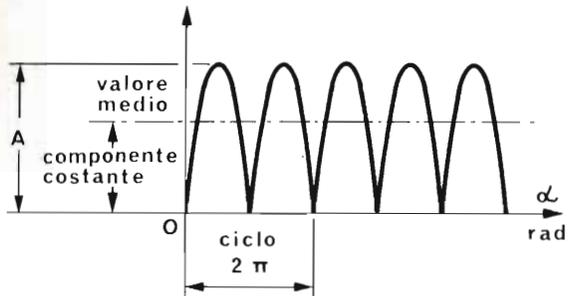


**ANALISI ARMONICA DELL'ONDA A DOPPIA SEMISINOIDE**

Le serie armoniche di frequenze sinusoidali che compongono la forma d'onda a doppia semisinoide sono le seguenti:

A) Con inizio dall'origine

B) Simmetrica rispetto all'asse verticale



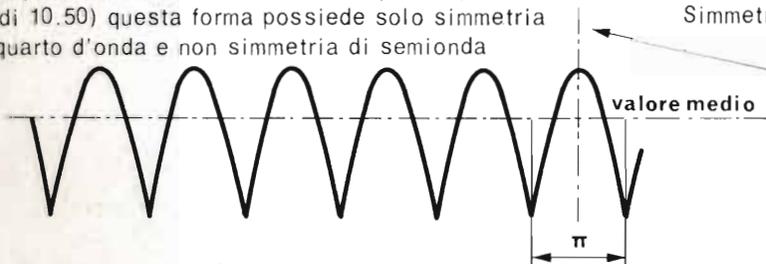
$$y = \frac{2}{\pi} A \left( 1 - \frac{2}{3} \cos 2\alpha - \frac{2}{15} \cos 4\alpha - \frac{2}{35} \cos 6\alpha - \dots \right)$$

$$y = \frac{2}{\pi} A \left( 1 + \frac{2}{3} \cos 2\alpha - \frac{2}{15} \cos 4\alpha + \frac{2}{35} \cos 6\alpha - \dots \right)$$

**Tabella analitica delle componenti sinusoidali**

Definizione di ogni componente sinusoidale	Frequenza rispetto alla doppia semisinoide	TERMINI CORRISPONDENTI A OGNI COMPONENTE			Note	
		nome	simbolo	Ampiezza (identica nei due casi)		A) per inizio dall'origine (solo seni)
Valore medio	0		$\frac{2}{\pi}$	—	—	Il valore medio indica la presenza di una componente costante pari a circa il 63,6% dell'ampiezza A della doppia semisinoide.
Fondamentale	2f	$y_1$	$\frac{4}{3\pi}$	$-\cos 2\alpha$	$+\cos 2\alpha$	
4a armonica	4f	$y_4$	$\frac{4}{15\pi}$	$-\cos 4\alpha$	$-\cos 4\alpha$	
6a armonica	6f	$y_6$	$\frac{4}{35\pi}$	$-\cos 6\alpha$	$+\cos 6\alpha$	
2n armonica	2nf	$y_{2n}$	$\frac{4}{(n^2-1)\pi}$	$-\cos 2n\alpha$	$(-1)^{\frac{(n+1)}{2}} \cos 2n\alpha$	

sono presenti solo armoniche di frequenza pari (vedi 10.50) questa forma possiede solo simmetria di quarto d'onda e non simmetria di semionda



Simmetria di quarto d'onda: il semiperiodo è simmetrico rispetto a questo asse verticale.

Asimmetria di semionda:

la semionda inferiore, traslata di un semiperiodo non è simmetrica alla semionda superiore rispetto all'asse del valore medio, ma vi coincide.

Forme di invio rm...  
 bme Vel... p... 187...  
 ern... F...  
 Ha...  
 boc...  
 lag...  
 E...  
 T...  
 V...  
 7...  
 50...

1978 - A. T. Gilcarri - Proprietà riservata ai termini di legge. Riproduzione vietata senza consenso.

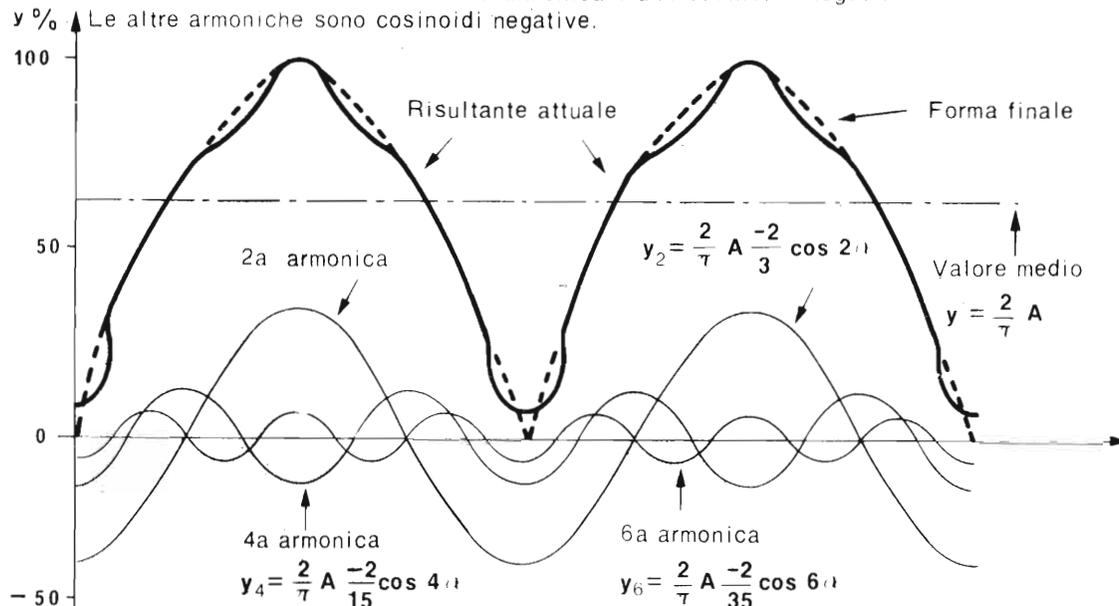


**SINTESI DELL'ONDA A DOPPIA SEMISINOIDE**

**A) Con inizio dall'origine**

Equazione:  $y = \frac{2}{7} A (1 - \frac{2}{3} \cos 2t - \frac{2}{15} \cos 4t - \frac{2}{35} \cos 6t - \dots)$

Non esiste la fondamentale. La 2a armonica è una cosinoide negativa. Le altre armoniche sono cosinoidi negative.

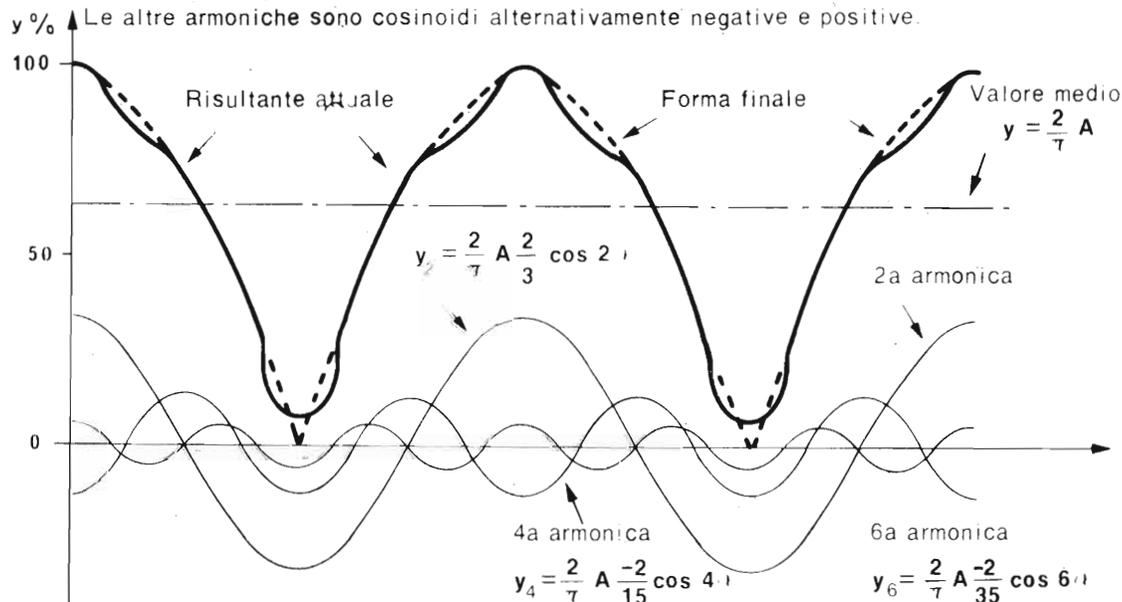


Man mano che si procede a sommare ulteriori armoniche, le deviazioni dalla forma d'onda finale si annullano.

**B) Simmetrica rispetto all'asse verticale**

Equazione:  $y = \frac{2}{7} A (1 + \frac{2}{3} \cos 2t - \frac{2}{15} \cos 4t + \frac{2}{35} \cos 6t - \dots)$

Non esiste la fondamentale. La 2a armonica è una cosinoide positiva. Le altre armoniche sono cosinoidi alternativamente negative e positive.



Man mano che si procede a sommare ulteriori armoniche, le deviazioni dalla forma d'onda finale si annullano.

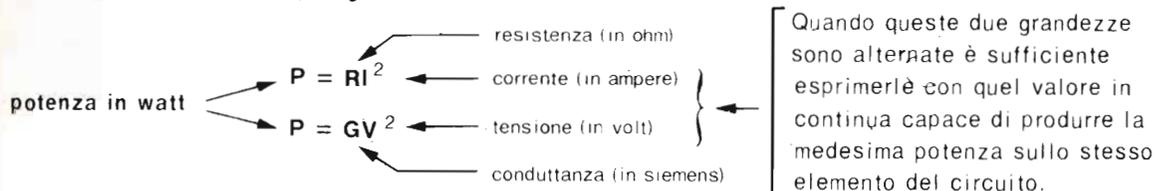
Sezione	:	1	Grandezze fondamentali
Capitolo	:	10	Nozioni preliminari
Paragrafo	:	10.5	Analisi delle oscillazioni
Argomento	:	10.58	Valori e fattori caratteristici



## VALORE EFFICACE DELLE FORME D'ONDA

### Concetto di valore efficace

La determinazione del valore efficace di una grandezza alternata qualsiasi parte dalla necessità di esprimere la potenza nello stesso semplice modo usato per la corrente continua, cioè (vedi anche paragrafi 11.5 e 11.6):



Il valore efficace è dunque un valore medio particolare che nella letteratura anglosassone è chiamato R.M.S. = Root Mean Square (radice della media quadratica).

### Calcolo del valore efficace

L'espressione per una grandezza alternata di qualsiasi forma è la seguente:

valore efficace

$$E = \sqrt{\int_0^T y^2 dt}$$

espressione algebrica della forma d'onda  
angolo del ciclo (variabile indipendente)  
periodo dell'oscillazione (per  $t$  in radianti,  $T = 2\pi$ )

Questa è l'espressione del **valore medio del quadrato della funzione** estesa per un intero periodo della forma d'onda presa in considerazione.

### Valore efficace per la forma d'onda sinusoidale

L'espressione algebrica di questa forma d'onda è  $y = A \text{ sen } \alpha$  (vedi 10.50) per cui il

valore efficace

$$E = \frac{A}{\sqrt{2}}$$

ampiezza massima dell'oscillazione  
costante = 1.41

### Valore efficace della somma di sinoidi

La scomposizione armonica delle forme d'onda o la loro composizione con sinoidi e cosinoidi di dato valore efficace, richiede un'importante precisazione.

Sebbene la composizione di una forma d'onda si ottiene sommando algebricamente i valori istantanei corrispondenti, la somma di due sinoidi di frequenza diversa non corrisponde alla somma dei loro valori efficaci.

L'espressione generale alla quale si giunge (non troppo facilmente) è la seguente:

$$E = \sqrt{E_0^2 + E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_n^2}$$

cioè: il valore efficace  $E$  di una forma d'onda qualsiasi è uguale alla radice quadrata della somma dei quadrati dei valori efficaci  $E_m$  delle singole armoniche, compreso l'eventuale valore medio  $E_0$

### Valori efficaci di alcune forme d'onda particolari

Vedi tabella alla pagina seguente.



**FATTORI DI FORMA E DI CRESTA DELLE FORME D'ONDA**

**A cosa servono i fattori di forma e di cresta**

Prima di decidere di effettuare una laboriosa analisi armonica di una forma d'onda, talvolta, è sufficiente conoscere quanto essa si discosta da quella che si vuole ottenere.

In questo caso è sufficiente conoscere determinate grandezze, misurabili facilmente e con semplici strumenti, con le quali ricavare dei fattori che possono individuare la forma d'onda che si vuole analizzare.

**Definizioni**

Osserveremo come con i valori massimo (Gmax), efficace (G) e medio (Gmed) delle grandezze oscillanti periodicamente, riferiti **ad una sola semionda**, si possono determinare i due seguenti interessanti fattori:

**Fattore di forma**  $K_f = \frac{G}{G_{med}}$       valore efficace di una semionda — diviso — valore medio di una semionda

**Fattore di cresta**  $K_c = \frac{G_{max}}{G}$       valore massimo di una semionda — diviso — valore efficace di una semionda

**Tabella dei valori**

La seguente riassume i valori per le forme d'onda più note.

Forma d'onda		Fattori		Valori per una semionda rispetto al massimo Gmax = 1	
Denominazione	Figura	di forma kf	di cresta kc	efficace G	medio Gmed
Rettangolare indefinita (corrente continua)		1.00	1.00	1.000	1.00
Semicerchio e Semiellisse		1.04	1.22	0.819	0.787
Sinoide, Semisinoide e Doppia semisinoide		1.11	1.41	0.707	0.637
Triangolare e Dente di sega		1.15	1.72	0.577	0.500
Cuspide sinoidale		1.31	2.08	0.480	0.366
Cuspide ellittica		1.44	3.22	0.310	0.215

**Osservazioni**

Il fattore di cresta è l'inverso del valore efficace e indica quante volte il valore massimo supera il valore efficace.

Il fattore di forma indica quante volte il valore efficace supera il valore medio.



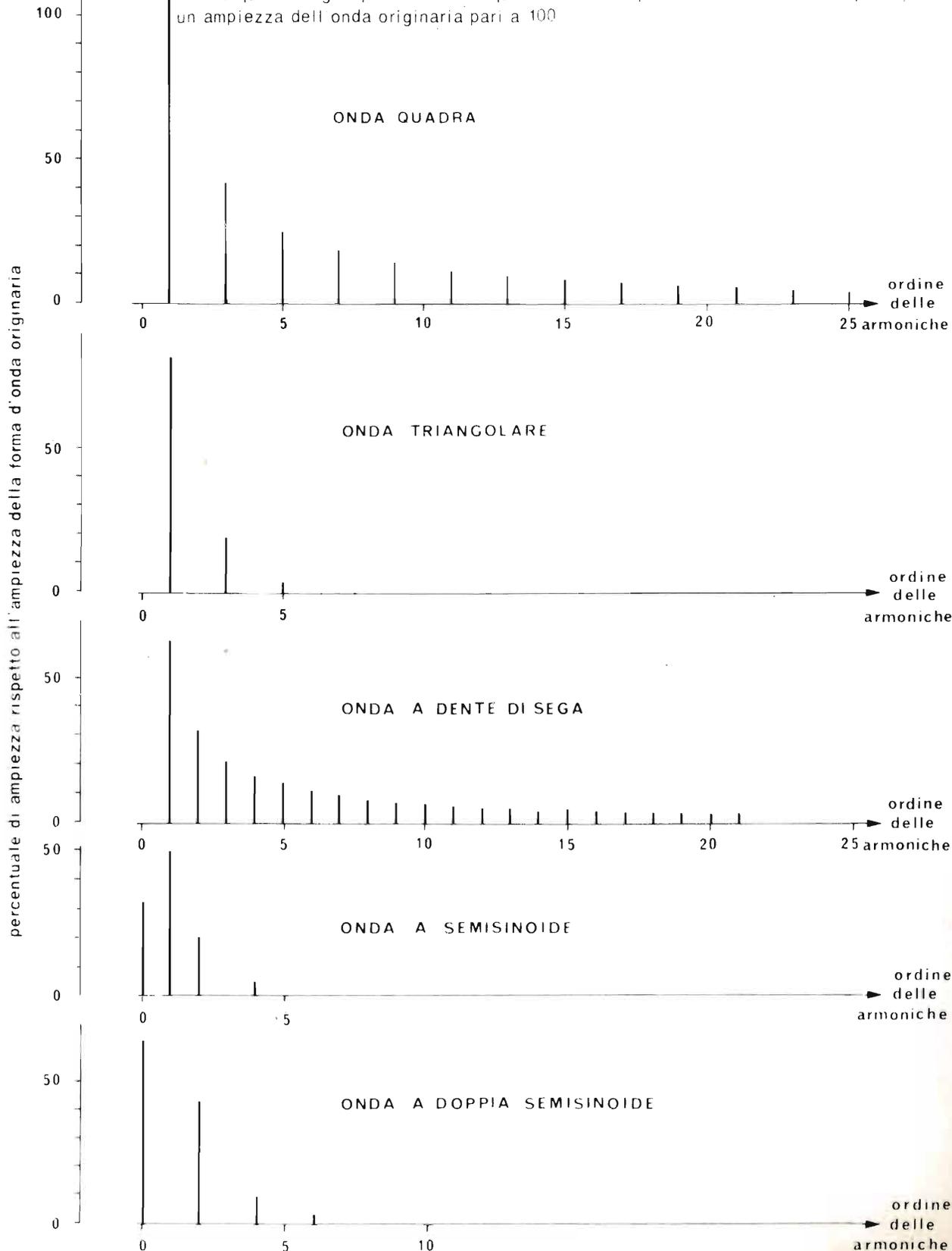
Sezione	: 1	Grandezze fondamentali
Capitolo	: 10	Nozioni preliminari
Paragrafo	: 10.5	Teorema di Fourier
Argomento	: 10.59	Esame comparativo delle forme d'onda

**SPETTRI DELLE FREQUENZE PER LE PRINCIPALI FORME D'ONDA**

Si chiamano spettri delle frequenze quei particolari diagrammi che riportano:

- sulle ascisse i valori delle frequenze delle armoniche
- sulle ordinate i valori delle ampiezze per ogni corrispondente armonica.

Diamo qui sotto gli spettri delle frequenze dei casi precedentemente contemplati per un'ampiezza dell'onda originaria pari a 100



Sezione	:	1	Grandezze fondamentali
Capitolo	:	11	Tensione Corrente Resistenza
Paragrafo	:	11.0	Indice del capitolo
Argomento	:	11.00	Indice del paragrafo

## Capitolo 11

# TENSIONE CORRENTE RESISTENZA

### Indice dei paragrafi e degli argomenti

par. 11.1 — **Concetti generali**

- arg. 11.10 — Indice delle pagine
- arg. 11.11 — Premesse
- arg. 11.12 — Principi fondamentali
- arg. 11.13 — Generatore di forza elettromotrice

par. 11.2 — **Tensione costante e corrente continua**

- arg. 11.20 — Indice delle pagine
- arg. 11.21 — Espressioni del livello energetico
- arg. 11.22 — Espressioni della corrente elettrica

par. 11.3 — **Tensione variabile unidirezionale**

- arg. 11.30 — Indice delle pagine
- arg. 11.31 — Composizione di due valori
- arg. 11.32 — Modulazione di corrente continua
- arg. 11.33 — Risultante da modulazione di corrente continua

par. 11.4 — **Corrente variabile unidirezionale**

- arg. 11.40 — Indice delle pagine
- arg. 11.41 — Composizione di due valori
- arg. 11.42 — Modulazione di corrente continua

par. 11.5 — **Tensione alternata**

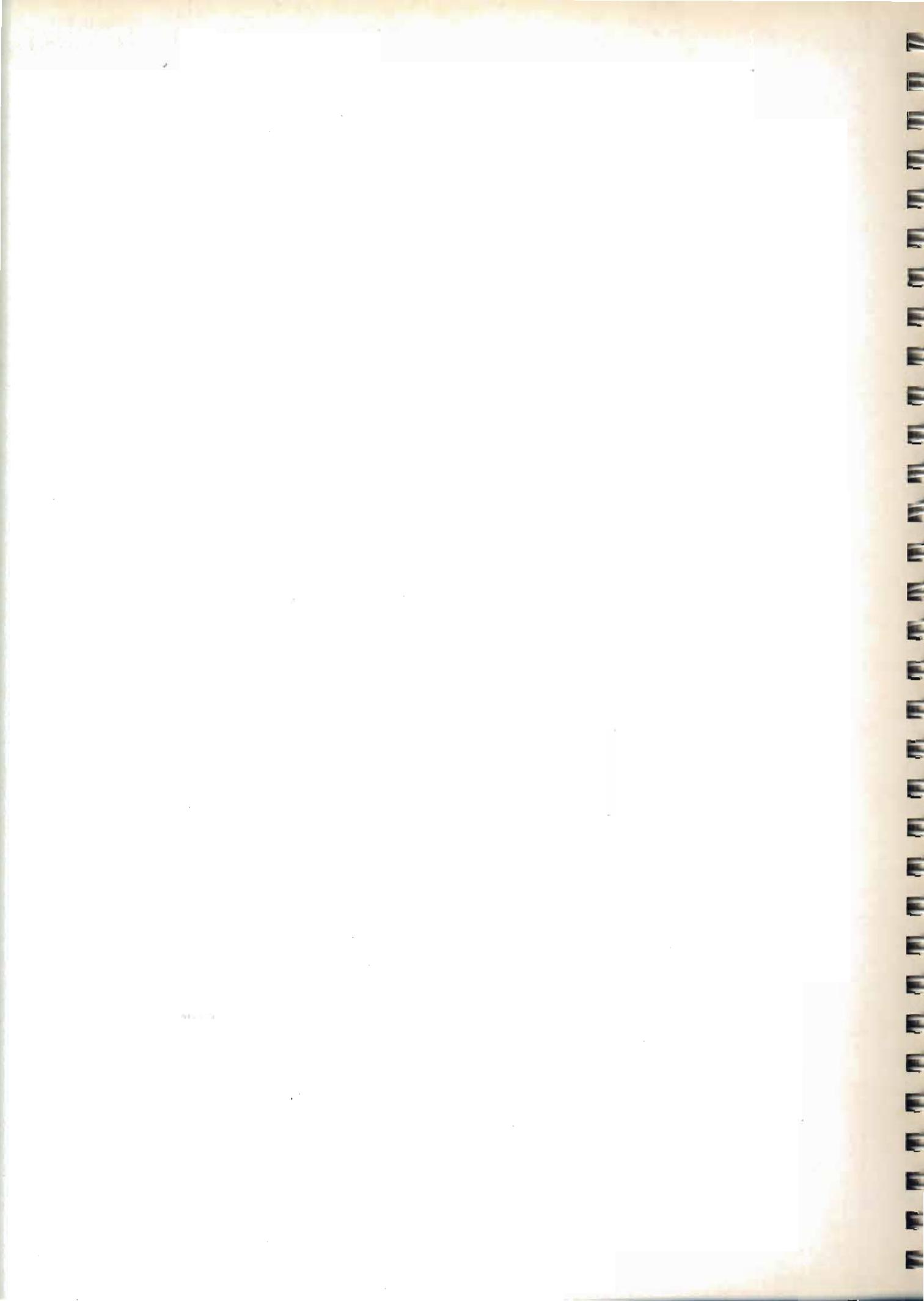
- arg. 11.50 — Indice delle pagine
- arg. 11.51 — Concetti generali
- arg. 11.52 — Valori caratteristici

pag. 11.6 — **Corrente alternata**

- arg. 11.60 — Indice delle pagine
- arg. 11.61 — Concetti generali
- arg. 11.62 — Valori caratteristici

par. 11.7 — **Resistenza a statica e resistenza differenziale**

- arg. 11.70 — Indice delle pagine
- arg. 11.71 — Panoramica generale
- arg. 11.72 — Caratteristica della resistenza perfetta
- arg. 11.73 — Caratteristica di una resistenza non lineare
- arg. 11.74 — Elementi a caratteristica non lineare — Evi



Sezione	:	1	Grandezze fondamentali
Capitolo	:	11	Tensione Corrente Resistenza
Paragrafo	:	11.1	Concetti generali
Argomento	:	11.10	Indice del paragrafo

## Paragrafo 11.1

# CONCETTI GENERALI

### Indice degli argomenti e delle pagine

arg. 11.11 — **Premesse**

pag. 1 — Tensione e corrente  
Rapporti statici  
Rapporti dinamici

pag. 2 — Mettiamoci d'accordo sugli aggettivi

arg. 11.12 — **Principi fondamentali**

pag. 1 — Forza elettromotrice e tensione  
pag. 2 — Generatore di tensione, generatore di corrente

arg. 11.13 — **Generatore di forza elettromotrice**

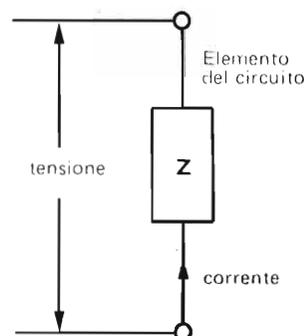
pag. 1 — Diagramma generale di funzionamento di un generatore di f.e.m.  
pag. 2 — Caratteristica di lavoro di un generatore di f.e.m.



## TENSIONE E CORRENTE

In questo capitolo 11 vogliamo mettere in evidenza i concetti di tensione e di corrente, che i principianti spesso confondono.

Chiariti questi concetti, ci soffermiamo su due grandezze fra loro reciproche, che derivano dal rapporto che quelle due grandezze fondamentali stabiliscono fra di loro quando si trovano ad operare su un elemento del circuito.



## RAPPORTI STATICI

Abbiamo già visto in 10.21, quando consideravamo la Legge di Ohm, che esiste una reciprocità di rapporti e abbiamo chiamato

$$\text{resistenza (in ohm)} \quad R = \frac{\text{il valore della tensione (in volt)}}{\text{il valore della corrente (in ampere)}}$$

$$\text{conduttanza (in siemens)} \quad G = \frac{\text{il valore della corrente (in ampere)}}{\text{il valore della tensione (in volt)}}$$

Da questa definizione deriva che  $G = \frac{1}{R}$  e  $R = \frac{1}{G}$  per cui spesso si usa parlare indifferentemente dell'una (la resistenza) o dell'altra (la conduttanza). Più spesso si usa parlare unicamente di resistenza causando dei traumi ai principianti quando devono passare dal calcolo di un circuito parallelo a quello di un circuito serie e viceversa.

## RAPPORTI DINAMICI

A complicare le idee al principiante interviene il concetto di resistenza differenziale, e quindi di conduttanza differenziale, che nel campo dell'elettronica sono di fondamentale importanza.

Conviene fin d'ora ricordare che l'elettronica è principalmente orientata nelle applicazioni delle variazioni di valori di tensione e di corrente intorno ad un valore medio di queste.

Nella maggioranza dei casi, e spesso di proposito, il comportamento fra tensione e corrente in un elemento del circuito non si mantiene ugualmente proporzionale per qualsiasi valore di esse.

E' sufficiente per le applicazioni pratiche che certi elementi del circuito (i transistor, ad esempio) vengano costruiti in modo da mantenere costante entro un ampio intervallo di valori il rapporto fra le variazioni di tensione e le corrispondenti variazioni di corrente.

E' questo il concetto di resistenza differenziale o dinamica, sul quale non ci stancheremo di parlare ogni volta che lo riterremo opportuno.

Sezione	: 1	Grandezze fondamentali
Capitolo	: 11	Tensione Corrente Resistenza
Paragrafo	: 11.1	Concetti generali
Argomento	: 11.11	Premesse

### Mettiamoci d'accordo sugli aggettivi

Nel corso della trattazione spesso incontreremo gli aggettivi sottoelencati sui quali vogliamo dare delle definizioni per la corretta applicazione anche se spesso l'autore nella fretta qualche volta si è lasciato trasportare dalle abitudini del gergo.

Ecco gli aggettivi affiancati da brevi commenti:

- continua : trattasi di corrente che scorre in un solo senso senza cambiare di valore.  
Da applicarsi più alla corrente che alla tensione.  
Si parla infatti di "corrente continua" anche quando si tratta di fenomeni non legati alla corrente ed in questo caso si dovrebbe parlare più di "energia" che di corrente.  
Paradossalmente si dice comunemente: una tensione in corrente continua.!
- costante : trattasi di tensione che mantiene inalterato il suo valore nel tempo.  
Da riferirsi più alla tensione che alla corrente.  
Di regola una batteria è un generatore di tensione costante, ma il gergo ci fa dire: un generatore di corrente continua.
- unidirezionale : è indicato per correnti e tensioni variabili, mantenendo la medesima polarità.  
Per questo motivo una variabile unidirezionale è sempre polarizzata (v. sotto).
- alternata : è usato per indicare variabili dove l'inversione di polarità avviene più o meno regolarmente mantenendo un valore medio uguale a zero. Queste possono essere:
- |              |  |
|--------------|--|
| Aperiodica   | quando non rispondono a leggi periodiche ben definite  |
| Sinoidale    | } quando le alternative periodiche presentano forme ben definite e caratterizzate dall'aggettivo appropriato |
| Quadra       |  |
| Rettangolare |  |
| Triangolare  |  |
- ecc. (v. 10.43)
- polarizzata : si dice per una corrente o una tensione alternata che presentino un valore medio diverso da zero (positivo o negativo).  
in questo caso può verificarsi l'inversione di polarità qualora valori istantanei di polarità opposte a quella del valore medio superino il valore medio stesso.

Tensioni e correnti alternate o comunque variabili nel tempo sono quelle che maggiormente vengono sfruttate nella tecnica elettronica.

La tensione costante, salvo qualche rara eccezione, viene usata esclusivamente per l'alimentazione delle apparecchiature a correnti deboli.

La corrente continua, intesa come corrente, non come energia, e la tensione alternata hanno rare applicazioni nella tecnica delle correnti deboli e sono largamente usate quale servomezzo nell'elettronica industriale.

Per la lettura di questa pagina si ritengono noti i concetti espressi in 10.43.

Sezione : 1 Grandezze fondamentali  
 Capitolo : 11 Tensione Corrente Resistenza  
 Paragrafo : 11.1 Concetti generali  
 Argomento : 11.12 Principi fondamentali

Codice Pagina  
 11.12 1

**FORZA ELETTRICITRICE E TENSIONE**

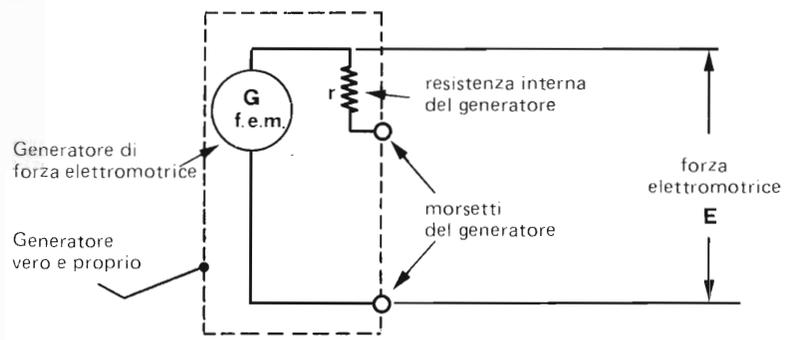
I cosiddetti "Generatori di tensione" sono in realtà

**Generatori di Forza Elettromotrice**

Tensione e Forza elettromotrice sono grandezze della stessa natura (si misurano infatti in volt), ma bisogna distinguerle.

Questa necessità di distinzione è dovuta al fatto che i generatori di forza elettromotrice posseggono una resistenza interna, che modifica molto le cose, soprattutto in elettronica.

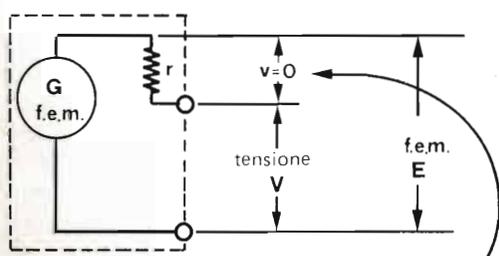
Stando al nostro metodo rappresentativo, disegniamo il generatore così:



Per capire questa pagina bisogna aver chiari i concetti espressi in 10.10 e 10.21

**GENERATORE A VUOTO**

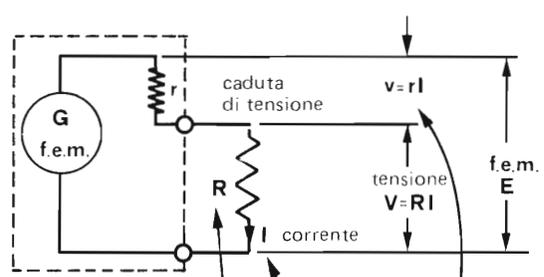
(a circuito aperto o senza carico)



Non essendoci passaggio di corrente non c'è caduta di tensione su  $r$  ( $v = 0$ )  
 Perciò la tensione  $V$  è uguale alla f.e.m.  $E$  cioè

$V = E$

**GENERATORE SOTTO CARICO**



Il resistore  $R$  che simula un carico provoca la corrente  $I$  la quale crea ai capi di  $r$  una caduta di tensione

Perciò la tensione  $V$ , rispetto ad  $E$  diminuisce di questa c.d.t. cioè

$V = E - v$

In altre parole:

si forma un partitore di tensione che abbassa tanto maggiormente la tensione  $V$  quanto più forte è la corrente  $I$  (e ciò avviene quando  $R$  diminuisce) ed essendo costante la f.e.m. impressa, resterà inalterata la somma

$v + V = E$

**ATTENZIONE**

Forza Elettromotrice e Tensione non sono sinonimi, ma sono due entità ben distinte da non confondere!

**GENERATORE DI TENSIONE E GENERATORE DI CORRENTE**

All'origine dei fenomeni elettrici si immagina sempre una tensione, così come all'origine dei fenomeni idraulici si immagina sempre un dislivello.

E' più facile immaginare una tensione che genera una corrente che non una corrente che genera una tensione. Una volta assimilato il principio di reciprocità, non dovrebbero esserci più dubbi, che si possa creare una tensione sfruttando una corrente che, attraversando una resistenza, alza il potenziale di un suo terminale rispetto all'altro.

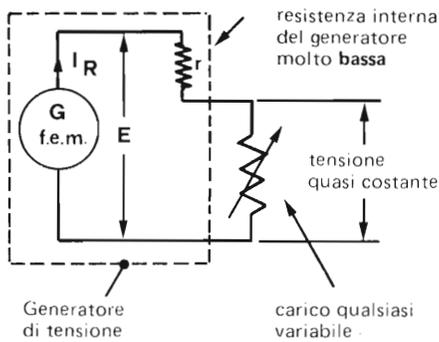
Ora vediamo un altro importante concetto della reciprocità.

**GENERATORE DI TENSIONE**

E' facile immaginare un generatore di tensione.

Da un generatore di tensione noi chiediamo una tensione costante (nei limiti del possibile) in qualsiasi condizione di carico.

Per arrivare a questo occorre una



Con una resistenza interna molto bassa si hanno modeste cadute di tensione al variare del carico e quindi la tensione di uscita resta sensibilmente costante.

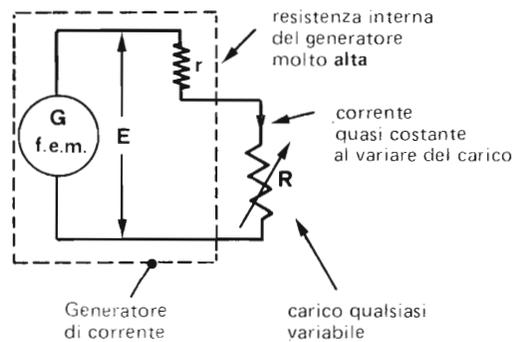
Il principio di reciprocità è espresso anche in 10.21 dove si nota che una tensione  $V$  genera una corrente  $i = \frac{V}{R}$  e che una corrente  $i$  genera una tensione  $V = Ri$

**GENERATORE DI CORRENTE**

Non è facile immaginare un generatore di corrente.

Da un generatore di corrente noi chiediamo una corrente costante (nei limiti del possibile) in qualsiasi condizione di carico.

Per arrivare a questo occorre una



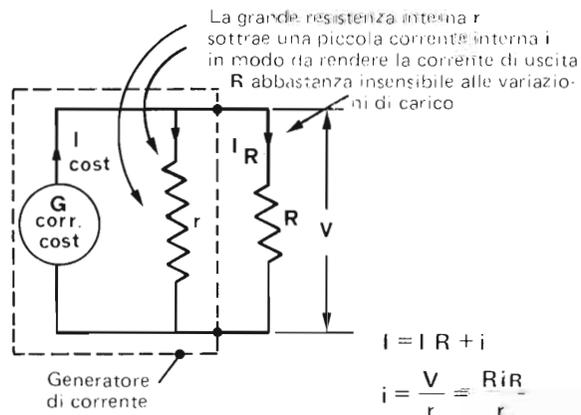
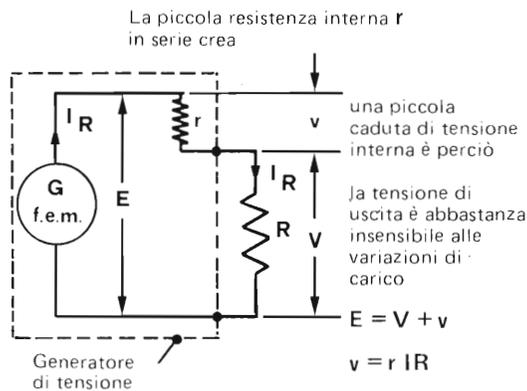
Con una resistenza interna molto alta si hanno modeste variazioni di corrente al variare del carico e quindi la corrente di uscita resta sensibilmente costante.

Per compensare la forte caduta di tensione è necessario generare un'alta forza elettromotrice.

Per completare il concetto di reciprocità si usa immaginare un effettivo

**GENERATORE DI CORRENTE COSTANTE**

con la sua alta resistenza interna in parallelo





**DIAGRAMMA GENERALE DI FUNZIONAMENTO DI UN GENERATORE DI F.E.M.**

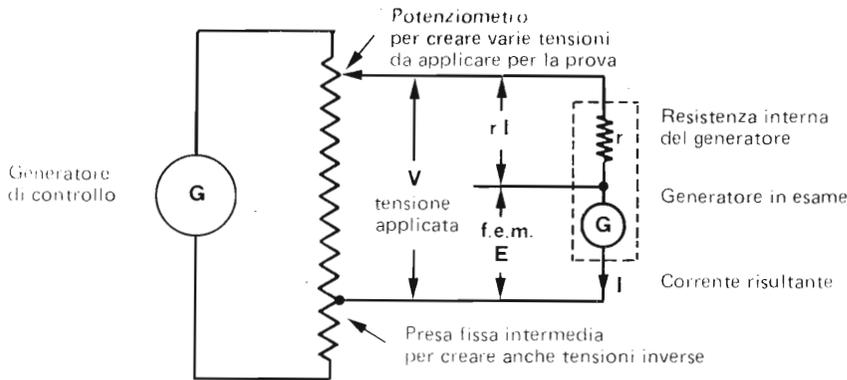
Per studiare il comportamento di un generatore di forza elettromotrice si sottopone il generatore in esame a varie tensioni provenienti da un altro generatore.

Si fanno variare queste tensioni in modo che esse si presentino ora positive ora negative; ora maggiori, ora minori della f e m del generatore in esame.

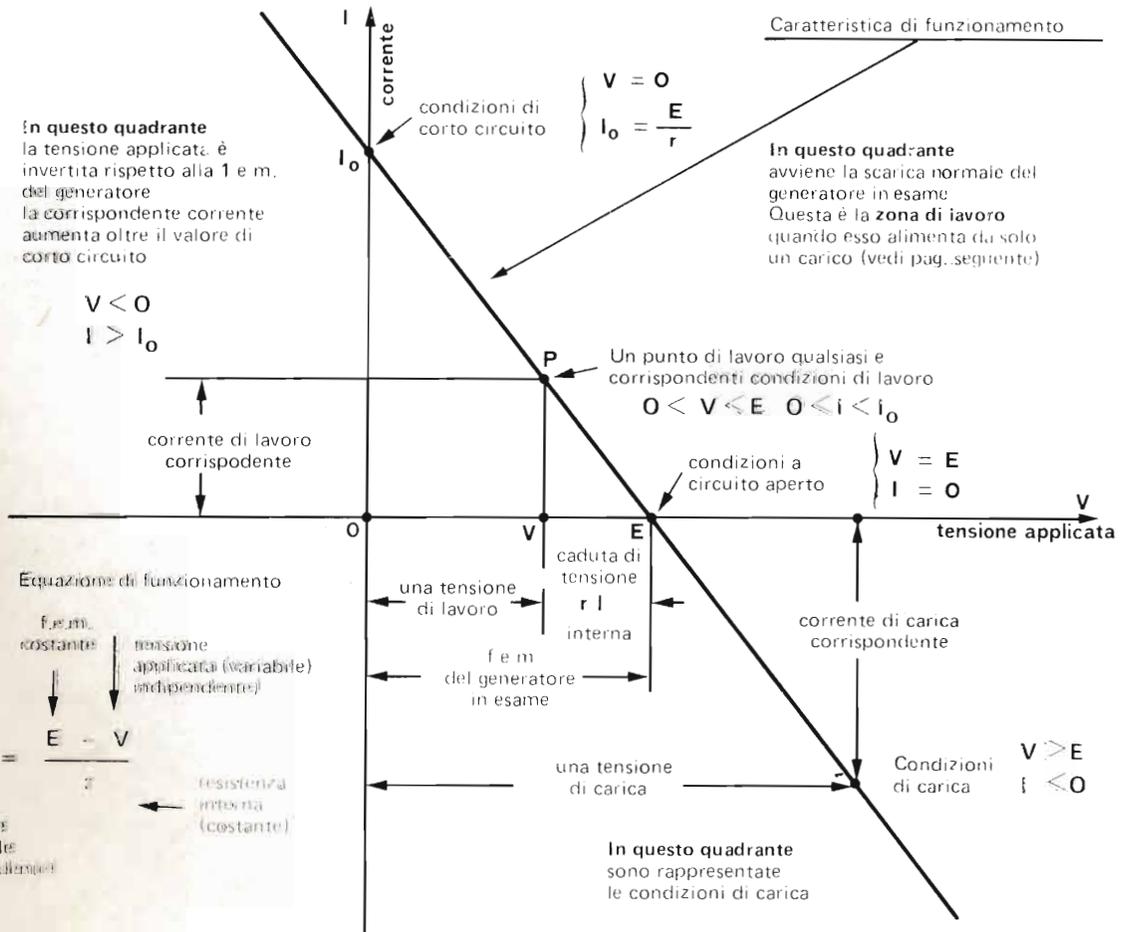
Si annotano i vari valori della tensione applicata ed i corrispondenti valori di corrente.

Con le coppie di valori (tensione e corrente) si costruisce un diagramma che commenteremo;

**SCHEMA DEL CIRCUITO**

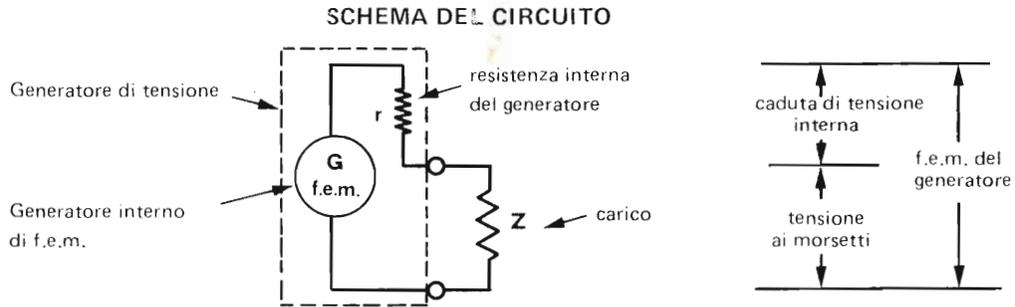


**DIAGRAMMA DI FUNZIONAMENTO**

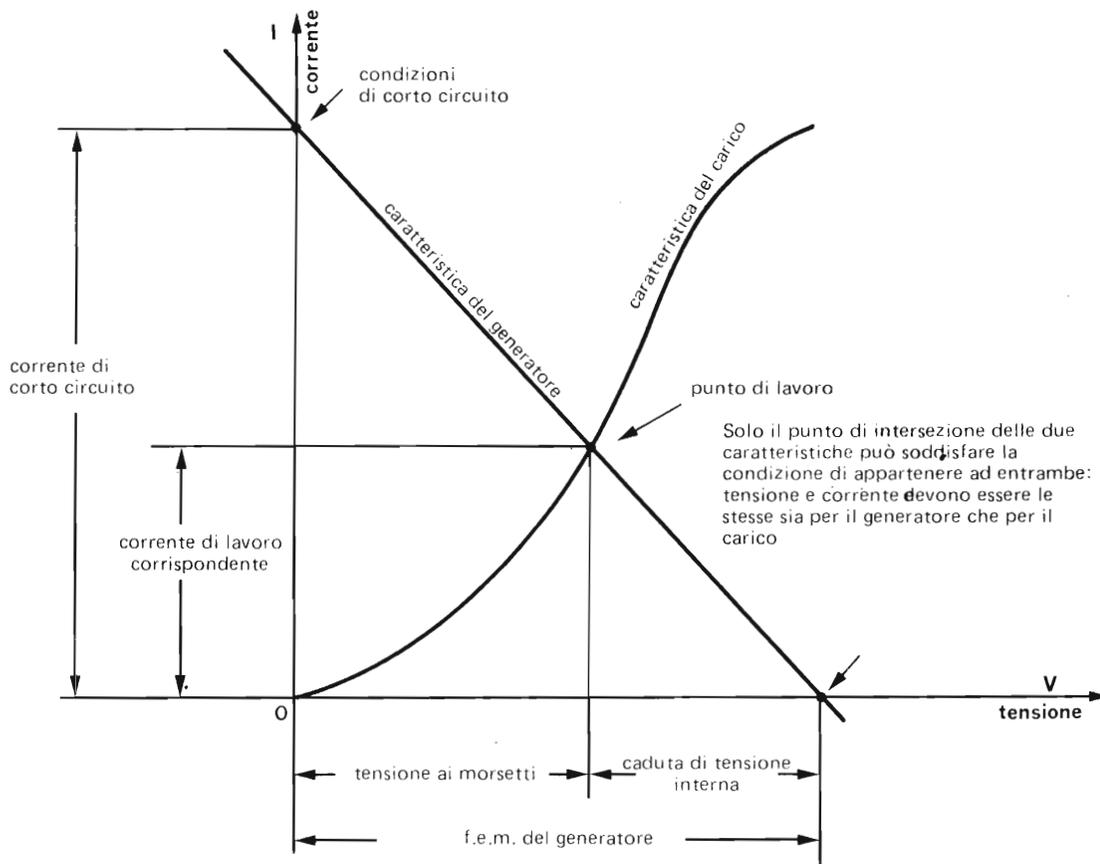


**CARATTERISTICA DI LAVORO DI UN GENERATORE DI F.E.M.**

Combinando sullo stesso diagramma la caratteristica del generatore e quella del carico si possono ricavare concetti molto interessanti.



**DIAGRAMMA DI LAVORO** — Del diagramma illustrato nella pagina precedente si esamina solo il quadrante riguardante la **zona di lavoro**



**Commento** - La tensione di lavoro per un dato generatore dipende dal carico

Se si vuole che essa vari poco al variare del carico, occorre munirsi di un generatore che abbia una resistenza interna molto bassa, cioè

- cioè ancora
- una corrente di corto circuito molto alta.
  - una caratteristica del generatore molto piatta (quasi orizzontale)

Sezione	:	1	Grandezze fondamentali
Capitolo	:	11	Tensione Corrente Resistenza
Paragrafo	:	11.2	Tensione costante e corrente continua
Argomento	:	11.20	Indice del paragrafo

## **Paragrafo 11.2**

# **TENSIONE COSTANTE E CORRENTE CONTINUA**

### **Indice degli argomenti e delle pagine**

- arg. 11.21 – **Espressioni del livello energetico**
  - pag. 1 – Potenziale  
Modifica dei potenziali  
Distinzioni
  - " 2 – Concetto di caduta di tensione  
Paragoni idraulici
  
- arg. 11.22 – **Espressioni della corrente elettrica**
  - pag. 1 – Quantità di elettricità – Unità di misura  
Corrente elettrica – Unità di misura  
Corrente non significa velocità delle cariche
  - " 2 – Paragoni fra corrente d'acqua e corrente elettrica



Sezione	:	1	Grandezze fondamentali
Capitolo	:	11	Tensione Corrente Resistenza
Paragrafo	:	11.1	Tensione costante e Corrente continua
Argomento	:	11.21	Espressioni del livello energetico

### POTENZIALE

E' il livello energetico a cui una determinata **quantità di elettricità** si trova rispetto ad altre per varie cause:

- sfregamento elettrostatico, atmosferico, ecc.
- azione elettromeccanica (macchine elettriche)
- azione elettrochimica (batterie, ecc.)

Il potenziale può essere paragonato al livello a cui una **quantità di acqua** si trova rispetto ad altre per varie cause:

- evaporazione solare e ricondensazione in quota
- innalzamento con macchine idrauliche (pompe)

### MODIFICA DEI POTENZIALI

I livelli energetici delle cariche (quantità di elettricità) possono essere modificati per sfruttare le proprietà in vari modi:

- a) - Mediante trasformazione di altra energia non elettrica, come già detto.
  - chimicamente (batterie, accumulatori, ecc.)
  - elettromeccanicamente (macchine elettriche)
- b) - Mediante il controllo della corrente elettrica,
  - elettricamente ed elettronicamente (elementi passivi percorsi da corrente)
  - elettromagneticamente (trasformatori)

Il sistema elettronico di controllo di una corrente elettrica è molto usato in elettronica e sul retro è dato un paragone idraulico.

In altre parole: inserire un resistore e in un circuito attraversato da corrente è un sistema molto comodo e semplice per provocare una differenza di potenziale.

$$V = R I$$

valore della differenza di potenziale

↑

↑

↑

valore della corrente

valore della resistenza

Così come è molto semplice provocare un dislivello in un fiume inserendovi un ostacolo (sbarramento).

### DISTINZIONI

Vediamo di distinguere questi quattro termini che sembrano sinonimi.

- Potenziale:** (già detto) il livello energetico di una carica rispetto a un riferimento.
- Differenza di potenziale:** due punti appartenenti allo stesso circuito posseggono fra di loro una differenza di potenziale rispetto a un riferimento comune (come la differenza di altezza di due montagne calcolata riferendo ciascuna al livello del mare).
- Tensione:** è generalmente la differenza di potenziale provocata ai capi di un resistore in un circuito percorso da corrente.
- Caduta di tensione:** è la perdita di potenziale creata da un resistore in un circuito percorso da corrente.

Spesso nel gergo si confondono l'uno con l'altro senza commettere gravi errori.

### UNITA' DI MISURA

L'unità di misura di queste grandezze è il **volt** e corrisponde all'energia potenziale di un joule della carica di un coulomb.

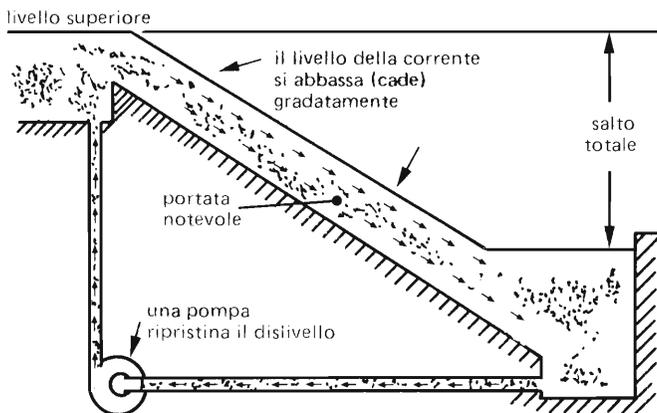
1975 - A. T. Gilardi - Proprietà riservata a termini di legge - Riproduzione vietata senza consenso  
 Fonti di informazione

**CONCETTO DI CADUTA DI TENSIONE -- PARAGONI IDRAULICI**

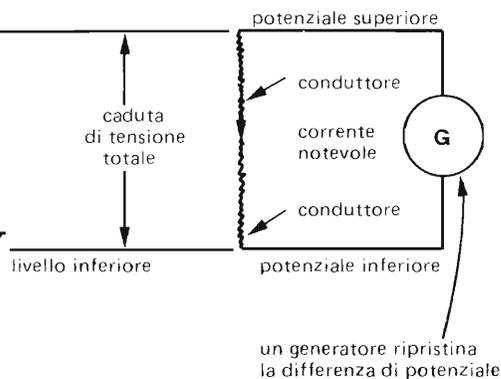
La corrente idraulica scorre dal livello superiore all'inferiore. La distribuzione dei livelli superficiali e il valore della portata dipendono dalla natura del canale e dalla presenza di ostacoli.

La corrente elettrica scorre dal potenziale superiore all'inferiore. La distribuzione dei potenziali e il valore della corrente dipendono dalla natura del conduttore e dalla presenza di resistori.

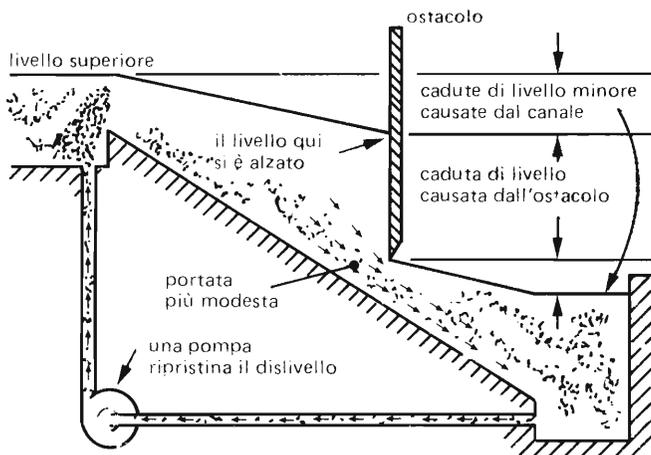
**CANALE LIBERO SENZA OSTACOLI**



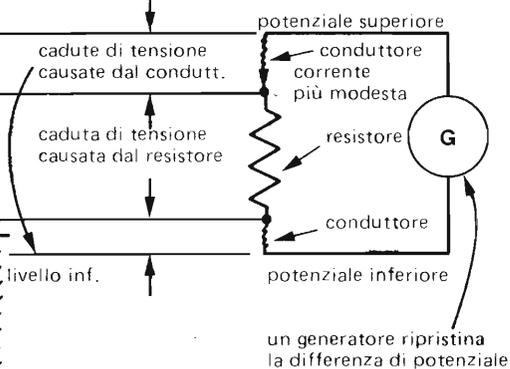
**CONDUTTORE UNICO  
CON RESISTENZA PROPRIA**



**CANALE CON OSTACOLO**

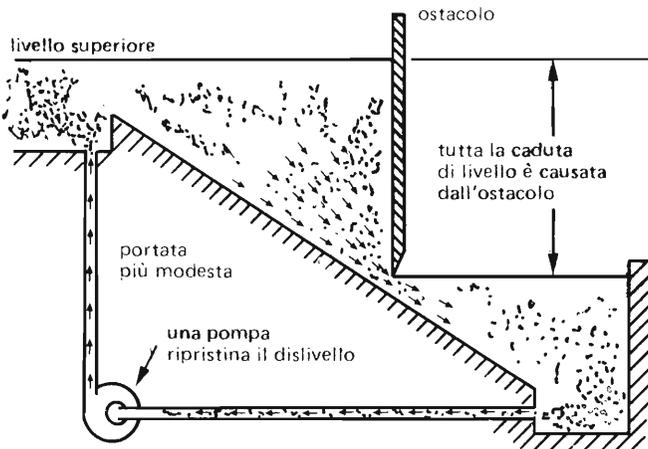


**CONDUTTORE CON RESISTORE**

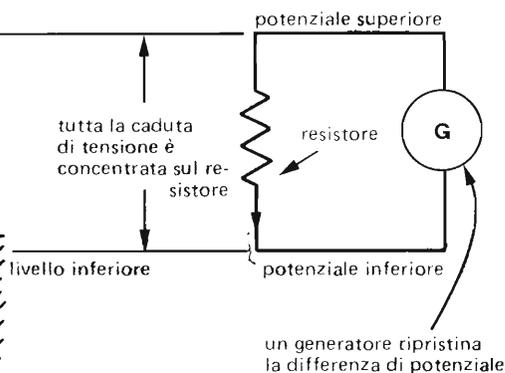


**SEMPLIFICAZIONI**

**CANALE MOLTO LISCIO  
che non crea cadute di livello**



**CONDUTTORE SENZA RESISTENZA PROPRIA  
che non crea cadute di tensione**



Sezione :	1	Grandezze fondamentali
Capitolo :	11	Tensione Corrente Resistenza
Paragrafo :	11.2	Tensione costante e Corrente continua
Argomento :	11.22	Espressioni della corrente elettrica

Codice	Pagina
11.22	1

### QUANTITÀ DI ELETTRICITÀ -- UNITÀ DI MISURA

Fin dalla sua scoperta l'elettricità è stata immaginata come un fluido e la corrente elettrica come questo fluido in movimento.

Come per i fluidi si era preso il chilogrammo (o il litro) per stabilire una quantità di materia, così per l'elettricità si è considerato il

#### COULOMB (simbolo C)

come quantità di elettricità (simbolo **Q**), v. 10.11-2.

### CORRENTE ELETTRICA -- UNITÀ DI MISURA

Una corrente elettrica (simbolo **I**), dunque consiste nel passaggio di una certa quantità di elettricità attraverso un conduttore nell'intervallo di tempo di un minuto secondo e si scrive:

$$\frac{\text{coulomb}}{\text{secondo}} \quad (\text{simbolo } \mathbf{C/sec})$$

Questa grandezza si chiama

#### AMPERE (simbolo A)

### CORRENTE NON SIGNIFICA VELOCITÀ DELLE CARICHE

Non si deve confondere la corrente con la velocità delle cariche elettriche così come non si confonde la portata di un corso d'acqua in kg/sec. (o litri/sec) con la velocità del liquido stesso (in metri/sec).

Una **stessa portata** in un corso d'acqua si può ottenere mediante:

- un canale largo e poco pendente (velocità bassa)
- un canale stretto e molto pendente (velocità alta)

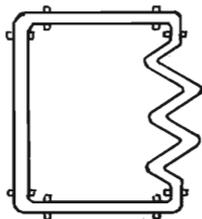
Elettricamente è la stessa cosa.

Una **stessa corrente elettrica** in un resistore si può ottenere mediante:

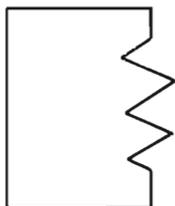
- un resistore di grande sezione con applicata una bassa tensione (cariche lente)
- un resistore di piccola sezione con applicata un'alta tensione (cariche veloci)

**PARAGONI FRA CORRENTE D'ACQUA E CORRENTE ELETTRICA**

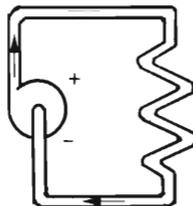
La presenza di elettroni in un conduttore può essere paragonata alla presenza di acqua in una tubazione



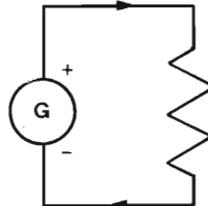
In questa tubazione c'è acqua ferma



In questo circuito non circolano elettroni



Per mettere in moto l'acqua bisogna inserire una pompa (generatore di pressione)



Per far circolare gli elettroni bisogna inserire un generatore di tensione

Se la differenza di pressione fra ingresso e uscita della pompa è costante, in questa tubazione l'acqua circola a portata costante (cioè i kg/sec oppure i litri/sec sono uguali in tutti i punti)

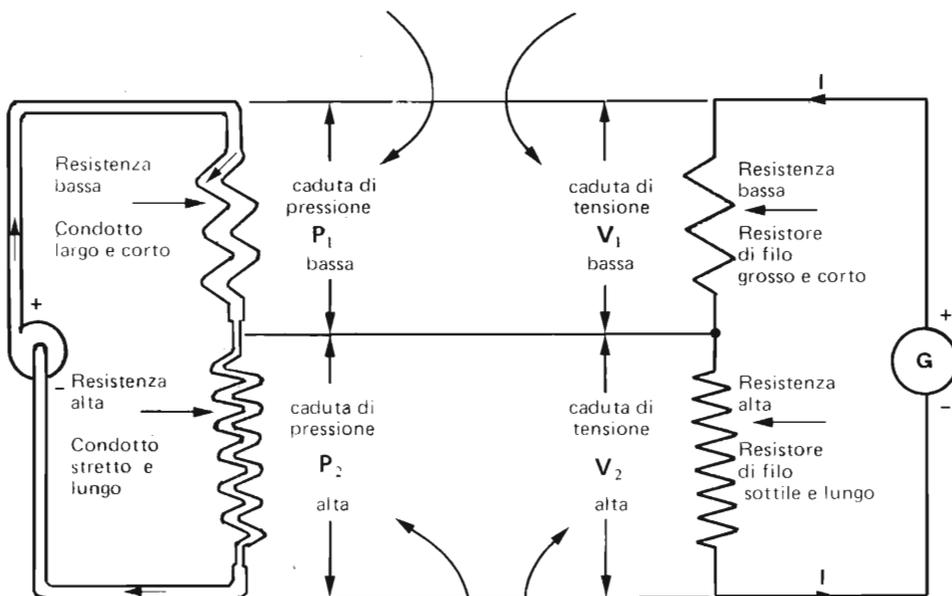
Se la differenza di potenziale ai capi del generatore è costante, in questo circuito circola la stessa corrente (cioè i coulomb/sec = ampere sono uguali in tutti i punti)

Per via delle differenti dimensioni dei condotti si avranno differenti velocità e perciò anche differenti cadute di pressione.

Per via delle diverse resistenze inserite, si avranno differenti velocità e perciò anche differenti cadute di tensione.

Infatti in questo tratto la velocità dell'acqua sarà bassa e la caduta di pressione sarà pure bassa

Infatti in questo tratto la velocità degli elettroni sarà bassa e la caduta di tensione sarà pure bassa



In questo tratto invece la velocità sarà alta e la caduta di pressione pure alta

In questo tratto invece la velocità sarà alta e la caduta di tensione pure alta

Sezione	:	1	Grandezze fondamentali
Capitolo	:	11	Tensione Corrente Resistenza
Paragrafo	:	11.3	Tensione variabile unidirezionale
Argomento	:	11.30	Indice del paragrafo

Codice	Pagina
11.30	1

## Paragrafo 11.3

# TENSIONE VARIABILE UNIDIREZIONALE

### Indice degli argomenti e delle pagine

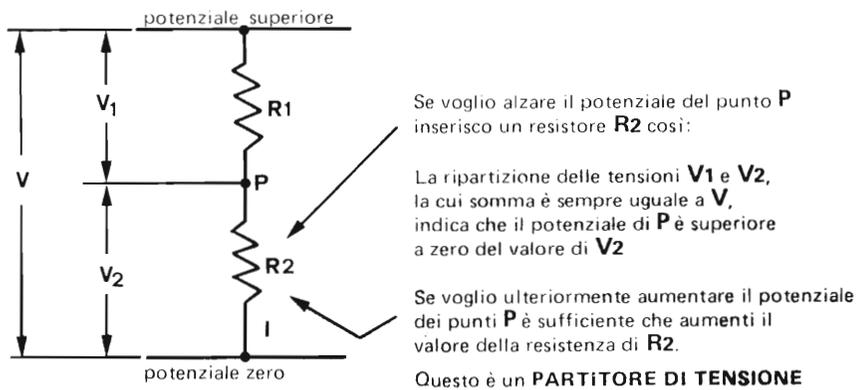
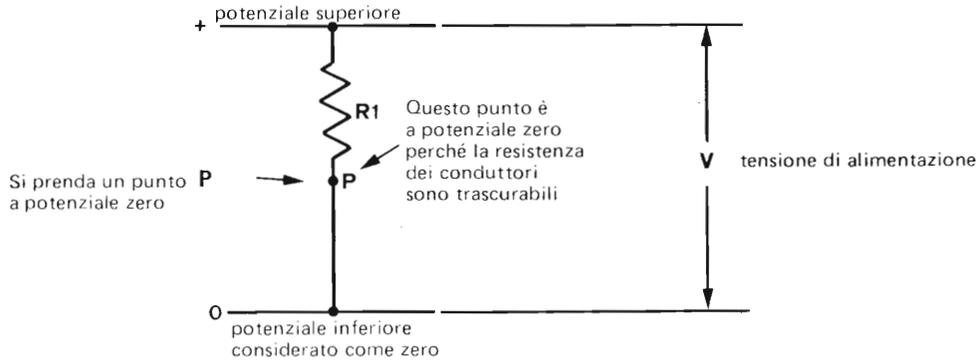
- arg. 11.31 — **Principi fondamentali**  
pag. 1 — Applicazioni e verifica di tensioni variabili unidirezionali  
" 2 — Partitore di tensione e potenziometro
- arg. 11.32 — **Composizione di due valori**  
pag. 1 — Tensione risultante dalla composizione di alternata e continua  
" 2 — Diagrammi dimostrativi sulla composizione
- arg. 11.33 — **Risultante da modulazione di corrente continua**  
pag. 1 — Tensione variabile unidirezionale risultante da modulazione  
" 2 — Diagramma illustrativo sulla modulazione di corrente continua





**PARTITORE DI TENSIONE E POTENZIOMETRO**

Insistiamo in questo concetto che è fondamentale nei circuiti elettronici.



**ATTENZIONE PERO' ! :**

- 1) Man mano che aumenta **R2** la corrente **I** diminuisce
- 2) Il potenziale **P** (rispetto a zero) non potrà mai superare il potenziale superiore **V**
- 3) Al limite il potenziale di **P** potrà essere molto vicino al potenziale **V** solo quando **R2** sia molto maggiore di **R1** ( $R2 \gg R1$ )
- 4) In questo caso però la corrente **I** diventa piccolissima (infinitesima)
- 5) Per evitare questo si può diminuire **R1** man mano che aumenta **R2** affinché la resistenza totale **R1 + R2** resti costante
- 6) Abbiamo scoperto il **POTENZIOMETRO**

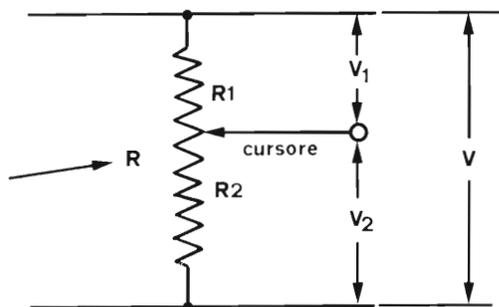
$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V$$

$$I = \frac{V}{R_1 + R_2}$$

Infatti esso è costituito da un unico resistore **R** provvisto di un cursore che striscia sulla sua superficie, dividendo così la resistenza **R** del resistore in due

**R1 ed R2**

$$R = R_1 + R_2$$



Dettagli, forme e strutture in altra parte da trattare.

### TENSIONE RISULTANTE DALLA COMPOSIZIONE DI ALTERNATA E CONTINUA

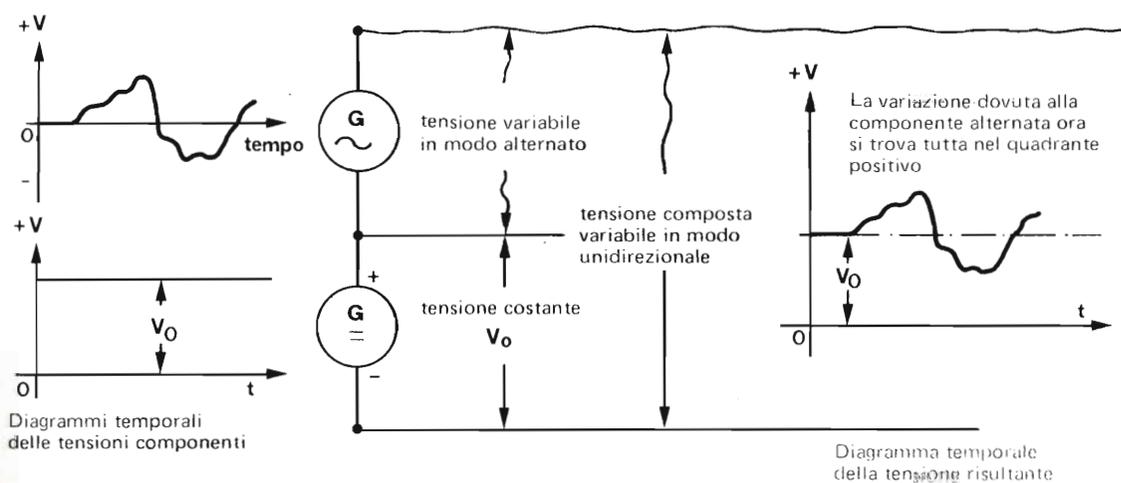
Questo modo di sommare

una tensione alternata con una tensione continua

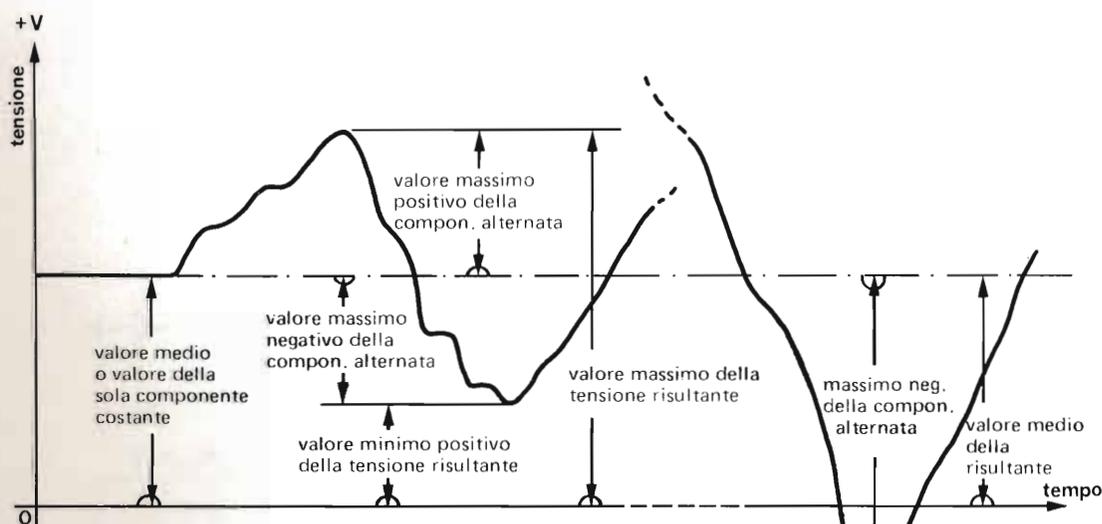
è detto anche polarizzazione di una tensione alternata e la risultante si chiama segnale polarizzato.

Per effettuare la composizione, basta semplicemente collegare in serie al generatore del segnale un generatore di tensione costante.

Se il collegamento è fatto col polo positivo, l'escursione del segnale sarà unidirezionale dalla parte positiva, sempre che l'ampiezza non superi il valore della componente continua.



### ANALISI DEL DIAGRAMMA TEMPORALE DELLA TENSIONE RISULTANTE



**N.B.** - Il valore medio della risult. coincide con il valore della compon. costante.  
 - I valori della comp. alternata partono dalla linea del valore medio.  
 - I valori della risult. partono dalla linea delle ascisse.

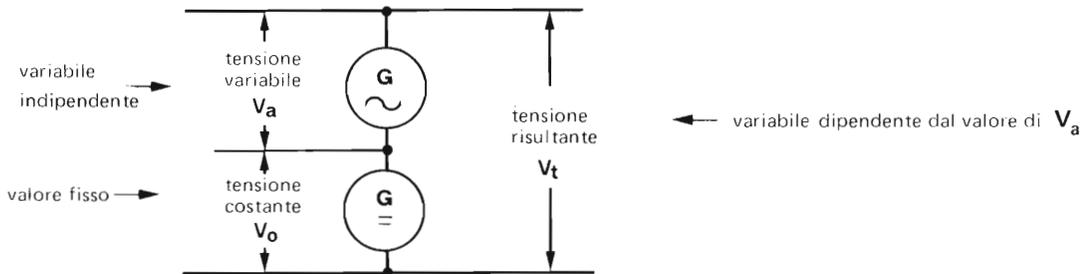
Se si vuole che la tensione risultante rimanga sempre unidirezionale e indispensabile che essa non vada mai al di sotto della linea delle ascisse. Se ciò si verificasse, significa che in quel tratto la tensione si inverte di polarità.

In questo caso è indispensabile che il valore massimo negativo della componente alternata non superi il valore medio (o valore della sola componente continua).



DIAGRAMMI DIMOSTRATIVI SULLA COMPOSIZIONE

Riprendiamo il circuito illustrato a pag. 1.



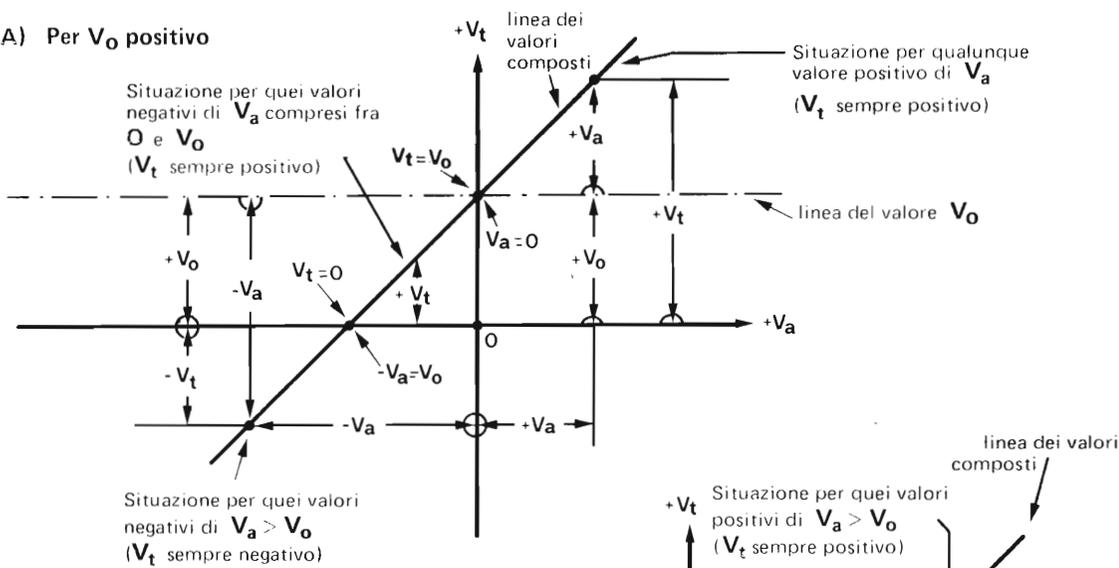
Con questa disposizione è inequivocabile che  $V_t$  cresca al crescere di  $V_a$ .  
Infatti dalla figura qui sopra è chiaro che

$$V_t = V_o + V_a$$

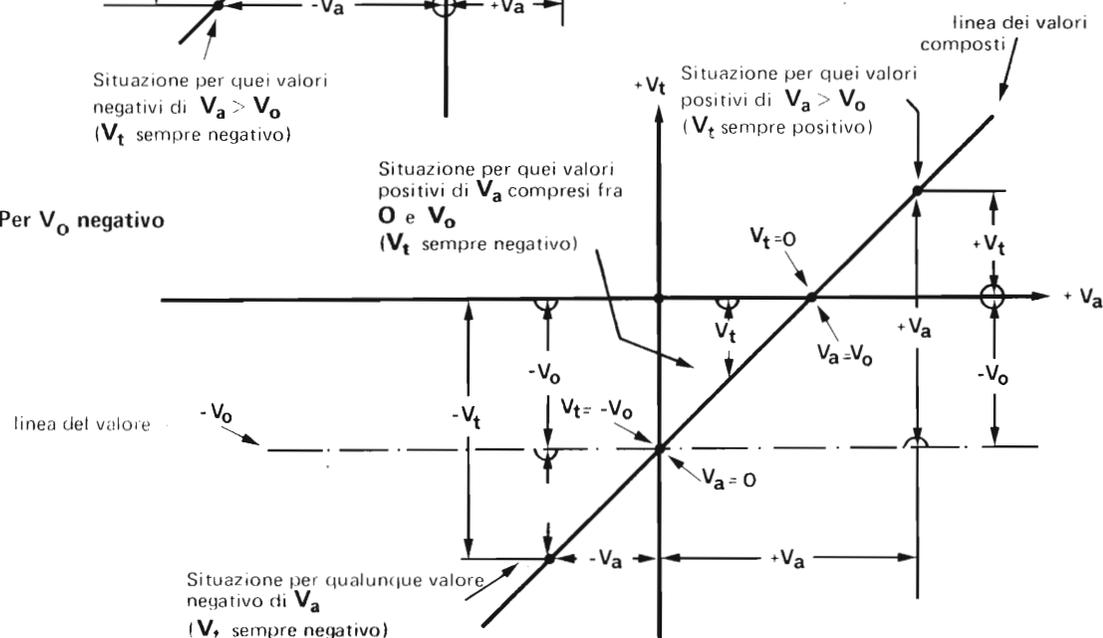
← tensione risultante
← tensione variabile
← tensione fissa o di polarizzazione

I diagrammi che esprimono questa relazione di  $V_t$  in funzione di  $V_a$  sono i seguenti:

A) Per  $V_o$  positivo



B) Per  $V_o$  negativo



TENSIONE VARIABILE UNIDIREZIONALE RISULTANTE DA MODULAZIONE

E' il caso molto frequente che si incontra, specie negli amplificatori, per ricavare un segnale manipolato da un dispositivo ad impedenza controllata.

Esaminiamo ora il solo circuito di uscita del dispositivo a impedenza controllata (partitore di tensione controllata).

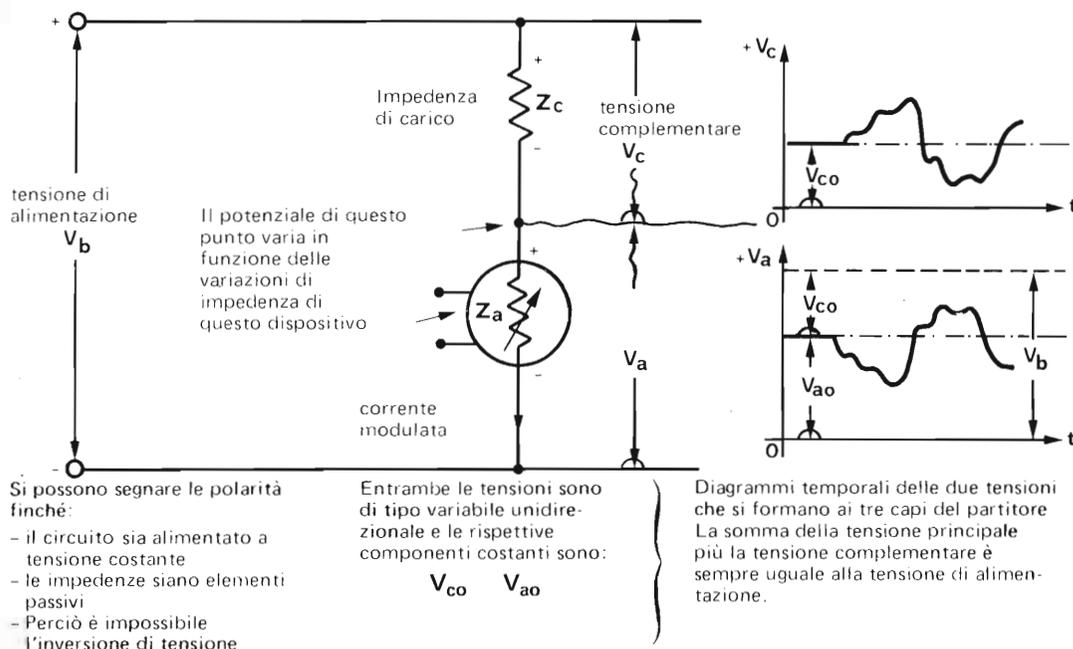
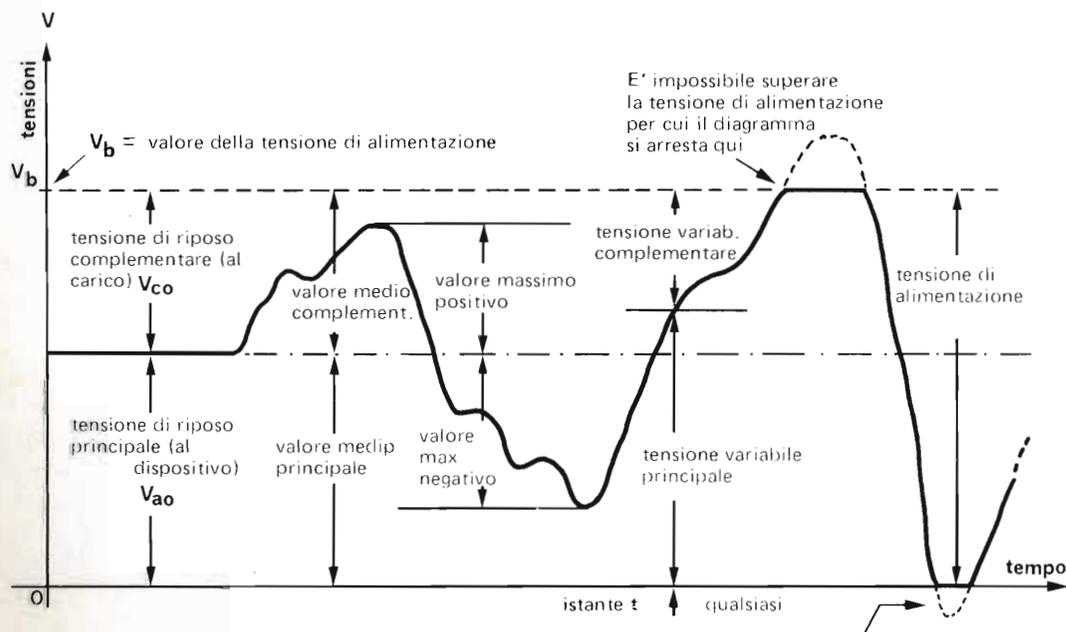


DIAGRAMMA SINOTTICO DELLA SITUAZIONE



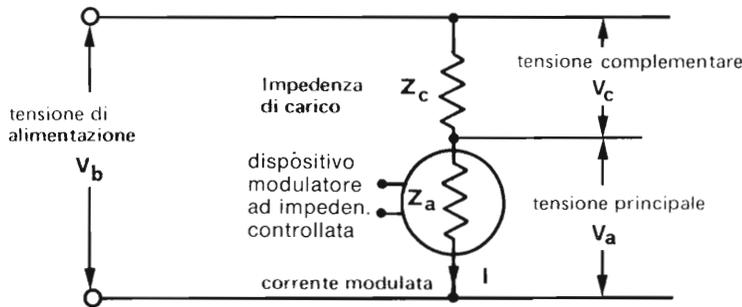
N.B.

- il valore medio della risultante coincide con il valore della componente costante.
- i valori della componente alternata partono dalla linea del valore medio.
- I valori della risultante partono dalla linea delle ascisse.

Suggerimento: confrontare con 11.42 - 1

**DIAGRAMMA ILLUSTRATIVO SULLA MODULAZIONE DI CORRENTE CONTINUA**

Riprendiamo il circuito illustrato a pag. 1.



Con questa disposizione, solo la tensione complementare  $V_c$  cresce col crescere della corrente e viceversa; pertanto

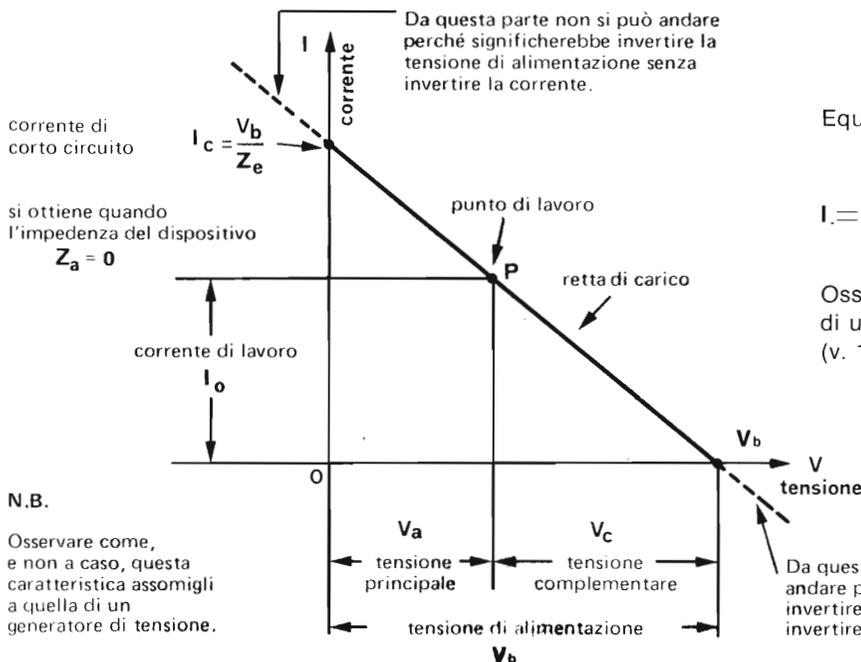
la tensione principale  $V_a$  diminuisce col crescere della corrente, perché

$$\begin{matrix} \text{tensione principale} \longrightarrow & V_a & + & V_c & = & V_b & \longleftarrow \text{tensione di alimentazione} \\ & \text{tensione complementare} \longleftarrow & & & & & \text{(costante)} \end{matrix}$$

e perciò

$$V_a = V_b - V_c$$

Vediamo ora e commentiamo il diagramma che esprime come varia la tensione principale in funzione della corrente e viceversa (caratteristica di uscita).



Da questa parte non si può andare perché significherebbe invertire la tensione di alimentazione senza invertire la corrente.

corrente di corto circuito

$$I_c = \frac{V_b}{Z_e}$$

si ottiene quando l'impedenza del dispositivo  $Z_a = 0$

corrente di lavoro

$I_o$

**N.B.**

Osservare come, e non a caso, questa caratteristica assomigli a quella di un generatore di tensione.

Equazione di funzionamento

$$I = \frac{V_b - V_a}{Z_c}$$

Osservare l'analogia con quella di un generatore (v. 11.03-1)

Da questa parte non si può andare perché significherebbe invertire la corrente senza invertire la tensione.

Sezione	:	1	Grandezze fondamentali
Capitolo	:	11	Tensione Corrente Resistenza
Paragrafo	:	11.4	Corrente variabile unidirezionale
Argomento	:	11.40	Indice dei paragrafi

Codice	Pagina
11.40	1

## Paragrafo 11.4

# CORRENTE VARIABILE UNIDIREZIONALE

### Indice dei paragrafi e delle pagine

par. 11.41 — **Composizione dei due valori**

pag. 1 — Generazione di correnti variabili unidirezionali

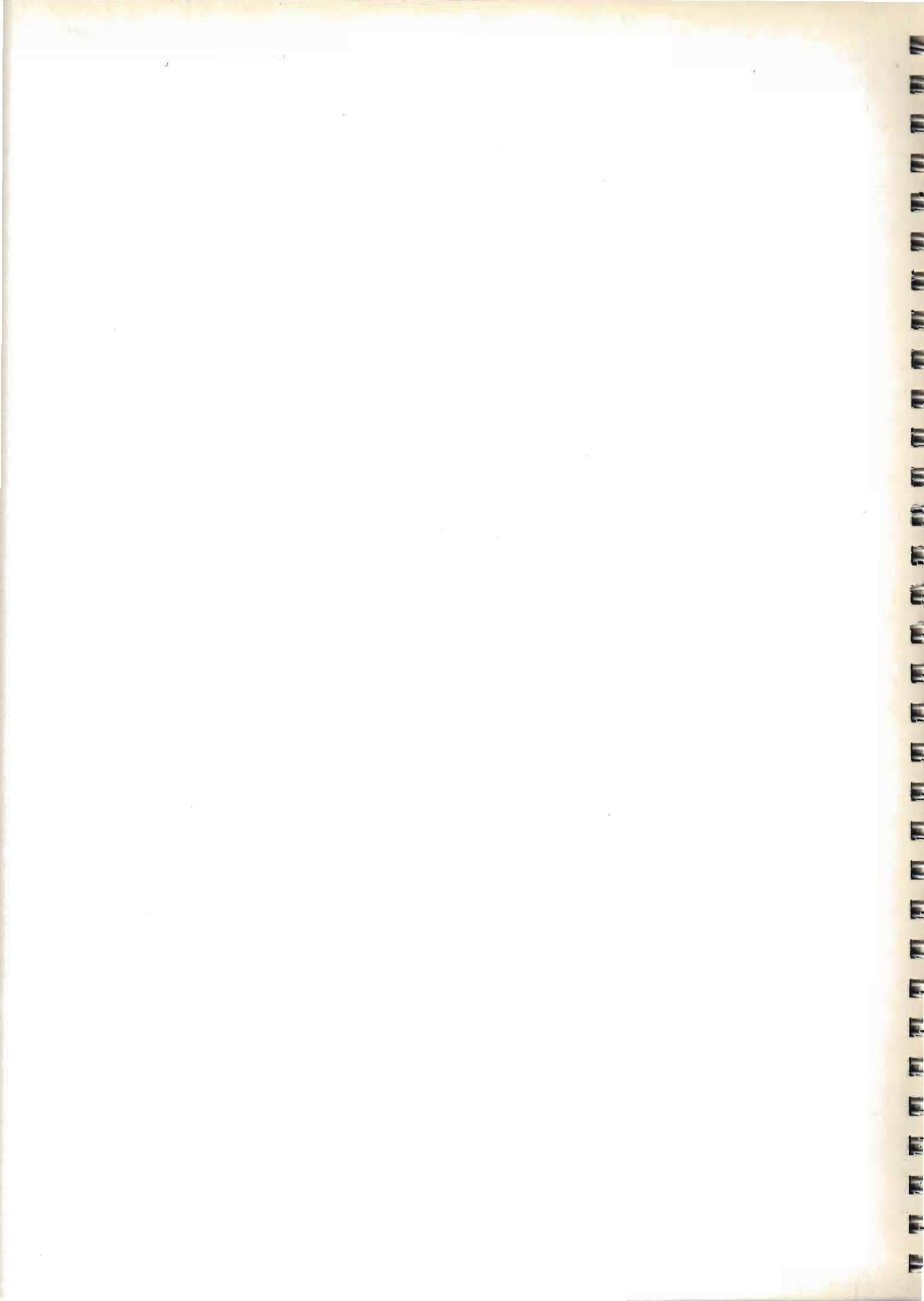
" 2 — Corrente risultante da tensione unidirezionale

⚡

par. 11.42 — **Modulazione di corrente continua**

pag. 1 — Generazione di correnti variabili unidirezionali per modulazione

" 2 — Come varia la corrente al variare dell'impedenza controllata



Sezione : 1 Grandezze fondamentali  
 Capitolo : 11 Tensione Corrente Resistenza  
 Paragrafo : 11.4 Corrente variabile unidirezionale  
 Argomento : 11.41 Composizione di due valori

GENERAZIONE DI CORRENTI VARIABILI UNIDIREZIONALI

E' un caso molto frequente in elettronica.

Si ottiene una **corrente variabile unidirezionale** quando:

- si alimenta un carico con una tensione variabile unidirezionale
- si modula la corrente di un circuito alimentato a tensione costante, modificandone l'impedenza.

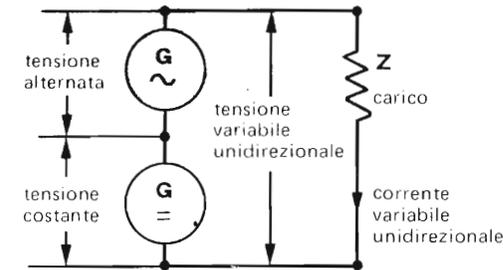
Una corrente variabile unidirezionale può essere sempre composta da due:

una corrente continua + una corrente alternata (segnale) di ampiezza max. inferiore alla continua.

Una corrente modulata è sempre unidirezionale se alimentata a tensione costante.

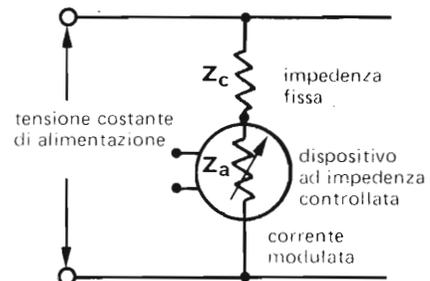
Esaminiamo entrambi i casi.

CARICO ALIMENTATO DA TENSIONE VARIABILE UNIDIREZIONALE



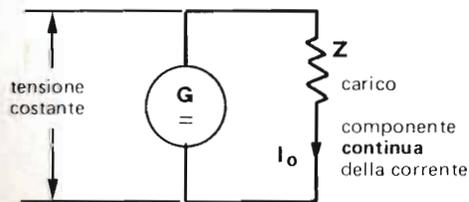
La corrente variabile unidirezionale può essere considerata come risultante delle due seguenti:

CORRENTE MODULATA E ALIMENTATA A TENSIONE COSTANTE

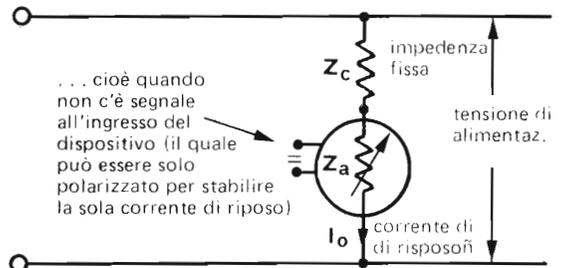


La corrente modulata può essere considerata come risultante delle sue seguenti:

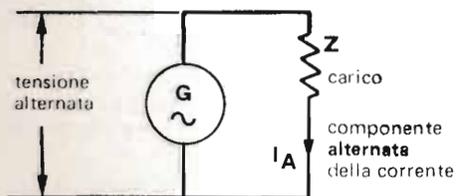
- A) Una **componente continua**  $I_0$  corrispondente a quella che si stabilirebbe se il generatore di tensione **costante** fosse il solo ad alimentare il carico



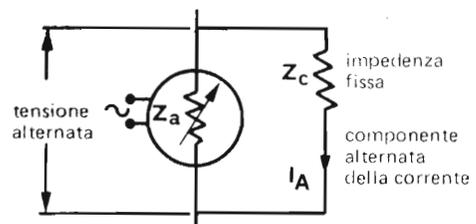
- A) Una **componente continua**  $I_0$  corrispondente al valore di riposo ...



- B) Una **componente alternata**  $I_A$  corrispondente a quella che si stabilirebbe se il generatore di tensione **alternata** fosse il solo ad alimentare il carico



- B) Una **componente alternata**  $I_A$  "generata" attorno al valore  $I_0$  da una corrispondente tensione alternata chiusa sull'impedenza fissa del partitore



Attenzione. - Questo concetto è molto importante e ricorrerà spesso

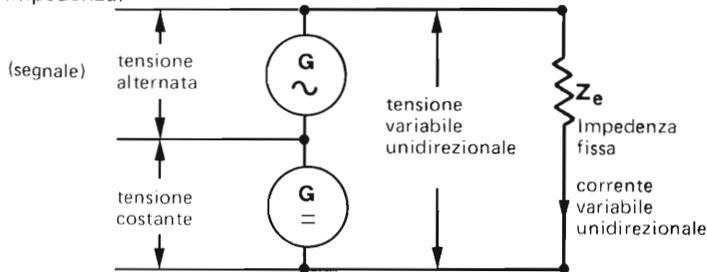
Conclusioni:  $I = I_0 + I_A$

Per dettagli vedi 11.41 - 2

Per dettagli vedi 11.42

**CORRENTE RISULTANTE DA TENSIONE UNIDIREZIONALE**

La corrente è quella che si stabilisce per la legge di Ohm a causa dell'effetto di due tensioni in serie chiuse su una impedenza.

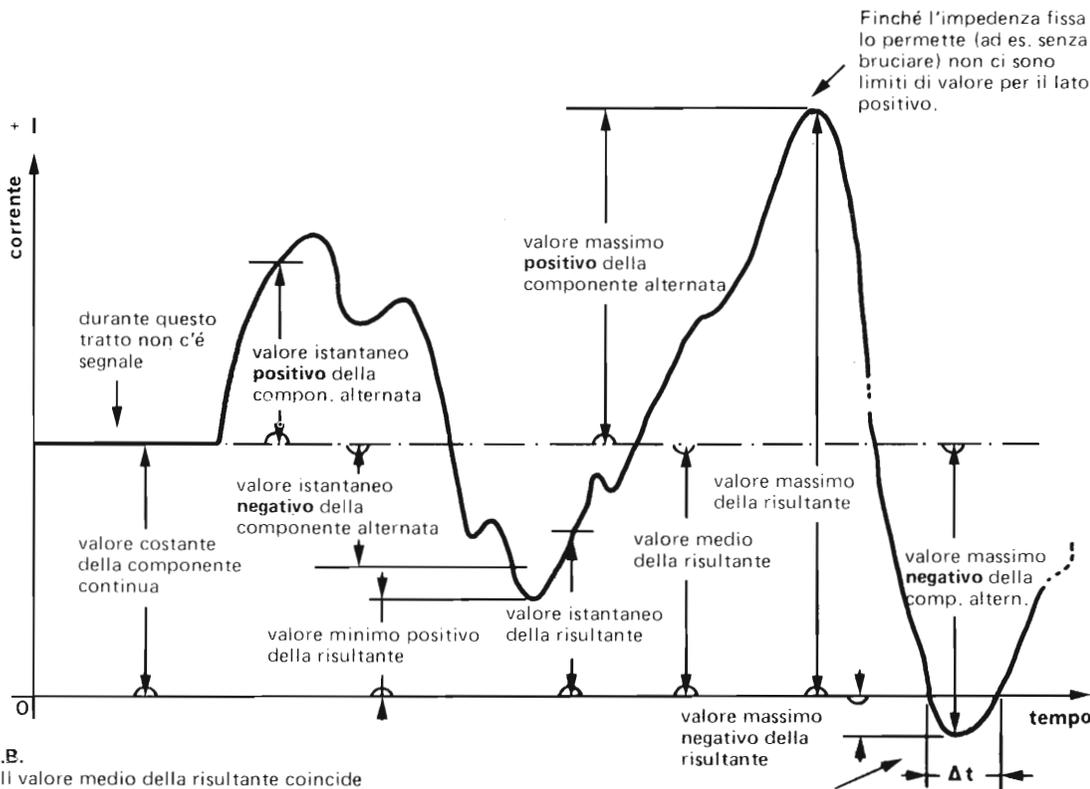


Situazioni di questo genere si riscontrano nei transistor e in quei dispositivi a bassa impedenza di ingresso.

Esaminiamo un

**DIAGRAMMA TEMPORALE DI UNA CORRENTE VARIABILE UNIDIREZIONALE**

risultante da composizione.



**N.B.**

- Il valore medio della risultante coincide con il valore costante della componente continua.
- I valori della componente alternata partono dalla linea del valore medio.
- I valori della risultante partono dalla linea delle ascisse.

Da questa parte della linea delle ascisse, e per la durata di questo intervallo di tempo, la direzione della corrente si inverte

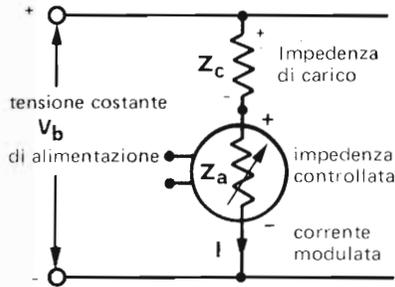
(Il valore massimo negativo della componente alternata è maggiore della componente continua).  
A rigore di termini in questo caso non si può parlare di corrente unidirezionale.  
Inoltre una simile situazione può non essere tollerata da alcuni dispositivi come diodi, transistor, ecc. che modificano bruscamente la loro impedenza.

Sezione : 1 Grandezze fondamentali  
Capitolo : 11 Tensione Corrente Resistenza  
Paragrafo : 11.4 Corrente variabile unidirezionale  
Argomento : 11.42 Modulazione di corrente continua

**GENERATORE DI CORRENTI VARIABILI UNIDIREZIONALI PER MODULAZIONE**

Modulare una corrente continua significa stabilire una corrente continua e poi farla variare con qualsiasi artificio sopra e sotto il suo valore iniziale che prende il nome di valore medio.

Nel nostro caso la corrente è quella che si stabilisce per la legge di Ohm attraverso due impedenze disposte a partitore di tensione.



- Si possono segnare le polarità finché
- il circuito sia alimentato a tensione costante
  - le impedenze siano elementi passivi (cioè non siano generatori né reattori)
  - Perciò è impossibile l'inversione di corrente.

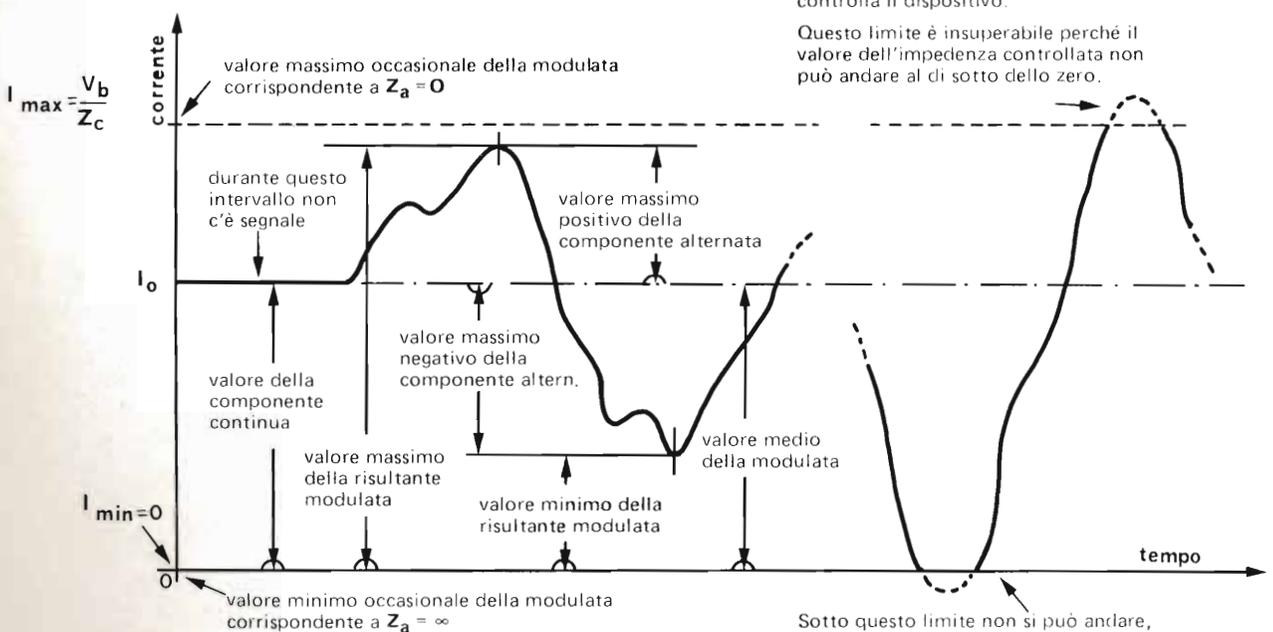
Se questa resistenza ha un valore fisso e costante, la corrente nel circuito è continua unidirezionale e costante.  
Se questa resistenza varia anche la corrente varia.

**Attenti ai limiti**

oltre ai quali il segnale manipolato non è più fedele al segnale d'ingresso che controlla il dispositivo.

Questo limite è insuperabile perché il valore dell'impedenza controllata non può andare al di sotto dello zero.

**DIAGRAMMA DELLA CORRENTE MODULATA**



Sotto questo limite non si può andare, perché a questo punto l'impedenza ha già un valore infinito. (E' come se aprisse il circuito)

**N.B.**

- il valore medio della modulata coincide con il valore della componente continua.
- I valori della componente alternata partono dalla linea del valore medio.
- I valori della risultante modulata partono dalla linea delle ascisse.

**DIAGRAMMA DELLA SOLA COMPONENTE ALTERNATA**



Si prende uguale a zero il valore medio della modulata. La forma della componente alternata è del tutto identica a quella della modulata. . .

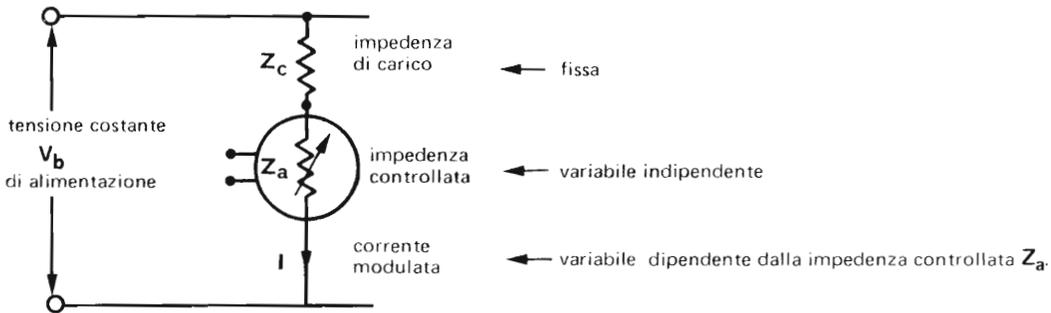
. . . ma tutti i valori istantanei sono diminuiti del valore medio della modulata. Come si vede, essa assume valori positivi e negativi.

Suggerimento:  
Confrontare con 11.33-1



**COME VARIA LA CORRENTE AL VARIARE DELL'IMPEDENZA CONTROLLATA**

Riprendiamo il circuito illustrato a pag. 1



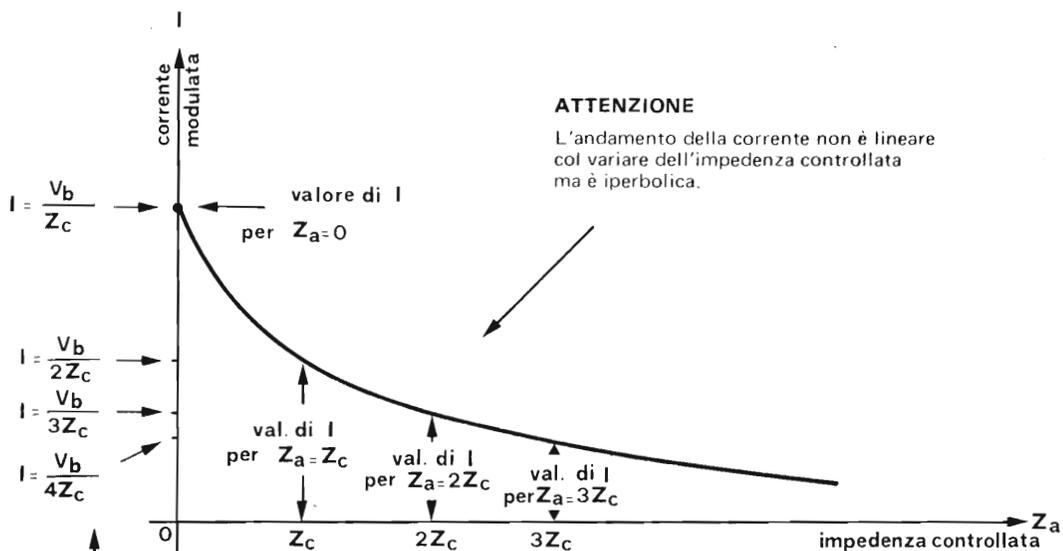
E' facile costruire la relazione fra  $i$  e  $Z_a$  con la legge di Ohm.

corrente modulata (variabile dipendente) →  $I = \frac{V_b}{Z_c + Z_a}$  ← tensione di alimentazione diviso la somma delle due impedenze in serie

← impedenza controllata (variabile indipendente)

← impedenza di carico (fissa)

Il diagramma che esprime questa relazione di  $I$  in funzione di  $Z_a$  è il seguente



Si tratta di valori asintotici di  $I$ , perché tendono ad un valore fisso (zero) senza mai raggiungerlo.

solo per la corrente  $Z_a = \infty$   
 $I = 0$

Sezione	:	1	Grandezze fondamentali
Capitolo	:	11	Tensione Corrente Resistenza
Paragrafo	:	11.5	Tensione alternata
Argomento	:	11.50	Indice del paragrafo

Codice	Pagina
11.50	1

## Paragrafo 11.5

# TENSIONE ALTERNATA

### Indice dei paragrafi e delle pagine

par. 11.51 — **Concetti generali**

- pag. 1 — Paragone idraulico di tensione alternata
- " 2 — Valore efficace in generale di tensioni alternate

par. 11.52 — **Valori caratteristici**

- pag. 1 — Tensione alternata sinusoidale efficace. Tensione picco-picco
- " 2 — Potenza assorbita da tensione alternata polarizzata
- " 3 — Valore efficace totale di tensioni in serie
- " 4 — Alcuni esempi sul valore efficace, risultante totale della tensione



**PARAGONE IDRAULICO DI TENSIONE ALTERNATA**

Fra tutti i tipi di tensione che si sono esaminati, la tensione alternata di qualsiasi forma è quella che viene più largamente sfruttata nelle apparecchiature elettroniche.

Spesso i profani ed i principianti si sorprendono nel venire a conoscenza che, ad esempio, in una radio solo la tensione di alimentazione e certe tensioni di polarizzazione sono costanti, mentre in qualsiasi altro punto dell'apparecchio sono presenti solo tensioni alternate o tensioni comunque variabili.

Si tenga presente che le radiazioni di qualsiasi tipo come la luce, il calore, il suono, sono fenomeni in cui sono presenti tensioni alternate di varia natura.

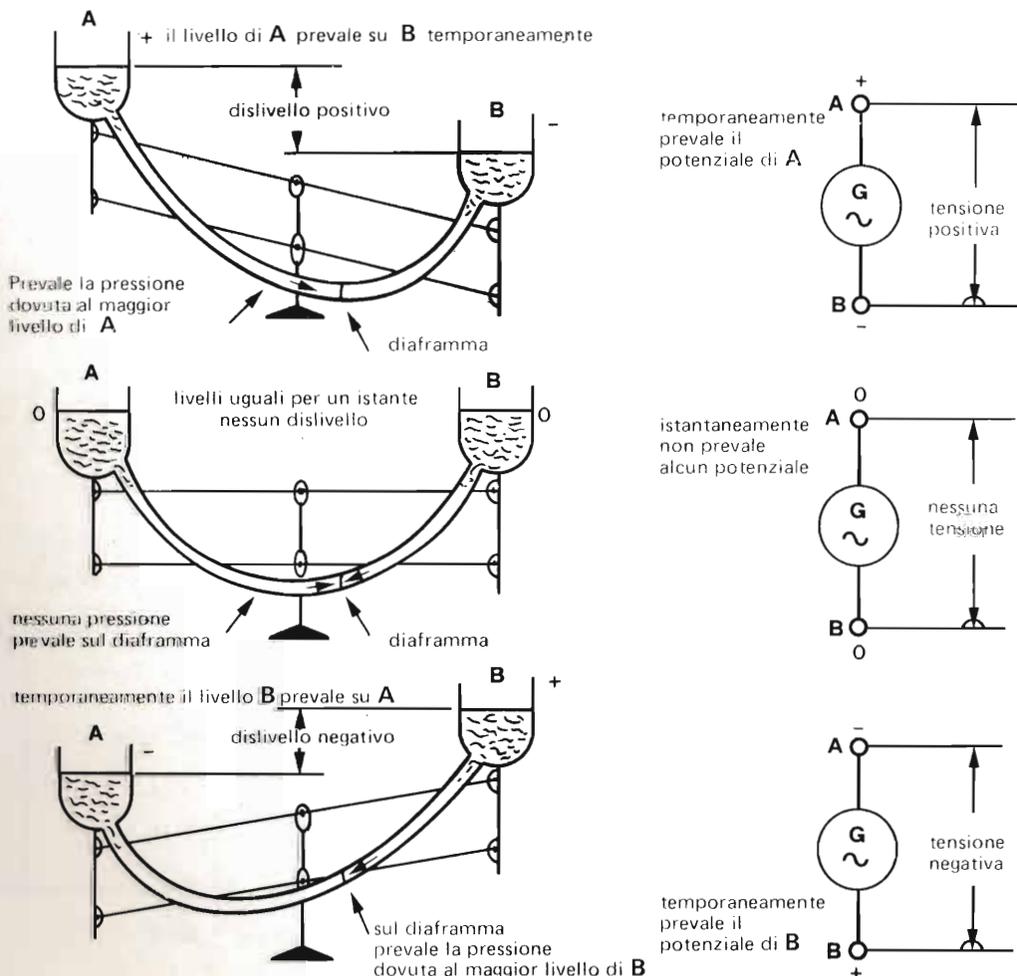
**DEFINIZIONE** (vedansi anche gli argomenti 10.4 e 10.5)

Per tensione alternata si intende una tensione che vari continuamente di valore nel tempo, invertendosi di polarità in modo tale da avere un valore medio uguale a zero.

Abituamente si è portati ad intendere come tensione alternata la tensione sinoidale, ma non lasciamoci ingannare dalle comuni abitudini che sono legate al fatto che l'energia elettrica viene normalmente prodotta e distribuita sotto forma di tensione alternata sinoidale.

**PARAGONI IDRAULICI**

Questa tensione, che continua a cambiare di polarità, è paragonabile alla differenza alternata di pressione che si esercita sulle opposte facce di un diaframma che ostruisce una tubazione sottoposta ad alternati dislivelli di acqua.



**VALORE EFFICACE IN GENERALE DI TENSIONI ALTERNATE**

Sebbene il valore medio di una tensione alternata sia uguale a zero, non è zero il lavoro che essa compie quando viene utilizzata.

Infatti lo constatiamo ormai tutti i giorni nell'ambiente dove viviamo:

- la tensione alternata domestica e industriale è in grado di accendere le lampadine, produrre calore, azionare l'ascensore, gli apparecchi elettrodomestici, ecc.
- la tensione alternata che si produce per azionare un altoparlante è in grado di fargli emettere dei suoni.
- la tensione alternata che si genera per far funzionare un'antenna trasmittente è in grado di farle irradiare un'energia che è captabile-dagli apparecchi riceventi.

**Prima conclusione**

La tensione alternata, quando è messa in grado di far sviluppare una potenza, è attiva sia durante la semionda positiva, sia durante la semionda negativa.

**Seconda conclusione**

Si tratta di trovare un valore convenzionale di tensione, rispetto al valore massimo, in modo che a quel valore corrispondano gli stessi effetti termici ed energetici, prodotti da una tensione costante dello stesso valore.

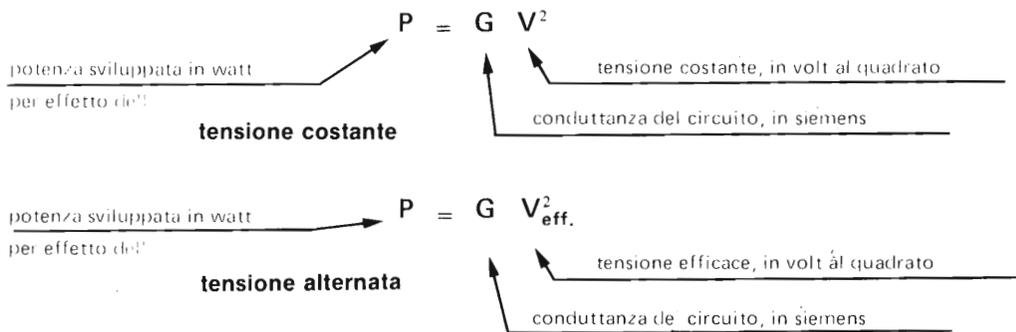
Questo valore si chiamerà valore effettivo o valore efficace.

**Avvertenza**

Il valore efficace non corrisponde al valore medio di ogni semionda (vedi 10.58).

**Criterio di scelta del valore efficace**

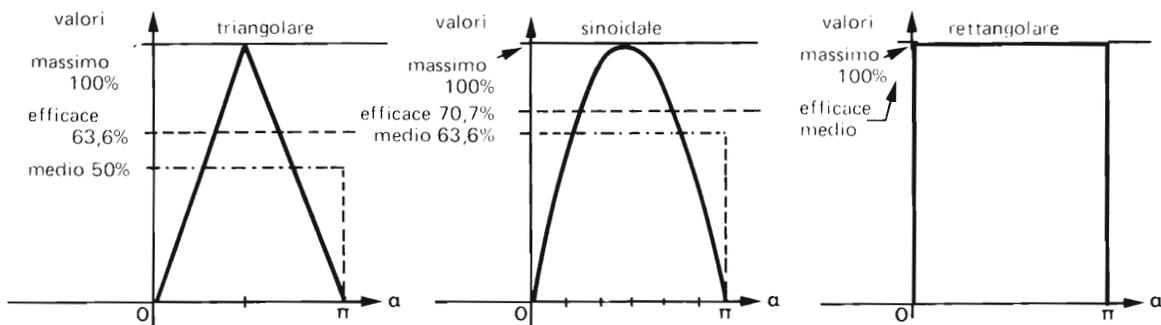
Infatti, viste tutte queste premesse, si considererà l'espressione della potenza sviluppata da una tensione su un circuito.



Come si vede, per sviluppare la stessa potenza, nello stesso circuito, in corrente alternata, occorre lo stesso valore di tensione per la corrente continua purché per tensione alternata si intenda il suo valore efficace.

**Il valore efficace è una frazione del valore massimo.**

Questo valore dipende dalla forma di onda come si può vedere in questi esempi.



**Suggerimento:** confrontare questo con il foglio 11.61 per le analogie con la corrente.

Sezione : 1 Grandezze fondamentali  
 Capitolo : 11 Tensione Corrente Resistenza  
 Paragrafo : 11.5 Tensione Alternata  
 Argomento : 11.52 Valori caratteristici

TENSIONE ALTERNATA SINOIDALE EFFICACE – TENSIONE PICCO-PICCO

Tensione efficace

La forma sinoidale è molto importante per la tensione e la corrente alternate, perché ad essa si può fare riferimento per qualsiasi altra forma di onda. (Paragrafo 10.5)

E' bene pertanto fissare qui le idee sul concetto e la tensione efficace.

Normalmente, quando si dice ad esempio, comunemente:

*"una tensione alternata da 300 volt"*

si intende sempre una tensione alternata sinoidale del valore efficace  $V = 300$  volt.

Nel caso della **forma sinoidale**, vediamo in che rapporto il valore efficace si trova con il valore massimo

$$\frac{\text{tensione massima}}{\text{diviso}} \frac{V_M}{\text{tensione efficace}} = \sqrt{2} = 1,41$$

Perciò la

$$\text{tensione massima} \rightarrow V_M = 1,41 V \leftarrow \text{tensione efficace}$$

e la

$$\text{tensione efficace} \rightarrow V = \frac{1}{1,41} V_M = 0,707 V_M \leftarrow \text{tensione massima}$$

Pertanto quella tensione efficace

$$V = 300 \text{ volt}$$

raggiunge un valore massimo

$$V_M = 1,41 \times 300 = 424 \text{ volt}$$

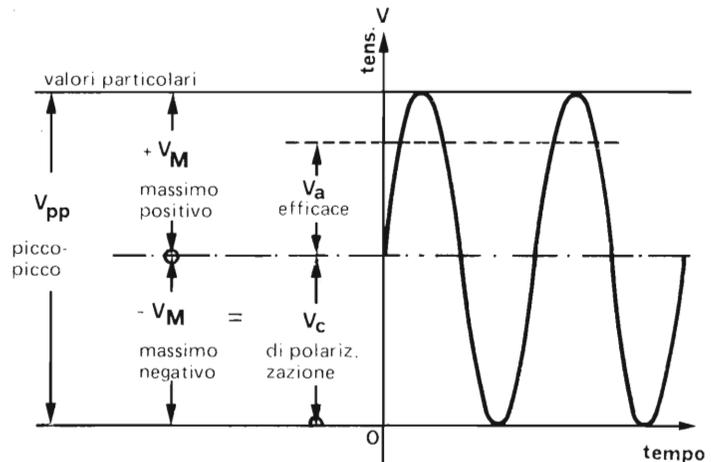
alternativamente  
positivo o negativo

Esercizio

Ricerchiamo il minimo valore di polarizzazione che dobbiamo aggiungere ad una tensione alternata affinché i valori assunti dalla tensione totale siano tutti positivi.

E' sufficiente che il valore di polarizzazione sia uguale o maggiore del valore massimo negativo, cioè

$$V_C = V_M = \sqrt{2} V_a$$



Tensione picco-picco

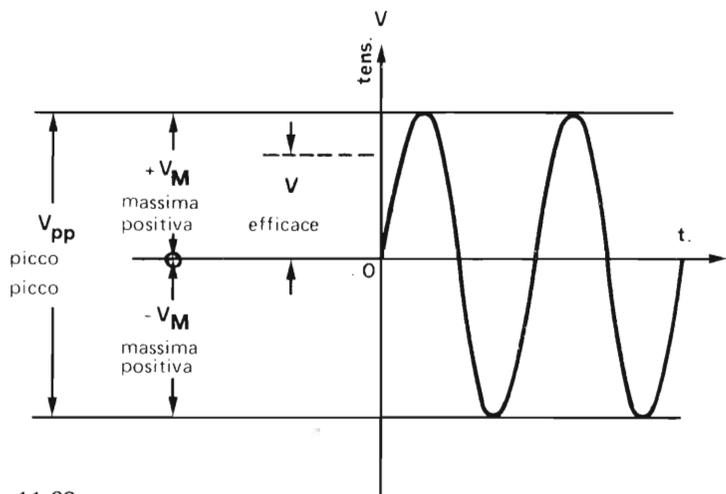
La tensione picco-picco di una oscillazione è molto importante in elettronica, poiché spesso è necessario conoscere il valore dell'escursione totale di una oscillazione.

Essa è uguale al doppio della tensione massima, cioè

$$V_{pp} = 2 V_M$$

e rispetto alla tensione efficace

$$V_{pp} = 2\sqrt{2} V$$



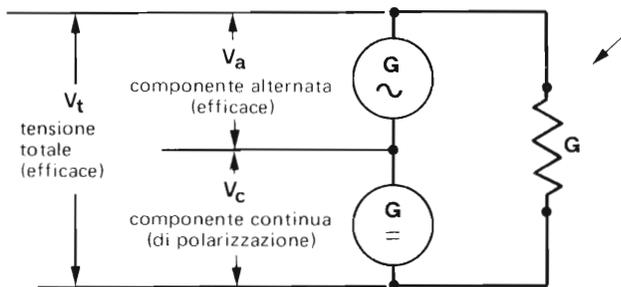
Suggerimento: confrontare questo foglio con 11.62



**POTENZA ASSORBITA DA TENSIONE ALTERNATA POLARIZZATA**

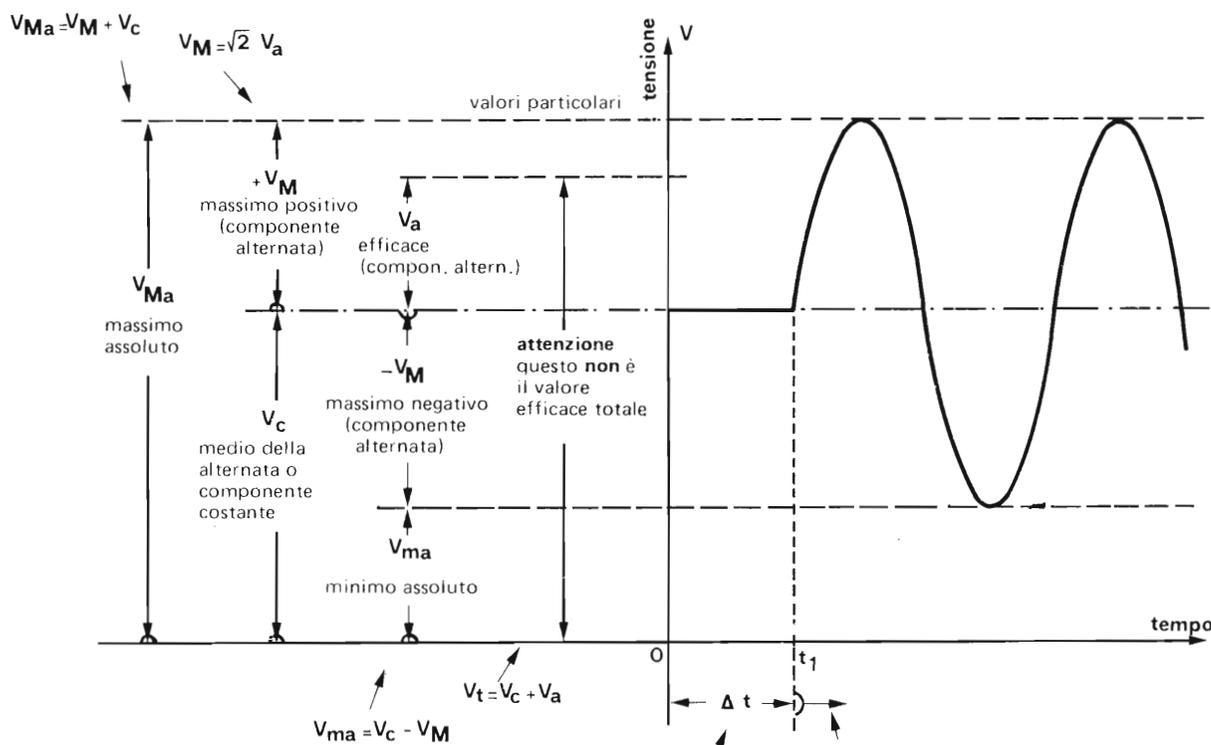
Esaminiamo un caso particolare dove il valore efficace di una componente alternata gioca un ruolo importante, quando si ha a che fare con tensioni costanti modulate.

Si osservi lo schema di circuito sotto riportato dove un generatore di tensione costante ed uno di tensione alternata in serie alimentano un circuito di conduttanza  $G$ .



Dimostreremo che, nel circuito rappresentato da questa conduttanza, si ha un assorbimento di potenza uguale alla somma delle potenze che ciascun generatore sarebbe chiamato a sviluppare, se intervenisse da solo sul circuito.

Questo concetto verrà sviluppato nel capitolo relativo a potenza ed energia.



Entro questo intervallo di tempo agisce la sola componente costante

In questo caso la potenza assorbita dal circuito è:

$$P_c = G V_c^2$$

conduttanza del circuito in siemens

tensione costante in volt al quadrato

conduttanza del circuito

valore medio in volt  
tensione alternata in volt

Da questo istante in poi la componente alternata agisce come per modulare la componente costante. In questo caso la potenza assorbita dal circuito è:

$$P_t = G (V_a^2 + V_c^2)$$

**Suggerimento:** confrontare con il foglio 11.61

Sezione	:	1	Grandezze fondamentali
Capitolo	:	11	Tensione Corrente Resistenza
Paragrafo	:	11.5	Tensione alternata
Argomento	:	11.52	Valori caratteristici



## VALORE EFFICACE TOTALE DI TENSIONI IN SERIE

**Oggetto:** Avendo più generatori di tensione alternata in serie, il valore efficace della tensione totale, dipende dalla differenza di frequenza delle tensioni componenti e delle relative fasi.

Affrontiamo subito un problema che istintivamente può sembrare paradossale.

Il valore efficace di una tensione, che corrisponde alla somma algebrica di più tensioni di valore efficace noto, si calcola diversamente a seconda dei casi sottoelencati.

### Caso 1

- Solo tensioni alternate aventi la stessa frequenza ed in fase fra loro.
- Solo tensioni continue. Esse sono infatti casi particolari di tensioni alla stessa frequenza ( $f = 0$ ) ed in fase ( $\varphi = 0$ ).

### Regola 1

Il valore efficace della tensione risultante è uguale alla somma dei singoli valori efficaci, cioè:

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

### Caso 2

- Tensioni alternate aventi la stessa frequenza, ma fase diversa fra loro.

### Regola 2

Il valore efficace della tensione risultante deriva dalla composizione vettoriale delle tensioni componenti.

### Caso 3

- Tensioni alternate di frequenza diversa.
- Tensioni alternate di frequenza e fase diverse più una tensione continua (questa, come caso particolare di tensione alternata di frequenza  $f = 0$  è di frequenza diversa di qualsiasi altra tensione alternata).

### Regola 3

Il valore efficace della tensione risultante è uguale alla radice quadrata della somma dei quadrati dei singoli valori efficaci delle tensioni componenti, cioè:

$$V = \sqrt{V_0^2 + V_1^2 + \dots + V_n^2}$$

Questo problema può lasciare sconcertato lo studioso che si rifiutasse di accettare dogmaticamente le regole citate, come infatti è rimasto sconcertato chi scrive.

L'approfondimento del problema ha portato ad uno studio che può essere oggetto di una piccola tesi separata, che però vogliamo risparmiare al lettore, per non portarlo troppo lontano dallo scopo che ci siamo prefissi.

Ricordiamo solo che quello del valore efficace è legato al concetto di potenza e che quindi ci troviamo di fronte ad espressioni algebriche che hanno a che fare con il quadrato della tensione.

**Avvertenza:** Non si confonda questo concetto di somma di tensioni sinusoidali di diversa frequenza con quello di modulazione sinusoidale di una senoide portante.

Questa infatti non è una somma, ma un prodotto di tensioni sinusoidali.

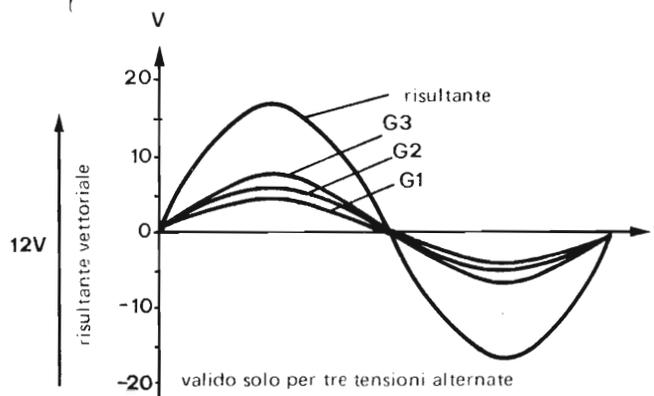
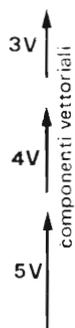
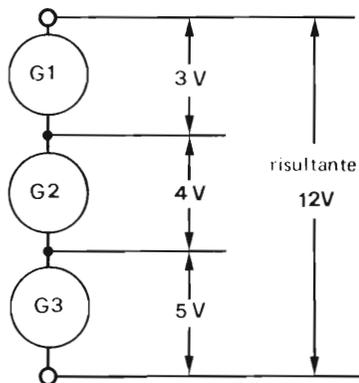


**ALCUNI ESEMPI SUL VALORE EFFICACE RISULTANTE TOTALE DELLA TENSIONE**

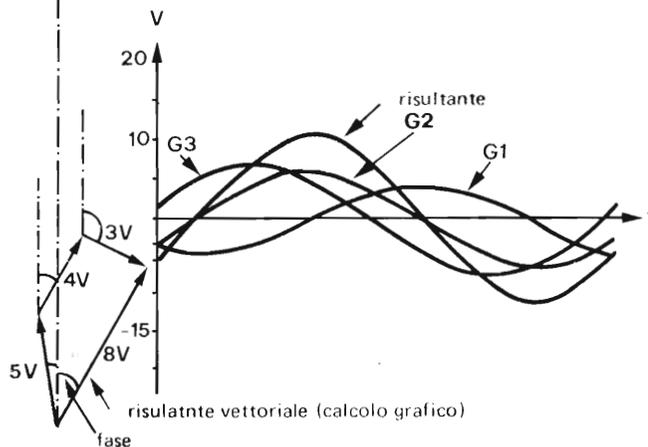
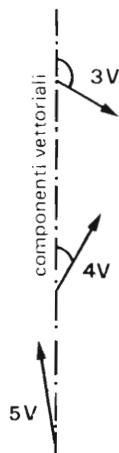
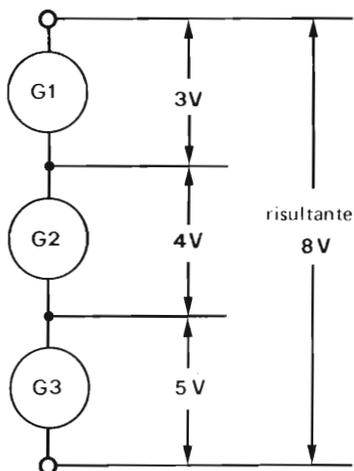
Oggetto: Si esaminano numericamente i tre casi citati nella pagina precedente:

1) Le tre tensioni di questo esempio potrebbero essere

tre tensioni alternate in fase ( $V_{eff}$ )  
tre tensioni continue

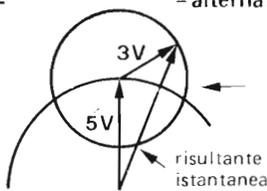
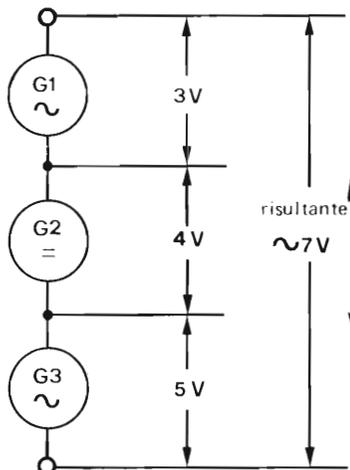


2) Le tre tensioni alternate di questo esempio sono della stessa frequenza, ma di fase diversa.



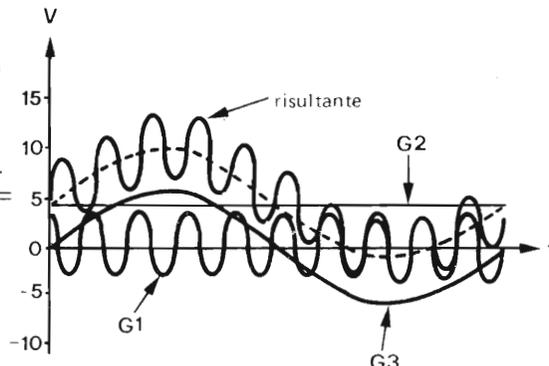
3) Le tre tensioni di questo esempio sono:

- alternata di frequenza pari a 10
- continua
- alternata di frequenza pari a 1



calcolo

$$V = \sqrt{3^2 + 4^2 + 5^2} = \sqrt{9 + 16 + 25} = \sqrt{50} = \sim 7 \text{ V}$$



Sezione	:	1	Grandezze fondamentali
Capitolo	:	11	Tensione Corrente Resistenza
Paragrafo	:	11.6	Corrente alternata
Argomento	:	11.60	Indice del paragrafo

## Paragrafo 11.6

# CORRENTE ALTERNATA

### Indice degli argomenti e delle pagine

- arg. 11.61 – **Concetti generali**
  - pag. 1 – Paragone idraulico di corrente alternata
  - " 2 – Valore efficace in generale di correnti alternate
  
- arg. 11.62 – **Valori caratteristici**
  - pag. 1 – Corrente alternata sinoidale efficace – Corrente picco-picco
  - " 2 – Potenza assorbita da corrente continua modulata.



Sezione : 1            Grandezze fondamentali  
Capitolo : 11        Tensione Corrente Resistenza  
Paragrafo : 11.6    Corrente alternata  
Argomento : 11.61   Concetti generali

**PARAGONE IDRAULICO DI CORRENTE ALTERNATA**

**Suggerimento:** Confrontare questo testo con quello del foglio 11.51 per constatarne la perfetta reciprocità.

Fra tutti i tipi di corrente che si sono esaminati, la corrente alternata di qualsiasi forma è quella che viene più largamente sfruttata nelle apparecchiature elettroniche.

Spesso i profani ed i principianti si sorprendono nel venire a conoscenza che, ad esempio, in una radio, malgrado siano costanti le tensioni di alimentazione e certe tensioni di polarizzazione, circolano unicamente correnti alternate o correnti comunque variabili.

Si tenga presente che le radiazioni di qualsiasi tipo come la luce, il calore, il suono, sono fenomeni in cui sono presenti correnti alternate di varia natura.

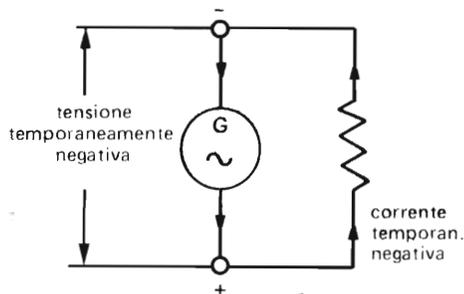
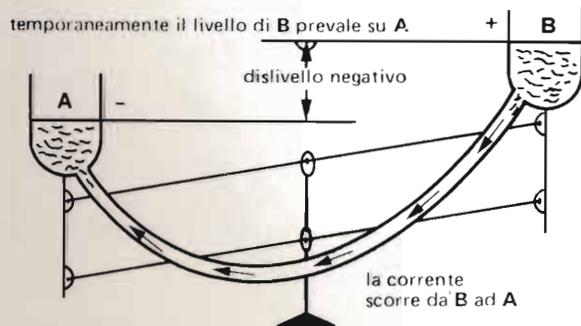
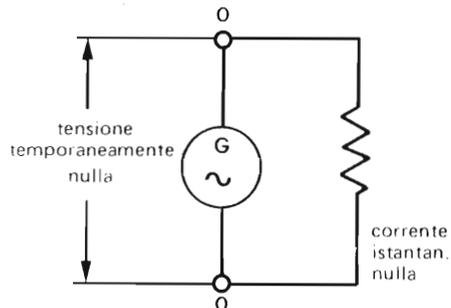
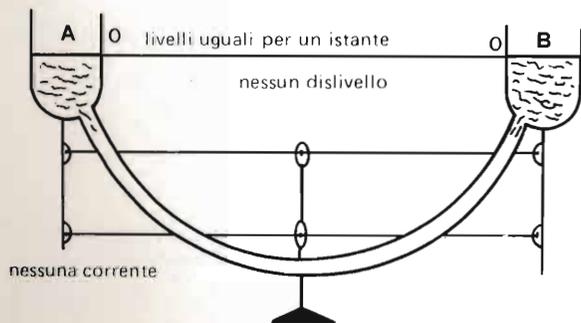
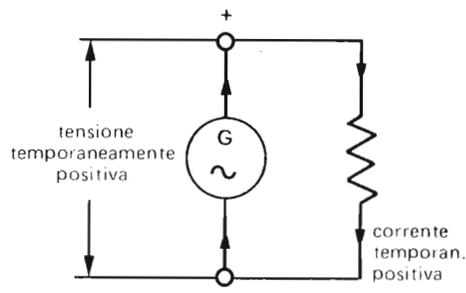
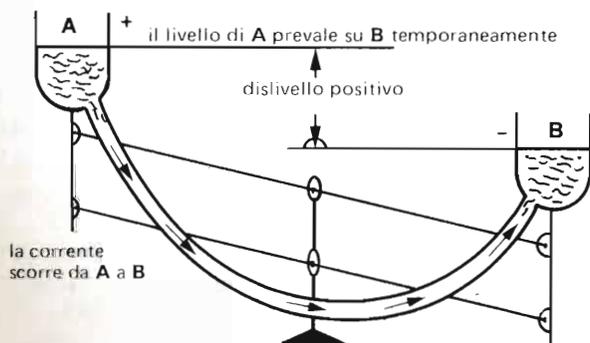
**Definizione** (Vedansi anche gli argomenti 10.4 e 10.5)

Per corrente alternata si intende una corrente che vari continuamente di intensità nel tempo, invertendosi di direzione in modo tale da avere un valore medio uguale a zero.

Abitualmente si è portati ad intendere come corrente alternata la corrente sinusoidale, ma non lasciamoci ingannare dalle comuni abitudini che sono legate al fatto che l'energia elettrica viene normalmente utilizzata sotto forma di corrente alternata sinusoidale.

**Paragoni idraulici;**

Questa corrente, che continua a cambiare di direzione, è paragonabile ad un moto alternato di acqua in una tubazione quando il livello di spinta alle estremità si alza e si abbassa alternativamente.;



**VALORE EFFICACE IN GENERALE DI CORRENTI ALTERNATE**

Sebbene il valore medio di una corrente alternata sia uguale a zero, non è zero il lavoro che essa compie quando viene utilizzata.

Infatti lo constatiamo ormai tutti i giorni nell'ambiente dove viviamo:

- la corrente alternata domestica e industriale è in grado di accendere le lampadine, produrre calore, azionare l'ascensore, gli apparecchi elettrodomestici, ecc.
- la corrente alternata che si produce per azionare un altoparlante è in grado di fargli emettere dei suoni
- la corrente alternata che si genera per far funzionare un'antenna trasmittente è in grado di farle irradiare un'energia che è captabile dagli apparecchi riceventi.

**Prima conclusione**

La corrente alternata, quando è in grado di sviluppare una potenza, è attiva sia durante la semionda positiva, sia durante la semionda negativa.

**Seconda conclusione**

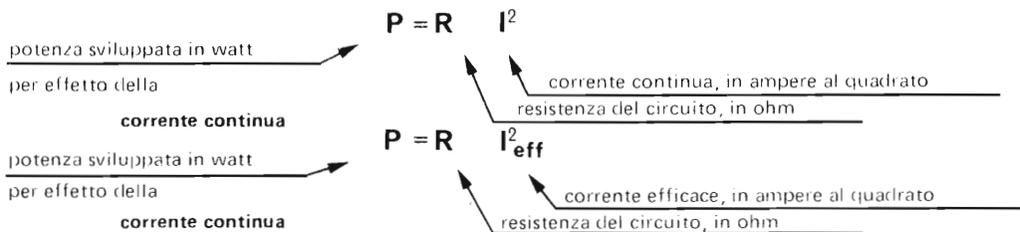
Si tratta di trovare un valore convenzionale di corrente, rispetto al valore massimo, in modo che a quel valore corrispondano gli stessi effetti termici ed energetici prodotti da una corrente continua dello stesso valore. Questo valore si chiama effettivo o valore efficace.

**Avvertenza**

Il valore efficace non corrisponde sempre al valore medio di ogni semionda (vedi 10.57).

**Criterio di scelta del valore efficace**

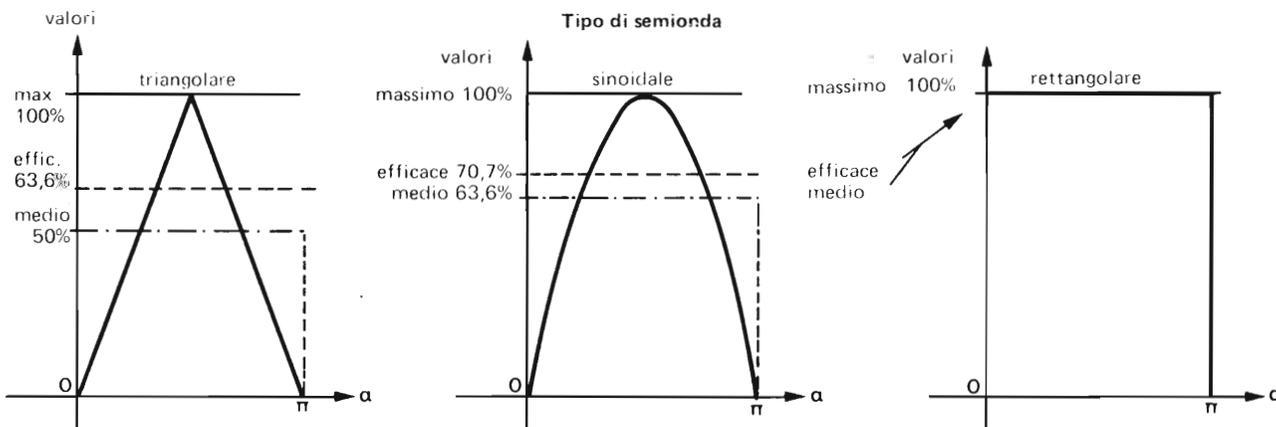
infatti, viste tutte queste premesse, si considererà l'espressione della potenza sviluppata da una corrente di un circuito.



Come si vede, per sviluppare la stessa potenza, nello stesso circuito, in corrente alternata, occorre lo stesso valore di corrente continua, purché per corrente alternata si intenda il suo valore efficace.

**Il valore efficace è una frazione del valore massimo**

Questo valore dipende dalla forma di onda, come si può vedere in questi esempi comparativi.



**Suggerimento:** Confrontare questo con il foglio 11.50 per le analogie con la tensione.

Sezione : 1 Grandezze fondamentali  
 Capitolo : 11 Tensione Corrente Resistenza  
 Paragrafo : 11.6 Corrente alternata  
 Argomento : 11.62 Valori caratteristici

**CORRENTE ALTERNATA SINOIDALE EFFICACE. CORRENTE PICCO-PICCO**

**Corrente efficace**

La forma sinusoidale è molto importante per la tensione e la corrente alternata, perché ad essa si può fare riferimento per qualsiasi altra forma di onda (paragrafo 10.5).

E' bene pertanto fissare qui le idee sul concetto di corrente efficace.

Normalmente, quando si dice ad esempio, comunemente: "una corrente alternata da 40 mA"

si intende sempre una corrente alternata sinusoidale del valore efficace  $i = 40 \text{ mA}$

Nel caso della **forma sinusoidale**, vediamo in che rapporto il valore efficace si trova con il valore massimo:

$$\frac{\text{corrente massima}}{\text{diviso}} \frac{\text{corrente efficace}}{\text{}} = \frac{I_M}{I} = \sqrt{2} = 1,41$$

Perciò la

$$\text{corrente massima} \rightarrow I_M = 1,41 I \leftarrow \text{corrente efficace}$$

$$\text{corrente efficace} \rightarrow I = \frac{1}{1,41} I_M = 0,707 I_M \leftarrow \text{corrente massima}$$

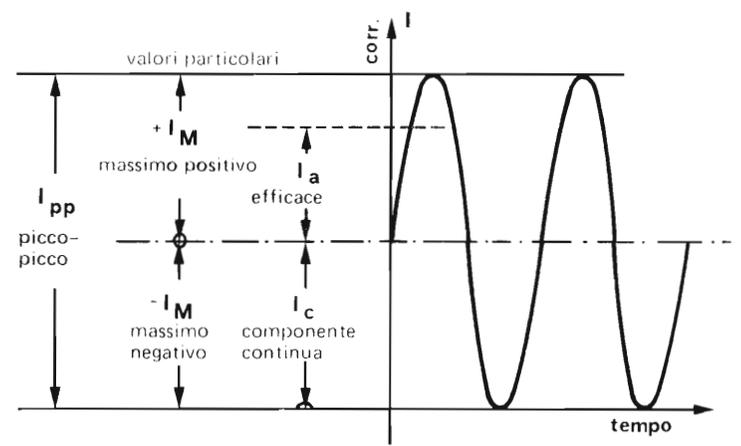
Pertanto quella corrente efficace  $I = 40 \text{ mA}$   
 raggiunge un valore massimo  $V_M = 1,41 \times 40 = 56,5 \text{ mA}$  alternativamente positivo o negativo

**Esercizio**

Ricerchiamo il minimo valore di corrente continua che vogliamo modulare in modo da ottenere una componente alternata tale che i valori della risultante siano tutti positivi.

E' sufficiente che il valore di componente continua sia uguale o maggiore del valore massimo negativo, della componente alternata, cioè:

$$i_c = I_M = \sqrt{2} V_a$$



**Corrente picco-picco**

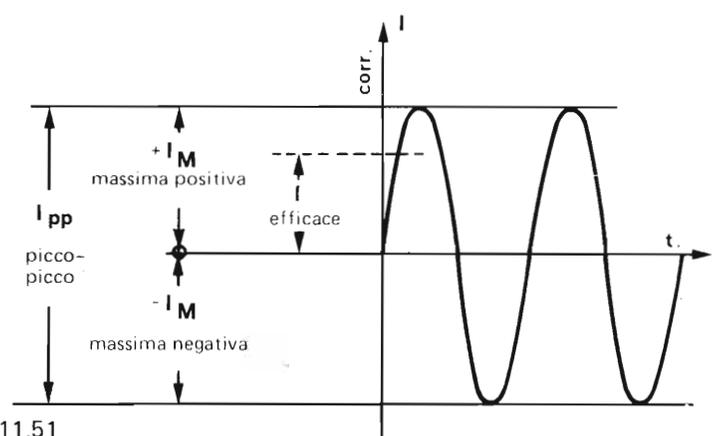
La corrente picco-picco di una oscillazione è molto importante in elettronica, poiché spesso è necessario conoscere il valore della escursione totale di una oscillazione.

Essa è uguale al doppio della corrente massima, cioè

$$I_{pp} = 2 I_M$$

e rispetto alla corrente efficace

$$I_{pp} = 2 \sqrt{2} I$$



**Suggerimento:** Confrontare questo foglio con 11.51

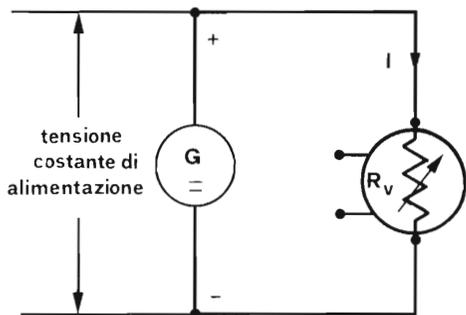
1975 - A.T. Gilcari - Proprietà riservata a termini di legge - Riproduzione vietata senza consenso - F.lli di Armazione



**POTENZA ASSORBITA DA CORRENTE CONTINUA MODULATA**

Esaminiamo un caso particolare dove il valore efficace di una componente alternata gioca un ruolo importante quando si ha a che fare con correnti continue modulate.

Si osservi lo schema del circuito sotto riportato dove un generatore di tensione costante alimenta un circuito la cui resistenza  $R_v$  sia variabile in funzione di un segnale (modulazione).

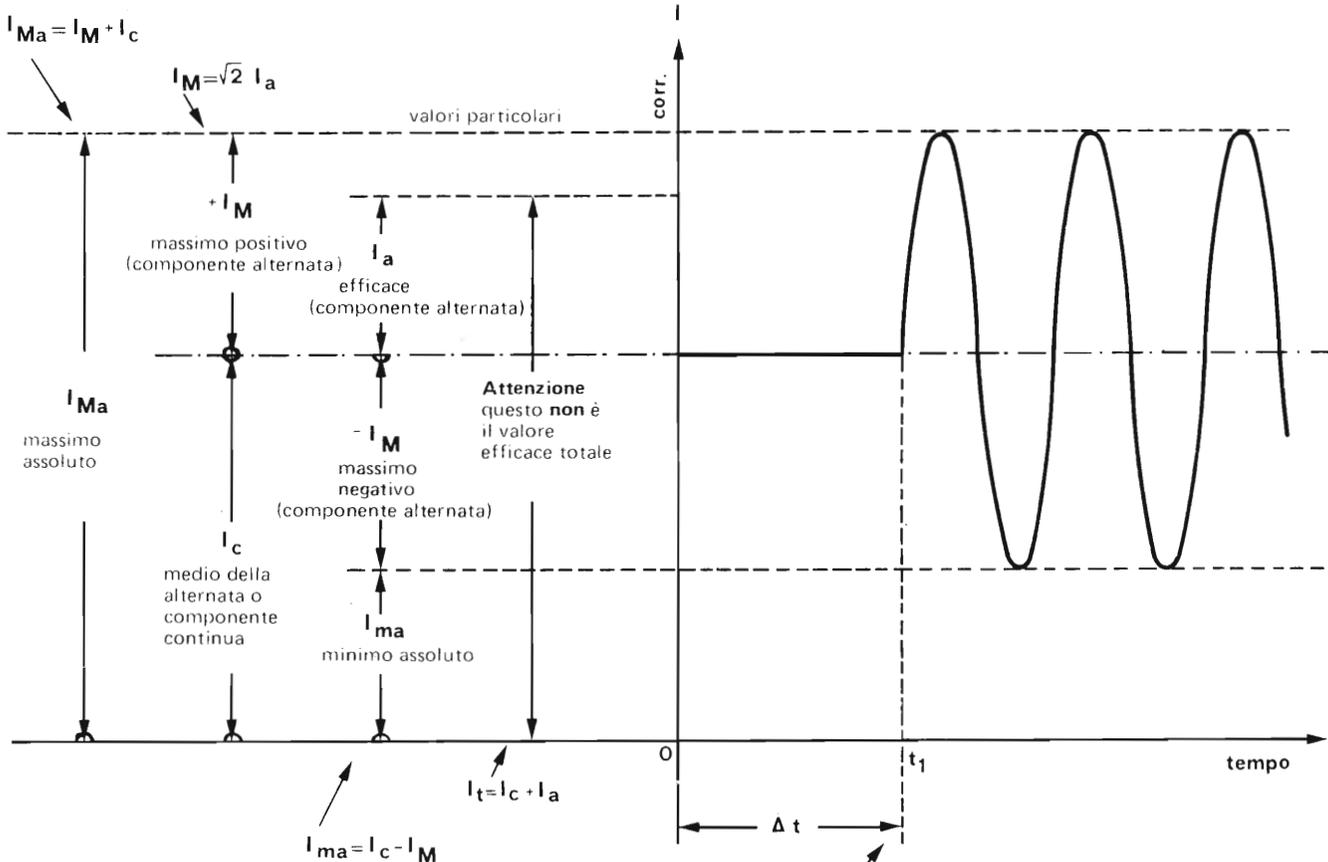


Dimostreremo che, nel circuito rappresentato da questo dispositivo a resistenza variabile, si ha un assorbimento di potenza che non dipende solo dal valore della corrente continua che si crea in assenza di segnale (assenza di modulazione) ma anche dalla componente alternata modulante.

Questa potenza è uguale alla somma delle potenze che ciascuna componente sarebbe chiamata a contribuire se intervenisse da sola nel circuito.

In altre parole, una batteria si esaurisce più rapidamente se deve fornire una corrente modulata invece di una corrente continua uguale al valore medio della modulata.

Osservare la perfetta analogia con le tensioni (v. 11.52)



Attenzione questo non è il valore efficace totale

Da questo istante in poi il circuito a resistenza variabile modula la corrente continua presente e le fa assumere valori alternativamente maggiori o minori. In questo caso la potenza assorbita dal circuito è :

$$P = R i_c^2$$
 resistenza del circuito in  $\Omega$       corrente continua in ampere al quadrato

$$P_t = R (i_a^2 + i_c^2)$$
 resistenza del circuito in ohm      valore medio in amp.      componente alternata in ampere

Suggerimento; Confrontare con foglio 11.51

Sezione	:	1	Grandezze fondamentali
Capitolo	:	11	Tensione Corrente Resistenza
Paragrafo	:	11.7	Resistenza statica e resistenza differenziale
Argomento	:	11.71	Indice del paragrafo

## Paragrafo 11.7

# RESISTENZA STATICA e RESISTENZA DIFFERENZIALE

### Indice degli argomenti e delle pagine

- arg. 11.71 — **Panorama generale**
  - pag. 1 — Caratteristica di funzionamento degli elementi del circuito
  - " 2 — Insistiamo sui concetti
  
- arg. 11.72 — **Caratteristica della resistenza perfetta**
  - pag. 1 — Resistenza perfetta in corrente continua
  - " 2 — Resistenza perfetta in corrente alternata
  
- arg. 11.73 — **Caratteristica di una resistenza non lineare**
  - pag. 1 — Caratteristica non lineare in corrente continua
  - " 2 — Caratteristica non lineare a tensione variabile polarizzata
  
- arg. 11.74 — **Elementi a caratteristica non lineare — Evidenze e definizioni**
  - pag. 1 — Con una data tensione alternata si possono ottenere diverse correnti alternate
  - " 2 — Resistenza statica e resistenza differenziale
  - " 3 — Deformazioni d'onda negli elementi a caratteristica curvilinea
  - " 4 — Confronti con la resistenza statica
  - " 5 — Resistenza differenziale positiva e negativa
  - " 6 — Esame generale di una caratteristica tensione-corrente



Sezione : 1 Grandezze fondamentali  
 Capitolo : 11 Tensione Corrente Resistenza  
 Paragrafo : 11.7 Resistenza statica e resistenza differenziale  
 Argomento : 11.71 Panorama generale

Codice Pagina  
 11.71 1

## CARATTERISTICA DI FUNZIONAMENTO DEGLI ELEMENTI DEL CIRCUITO

### Definizione

Dicendo semplicemente "caratteristica" di un elemento del circuito si intende l'analisi grafica su un diagramma (in coordinate cartesiane) di valori che la corrente che attraversa l'elemento in esame assume per ogni valore di tensione che viene applicato ai suoi estremi.

L'elemento del circuito (il componente per dirla in gergo) può essere analizzato nel suo comportamento sotto molti altri aspetti (v. sez. 2), ma la "caratteristica" per antonomasia è quella che abbiamo appena descritto e che in questo paragrafo andiamo ad analizzare a fondo nei suoi vari aspetti.

### Descrizione

Per "caratteristica" si intende l'insieme degli aspetti illustrati in questa figura.

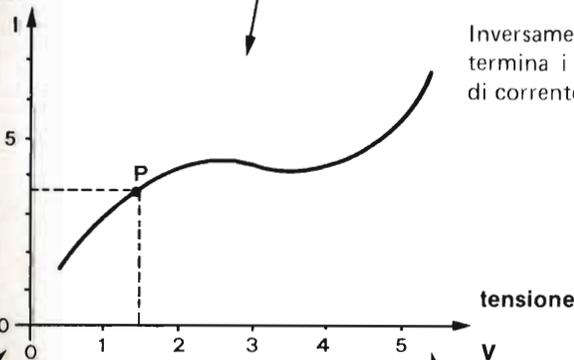
Su questo asse verticale chiamata "ordinata" si segnano in scala opportuna i valori della variabile dipendente, che nel nostro caso è la corrente  $I$

Questa linea rappresenta la caratteristica di funzionamento del componente.

Ogni punto di essa è determinato dai due valori uno di tensione e l'altro della corrispondente corrente.

Inversamente, ogni punto di questa linea determina i due valori uno di tensione e uno di corrente fra di loro correlati.

Origine degli assi:  
 è il punto di incontro dei due assi



Su questo asse orizzontale chiamata "ascissa" si usa segnare in scala i valori della variabile indipendente, che nel nostro caso è la tensione  $V$  applicata agli estremi del componente.

### Osservazione

In questo paragrafo 11.7 noi analizzeremo gli aspetti di varie caratteristiche e i significati che da ciascuna si possono trarre e insisteremo ancora sulla differenza sostanziale dei due concetti di resistenza statica e resistenza dinamica o differenziale.

INSISTIAMO SUI CONCETTI

Vedremo di chiarire il motivo, per cui insistiamo sul concetto di resistenza statica e di resistenza differenziale.

Tutti i componenti elettronici ad esclusione di quelli puramente resistivi o reattivi, presentano un fenomeno che si può esemplificare in questo modo.

Supponiamo di applicare una tensione continua di 10 V ad un certo componente e di ottenere per questo una corrente continua di 100 mA.

La resistenza che ottengo è di 100 Ω    cioè  $R = \frac{V}{I} = \frac{10V}{0,1 A} = 100 \Omega$

Se insieme a questa tensione continua io applico una tensione alternata di 1 V mi aspetterei di ottenere una corrente alternata di 10 mA perché

$$V = \frac{V}{R} = \frac{1 V}{100} = 10 \text{ mA}$$

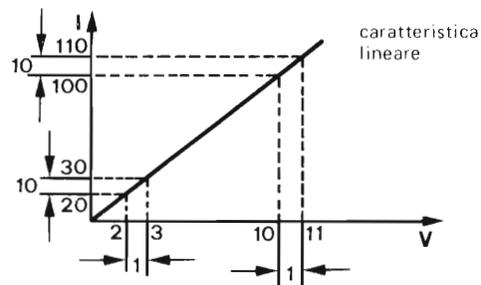
invece ottengo magari diciamo 2 mA di corrente alternata e anche meno, cioè come se la resistenza per la componente alternata fosse di 500 Ω o di più.

Succede dunque come se il comportamento in corrente alternata fosse diverso che in corrente continua e cioè che per la corrente alternata si abbia una resistenza diversa.

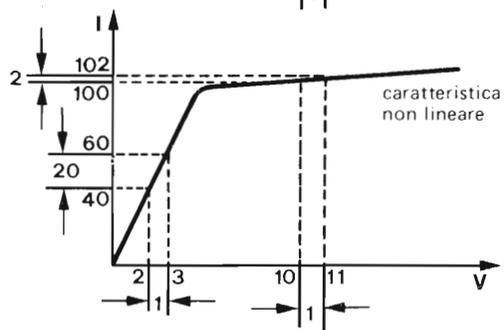
Non solo, ma può succedere anche che questa resistenza "diversa" in alternata cambia se modifico il valore della componente continua della tensione applicata.

Ebbene, tutto questo è dovuto al semplice fatto che

la caratteristica invece di essere fatta così



la troviamo fatta così



Da qui nasce tutto quello che segue

Sezione : 1 Grandezze fondamentali  
 Capitolo : 11 Tensione Corrente Resistenza  
 Paragrafo : 11.7 Resistenza statica e resistenza differenziale  
 Argomento : 11.72 Caratteristica della resistenza perfetta

Codice Pagina  
 11.72 1

**RESISTENZA PERFETTA IN CORRENTE CONTINUA**

Per il concetto stesso di resistenza espresso con la legge di Ohm (10.21), una resistenza perfetta mantiene costante il suo valore, qualunque sia il valore della tensione applicata.

Infatti, la corrente che risulta in circolazione nel circuito, sarà sempre proporzionale alla tensione secondo un **coefficiente di proporzionalità** che si chiama

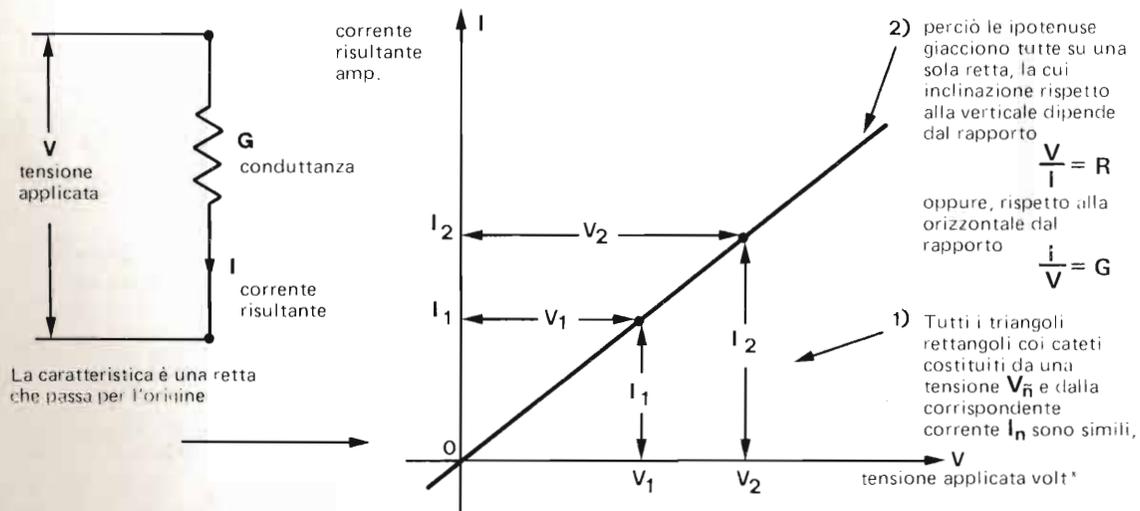
conduttanza (in siemens)  $\rightarrow G = \frac{1}{R}$  uguale all'inverso della resistenza (in ohm)

Infatti

corrente risultante (in ampere)  $\rightarrow I = G V$  tensione applicata (in volt) / conduttanza (in siemens)

Esaminiamo graficamente e commentiamo la

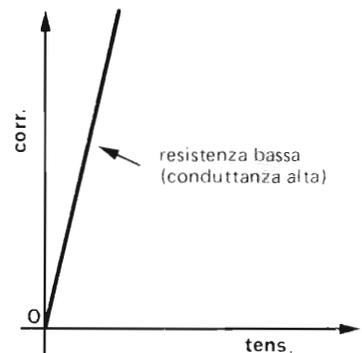
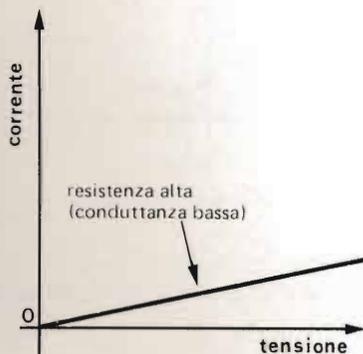
**CARATTERISTICA DELLA RESISTENZA PERFETTA**



In conclusione, la retta che rappresenta la caratteristica sarà

più vicina alla orizzontale per i valori alti di resistenza (bassi di conduttanza)

più vicina alla verticale per i valori bassi di resistenza (alti di conduttanza)



N.B. - Abbiamo adottato il concetto di resistenza perfetta quando il dispositivo non è affetto da componenti reattive (cap. 14) né da f.e.m., la sua caratteristica non devia dall'andamento rettilineo ed è sempre passante per l'origine 0 del diagramma.

Sezione	: 1	Grandezze fondamentali
Capitolo	: 11	Tensione Corrente Resistenza
Paragrafo	: 11.7	Resistenza statica e resistenza differenziale
Argomento	: 11.71	Caratteristiche della resistenza perfetta

**RESISTENZA PERFETTA IN CORRENTE ALTERNATA**

Gli stessi concetti di resistenza e di conduttanza espressi con la legge Ohm (10.21) sono applicabili anche alle tensioni alternate o comunque variabili.

Infatti, quanto detto nella pagina precedente per i regimi costanti (corrente continua), è valido anche per i regimi variabili (corrente alternata).

Quindi l'espressione

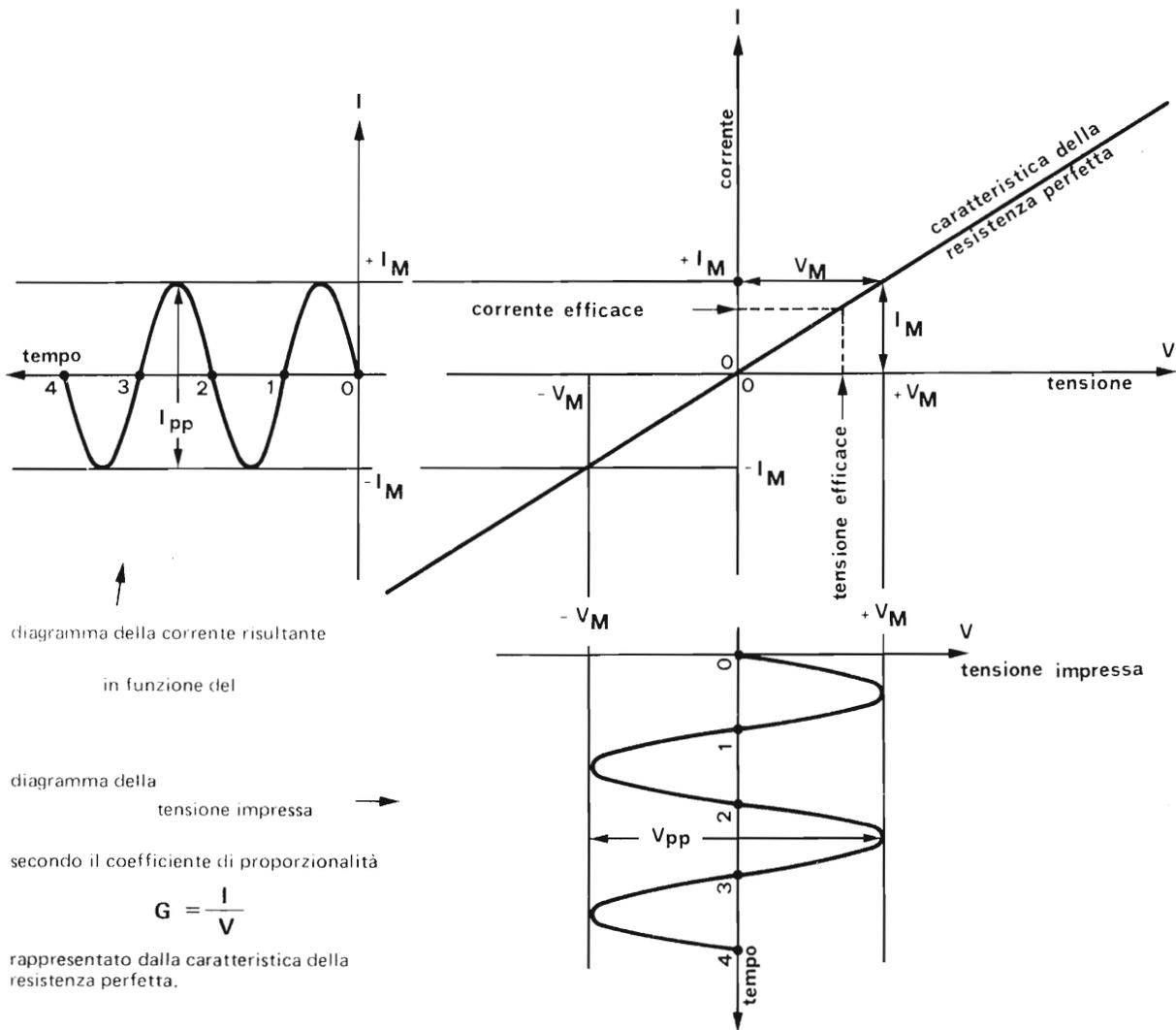
$$I = G V$$

← corrente risultante (in ampere)
← tensione applicata (in volt)  
← conduttanza (in siemens)

è valida anche quando vogliamo ottenere

- corrente efficace ( $I_{eff}$ ) purché  $V$  sia espressa in valore efficace ( $V_{eff}$ )
- corrente massima ( $I_M$ ) purché  $V$  sia espressa in valore massimo ( $V_M$ )
- corrente picco-picco ( $I_{pp}$ ) purché  $V$  sia espressa in valore picco-picco ( $V_{pp}$ )

Esaminiamo graficamente l'argomento applicando una tensione alternata, ed impariamo a ragionare con i diagrammi multipli (caratteristica  $VI$  e diagrammi temporali) per studiare l'andamento della corrente.



**N.B.** - Insistiamo sul concetto di reversibilità di resistenza e conduttanza.  
Non dimentichiamo che la caratteristica della resistenza perfetta è anche caratteristica della conduttanza perfetta.  
Tutto dipende dal modo di "guardare" il diagramma a seconda che si consideri l'inclinazione della retta  
come  $\frac{V}{I} = R$  (resistenza) oppure come  $\frac{I}{V} = G$  (conduttanza)



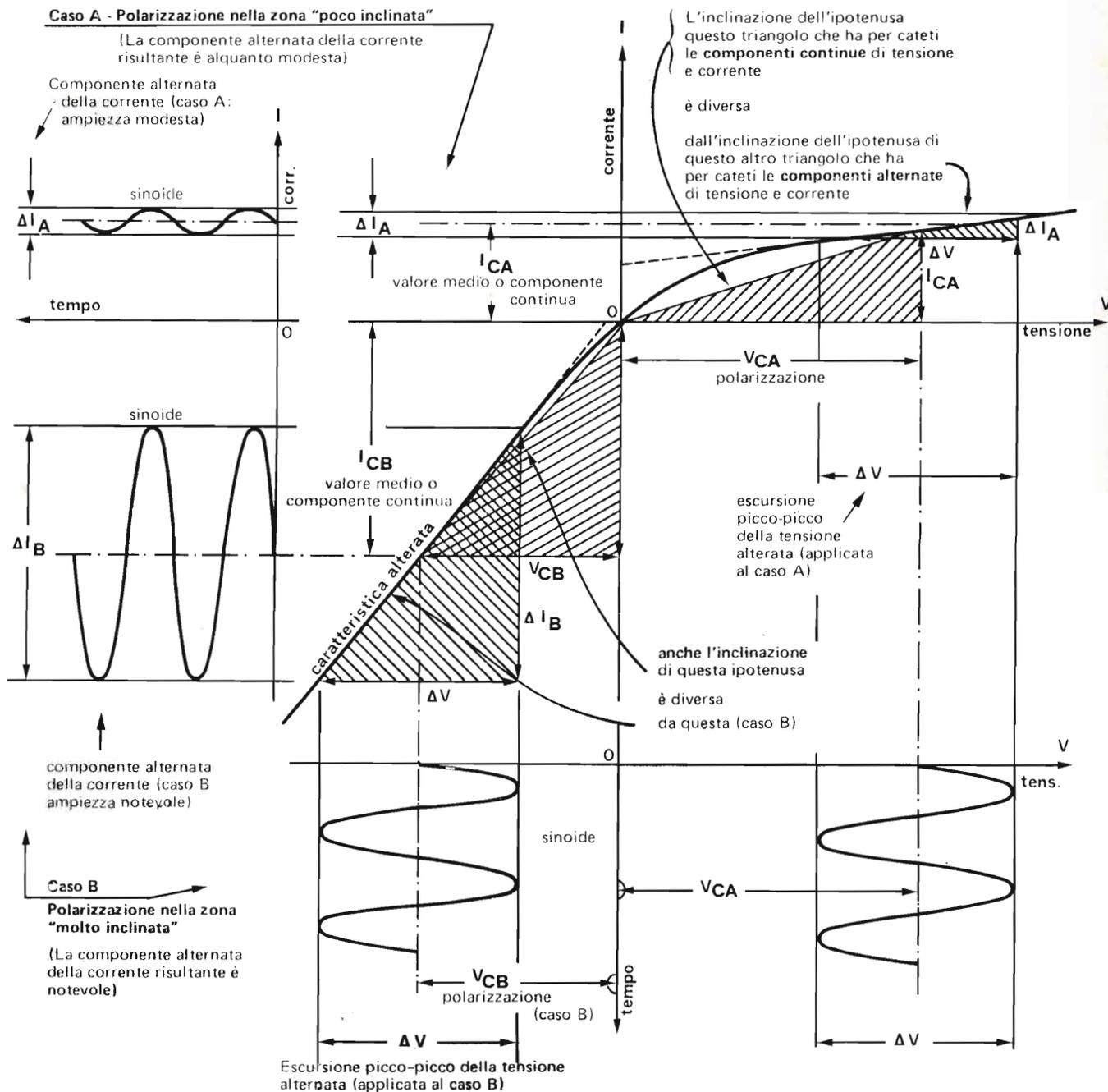
**CARATTERISTICA NON LINEARE A TENSIONE VARIABILE POLARIZZATA**

Ecco cosa succede quando si ha a che fare con tensioni alternate polarizzate applicate ai capi di una resistenza alterabile la cui caratteristica presenta tratti rettilinei il cui prolungamento non passa per l'origine.

In questo stesso diagramma si contemplanò due casi corrispondenti a:

- una stesso valore delle componenti alternate delle tensioni applicate
- due diversi valori della tensione di polarizzazione.

E' interessante constatare come una stessa tensione alternata, a seconda di come sia diversamente polarizzata, possa dar luogo a due correnti notevolmente diverse.



**Conclusione** - E' chiaro che in questi tipi di resistenza si può variare la componente alternata della corrente modificando la componente continua della tensione e viceversa.

Sezione : 1 Grandezze fondamentali  
 Capitolo : 11 Tensione Corrente Resistenza  
 Paragrafo : 11.7 Resistenza statica e resistenza differenziale  
 Argomento : 11.74 Elementi a caratteristica non lineare. Evidenze e definizioni

**CON UNA DATA TENSIONE ALTERNATA SI POSSONO OTTENERE DIVERSE CORRENTI ALTERNATE**

Anche in questo caso (vedi 11.71/2) si può modificare il valore della componente alternata della corrente, modificando il valore della componente continua della tensione e viceversa.

Inoltre, quando mancano tratti rettilinei nella caratteristica, non si potrà mai avere una forma di onda della corrente identica a quella della tensione applicata e viceversa.

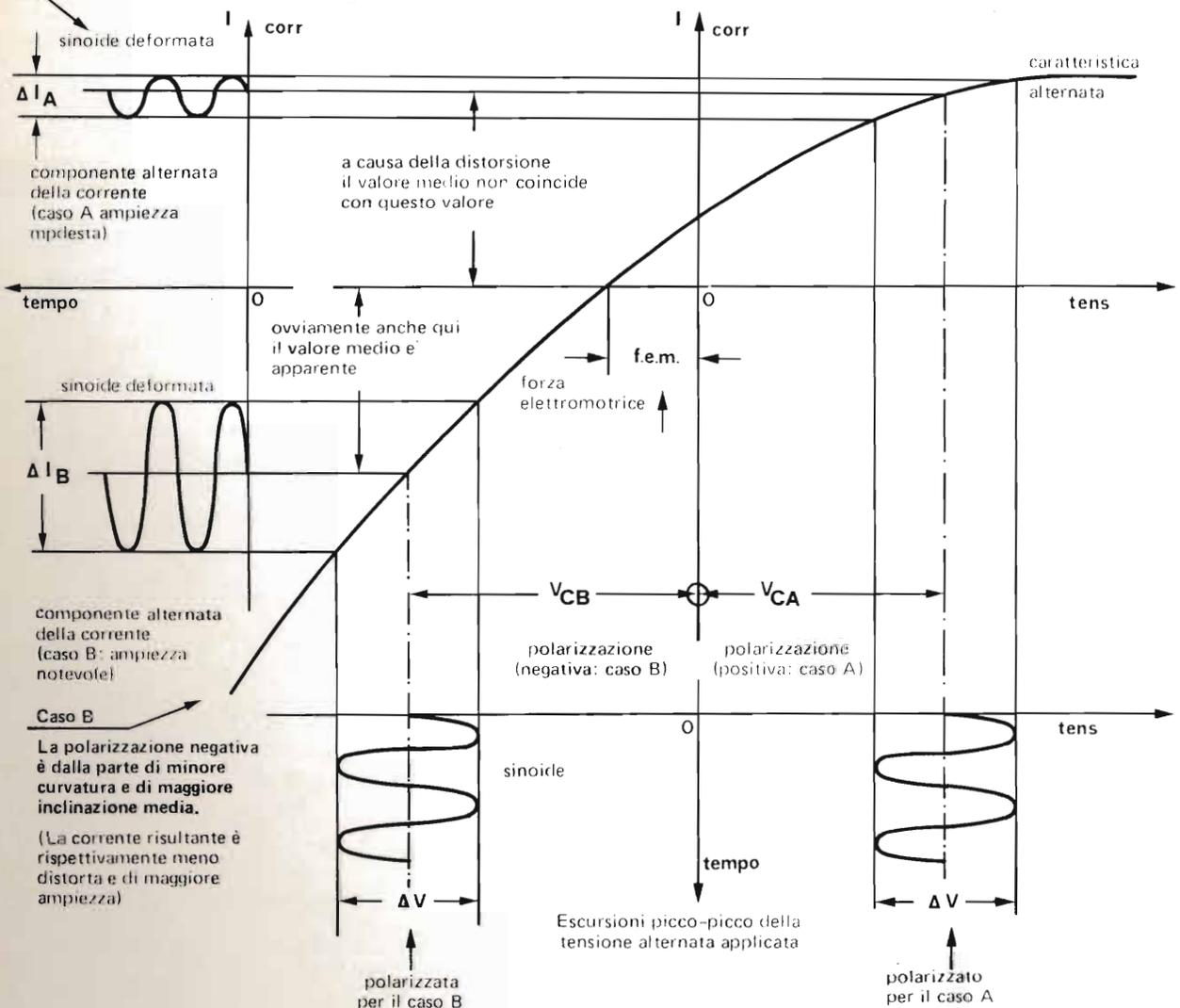
Nel caso più generale poi resta il problema di dare un significato ai seguenti rapporti:

- 1)  $\frac{\text{componente continua della tensione}}{\text{componente continua della corrente}}$
- 2)  $\frac{\text{componente alternata della tensione}}{\text{componente alternata della corrente}}$

Entrambi hanno la dimensione di una resistenza, ma non solo sono diversi fra di loro in ogni punto della caratteristica, ma anche cambiano di valore man mano che il punto si sposta sulla caratteristica.

Esaminiamo la figura che mostra la caratteristica di una resistenza alterata, affetta da forza elettromotrice e interamente curvilinea: perciò non si potrà parlare di inclinazione della ipotenuza, a meno che non si applichino tensioni così piccole da rendere impercettibile la deformazione dovuta alla curvatura della caratteristica.

**Caso A** - La polarizzazione (positiva) è dalla parte di maggior curvatura e di minore inclinazione media.  
 (La corrente risultante è rispettivamente più distorta e di minore ampiezza)



**Conclusione** - E' necessario introdurre un nuovo concetto di resistenza che tenga conto di altri parametri della zona di caratteristica dove si vogliono far avvenire, polarizzandole, le escursioni della componente alternata.

1975 - A.T. Guicci - Proprietà riservata ai termini di legge - Riproduzione vietata senza consenso

Sezione	: 1	Grandezze fondamentali
Capitolo	: 11	Tensione Corrente Resistenza
Paragrafo	: 11.7	Resistenza statica e resistenza differenziale
Argomento	: 11.74	Elementi a caratteristica non lineare. Evidenze e definizioni

**RESISTENZA STATICA E RESISTENZA DIFFERENZIALE**

Se la caratteristica presenta un tratto rettilineo non passante per l'origine degli assi sul quale facciamo avvenire le oscillazioni polarizzate, il rapporto fra

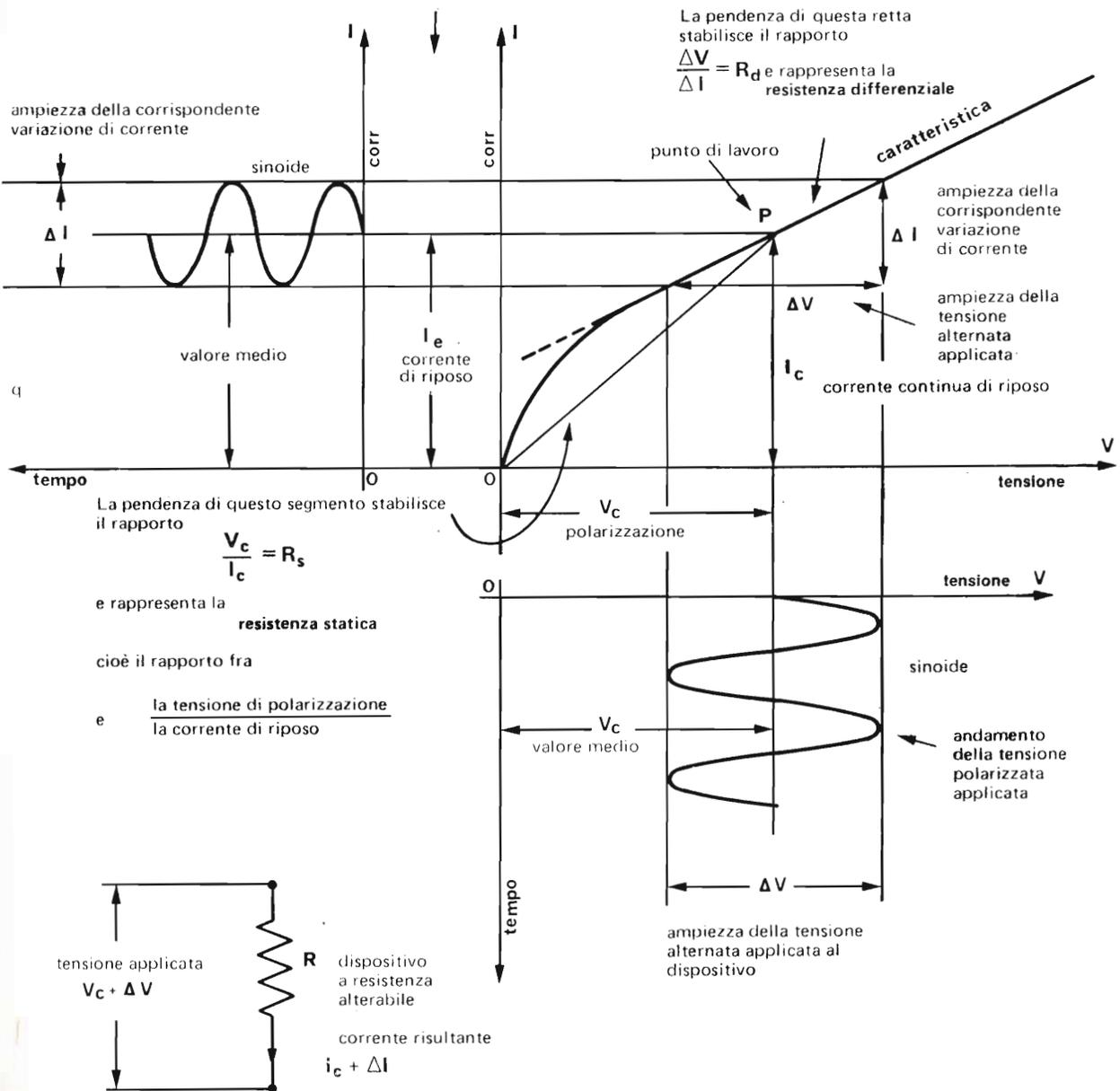
e  $\frac{\text{tensioni applicate}}{\text{correnti corrispondenti}}$  (che ha le dimensioni di una resistenza)

è diverso per uno stesso punto di lavoro a seconda che si tratti di componenti variabili oppure di componenti continue. Definiamo dunque le seguenti grandezze:

Resistenza differenziale	$R_d = \frac{\Delta V}{\Delta i}$	$\frac{\text{ampiezza della variazione di tensione applicata}}{\text{ampiezza della variazione di corrente corrispondente}}$
Resistenza statica	$R_s = \frac{V_c}{I_c}$	$\frac{\text{valore della tensione costante di polarizzazione}}{\text{valore della corrente continua corrispondente}}$

Osserviamo le figure con tutti i loro commenti.

La corrente di riposo è la sola componente continua che attraversa il dispositivo quando manca la tensione alternata (è presente la sola tensione di polarizzazione)



Schema di collegamento del dispositivo a resistenza alterabile

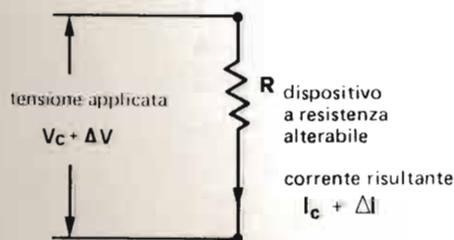
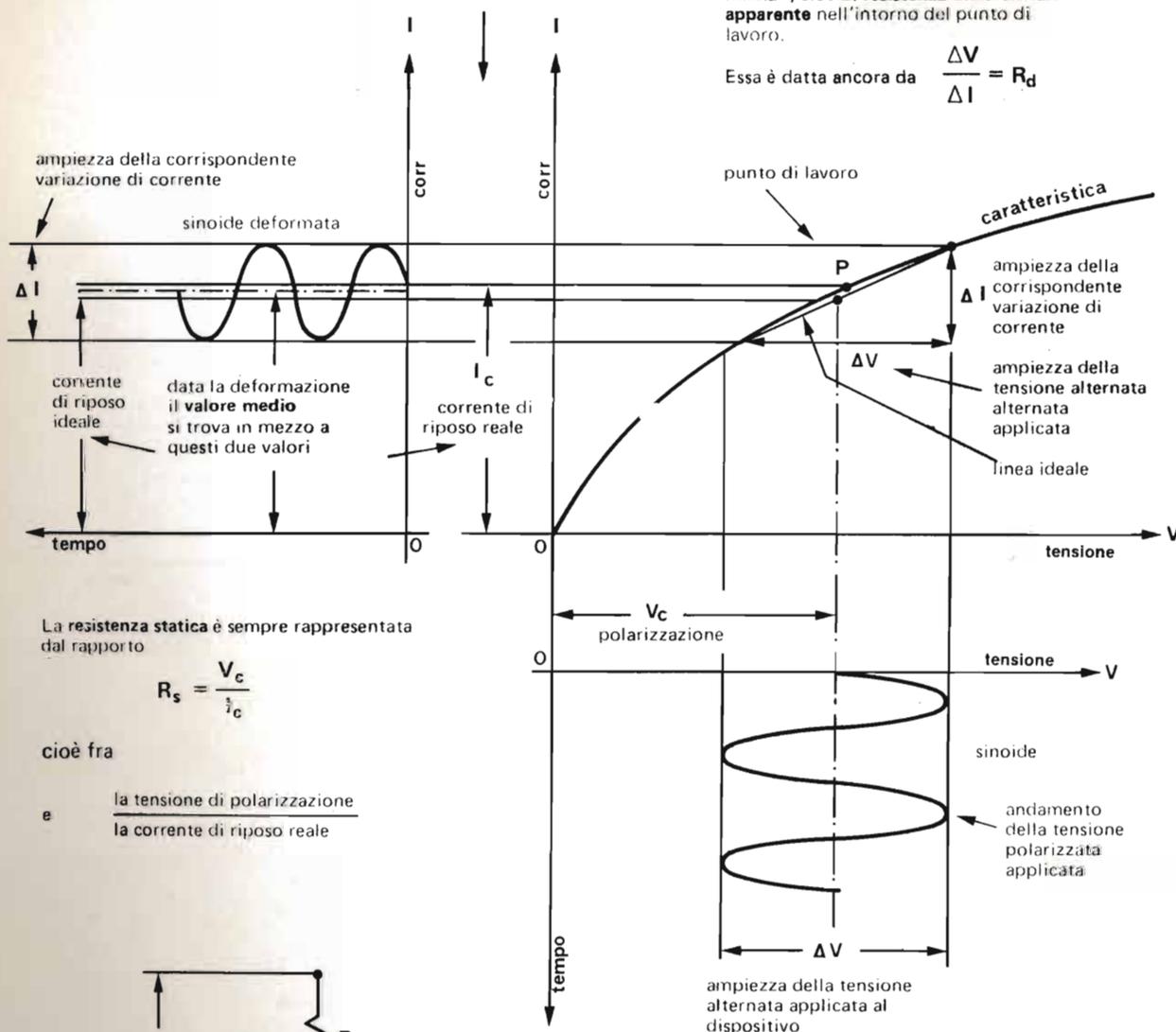
**DEFORMAZIONI D'ONDA NEGLI ELEMENTI A CARATTERISTICA CURVILINEA**

Attenzione ora a ciò che succede quando la caratteristica della resistenza è interamente curvilinea;  
 Le oscillazioni di tensione che applichiamo ai suoi capi creano delle oscillazioni di corrente di forma distorta e il valore della corrente di riposo non coincide più con il valore medio.  
 Osserviamo le figure con tutti i loro commenti e confrontiamole con quelle del foglio 11.72-2

La corrente di riposo reale è la sola componente continua che attraversa il dispositivo quando manca la componente alternata della tensione applicata (e presente la sola tensione di polarizzazione)

Data la curvatura caratteristica, non si può più parlare di "pendenza" sul punto di lavoro, ma di "pendenza" media", cioè di **resistenza differenziale apparente** nell'intorno del punto di lavoro.

Essa è data ancora da  $\frac{\Delta V}{\Delta I} = R_d$



Schema di collegamento del dispositivo a resistenza alterabile

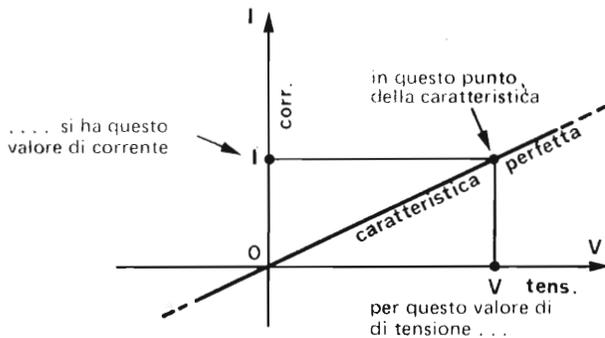
**CONFRONTI CON LA RESISTENZA STATICA**

Il concetto di semplice resistenza prima conosciuto, cioè quello per il quale per ogni valore di tensione corrisponde un valore di corrente, prende ora il nome di resistenza statica non solo per distinguerlo da quello di resistenza dinamica o differenziale, ma anche perché la resistenza statica assume un significato leggermente differente da quello di resistenza perfetta.

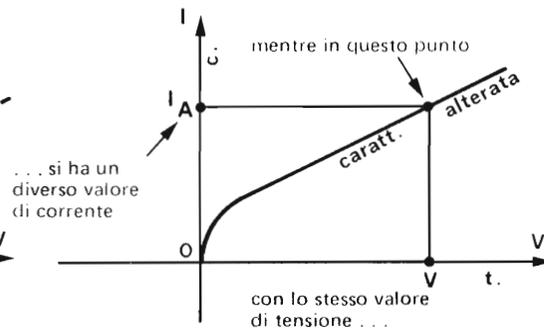
(vedi 11.71-1)

Esaminiamo due caratteristiche aventi la stessa inclinazione.

**1) Caratteristica di resistenza perfetta**



**2) Caratteristica di resistenza alterata**

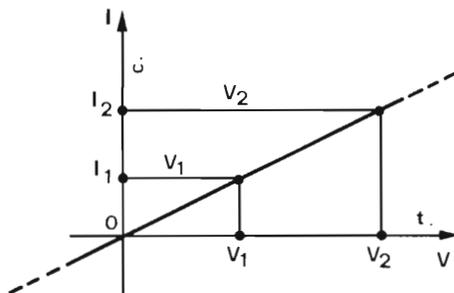


E' evidente che vale anche il ragionamento inverso, cioè che per uno stesso valore di corrente si hanno due diversi valori di tensione nei due casi.

Ripetiamo i diagrammi per dare ulteriori spiegazioni sui concetti di resistenza e ripetiamo che in entrambi i casi il significato di resistenza è legato al rapporto

$$\text{resistenza in ohm} \rightarrow R = \frac{V}{I} \leftarrow \begin{matrix} \text{tensione applicata in volt} \\ \text{diviso} \\ \text{la corrispondente corrente in ampere} \end{matrix}$$

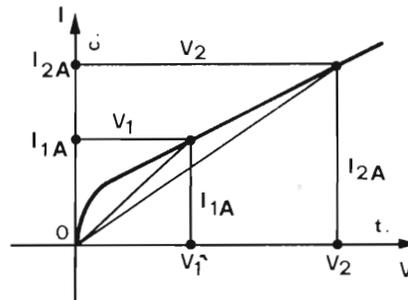
Mentre nel caso di resistenza perfetta



... il valore della resistenza statica è unico ed immutabile per qualsiasi punto della caratteristica

I triangoli rettangoli formati con i rispettivi valori di tensione e di corrente sono simili e le ipotenuse sono allineate

Mentre nel caso di resistenza alterata



... il valore della resistenza statica cambia per ogni punto della caratteristica.

I triangoli rettangoli formati con i rispettivi valori di tensione e di corrente non sono simili e le ipotenuse non sono allineate.

Sezione : 1 Grandezze fondamentali  
 Capitolo : 11 Tensione Corrente Resistenza  
 Paragrafo : 11.7 Resistenza statica e resistenza differenziale  
 Argomento : 11.74 Elementi a caratteristica non lineare. Evidenze e definizioni

### RESISTENZA DIFFERENZIALE POSITIVA E NEGATIVA

**Segno di un intervallo  $\Delta$  (differenziale finito)**

Con il simbolo  $\Delta$  (del ta maiuscola) si intende la differenza fra due valori di una stessa grandezza (si dice anche: intervallo di valori).

Questa differenza, per un intervallo di due valori ( $X_2 - X_1$ ) è

- + ) positiva, se  $X_2$  è maggiore di  $X_1$  ( $X_2 > X_1$ )
- ) negativa, se  $X_2$  è minore di  $X_1$  ( $X_2 < X_1$ ).

**Segno di un rapporto differenziale**

Se due grandezze appartenenti allo stesso fenomeno vengono messe in correlazione, come potrebbero essere tensione ( $V$ ) e corrente ( $I$ ) in un dispositivo, bisogna star bene attenti di assumere i valori corrispondenti quando di vuol determinare un rapporto differenziale.

I valori corrispondenti sono quelli contrassegnati con lo stesso indice;

Nel nostro caso si intenderà per

$\Delta V$  il valore differenziale  $V_2 - V_1$

per

$\Delta I$  il corrispondente valore  $I_2 - I_1$

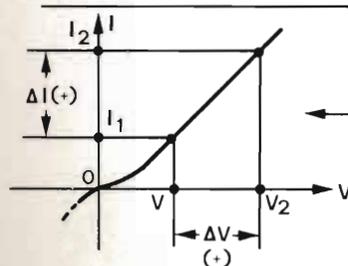
La resistenza differenziale già nota come il rapporto  $R_d = \frac{\Delta V}{\Delta I}$

si può scrivere anche come il rapporto

$$R_d = \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1}$$

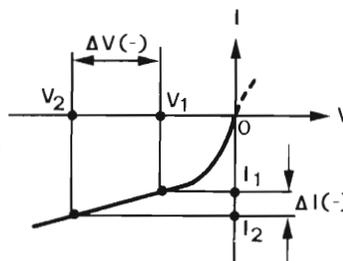
Vediamo negli esempi che seguono i vari valori e segni che questo rapporto può assumere.

#### + ) Resistenza differenziale positiva

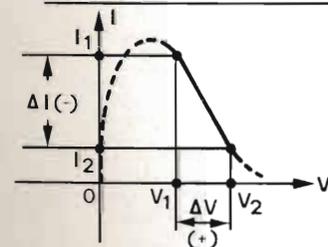


In entrambi i casi il rapporto è positivo perché i differenziali, o intervalli, sono o entrambi positivi o entrambi negativi

La caratteristica è sempre "in salita" nel senso delle tensioni crescenti

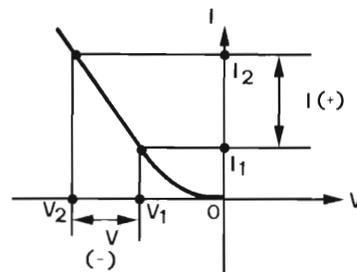


#### - ) Resistenza differenziale negativa

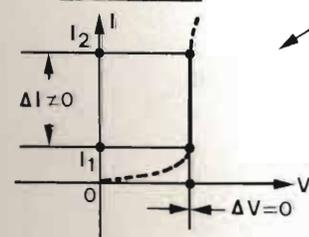


In entrambi i casi il rapporto è negativo perché i differenziali, o intervalli, relativi sono di segno opposto

La caratteristica è sempre "in discesa" nel senso delle tensioni crescenti



#### lim.) Valori limite

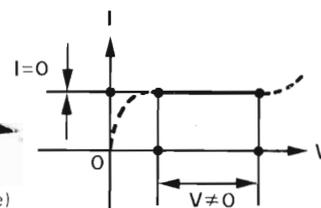


#### Resistenza differenziale nulla

Si ha quando nell'intervallo considerato non vi è variazione di tensione (caratteristica verticale)

#### Resistenza differenziale infinita

Si ha quando nell'intervallo considerato non c'è variazione di corrente (caratteristica orizzontale)

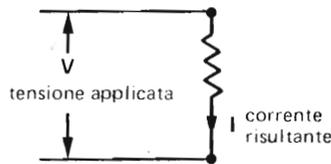


**ESAME GENERALE DI UNA CARATTERISTICA TENSIONE-CORRENTE**

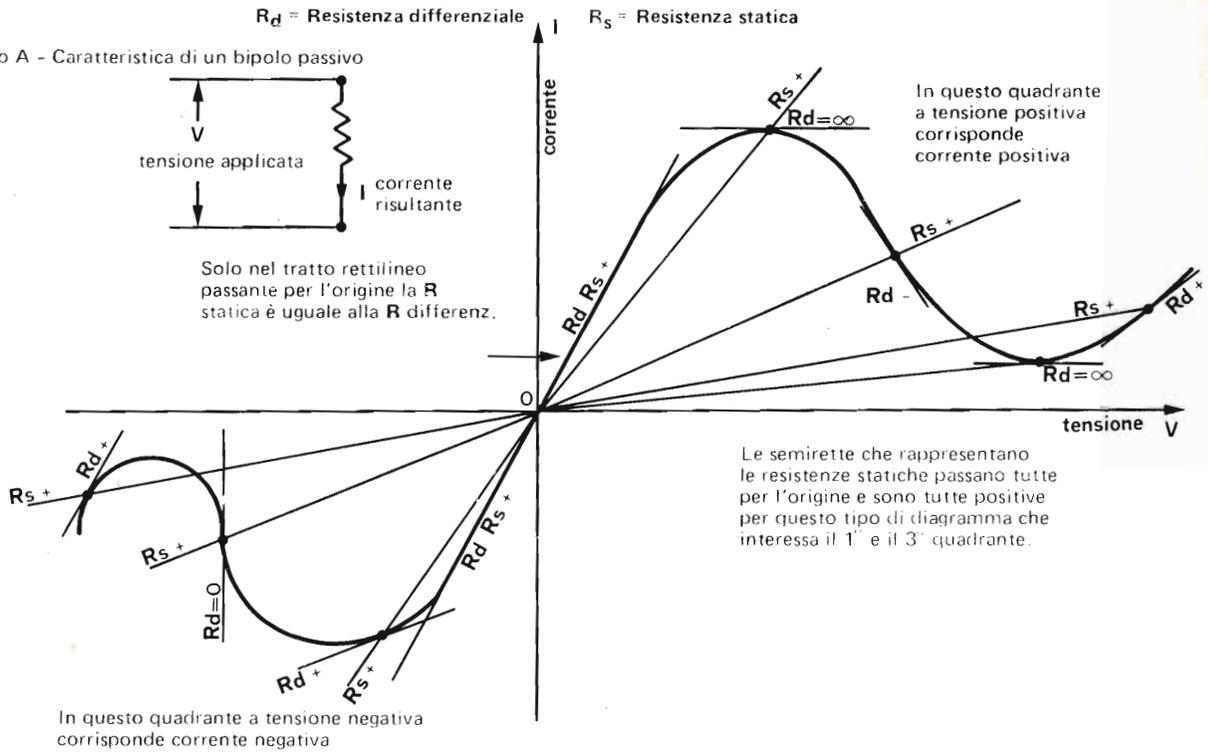
Per riassumere i concetti fin qui espressi esaminiamo due caratteristiche appositamente costruite:

$R_d$  = Resistenza differenziale  $R_s$  = Resistenza statica

Caso A - Caratteristica di un bipolo passivo



Solo nel tratto rettilineo passante per l'origine la  $R$  statica è uguale alla  $R$  differenziale.



Le semirette che rappresentano le resistenze statiche passano tutte per l'origine e sono tutte positive per questo tipo di diagramma che interessa il 1° e il 3° quadrante.

Caso B - Caratteristica di un bipolo attivo

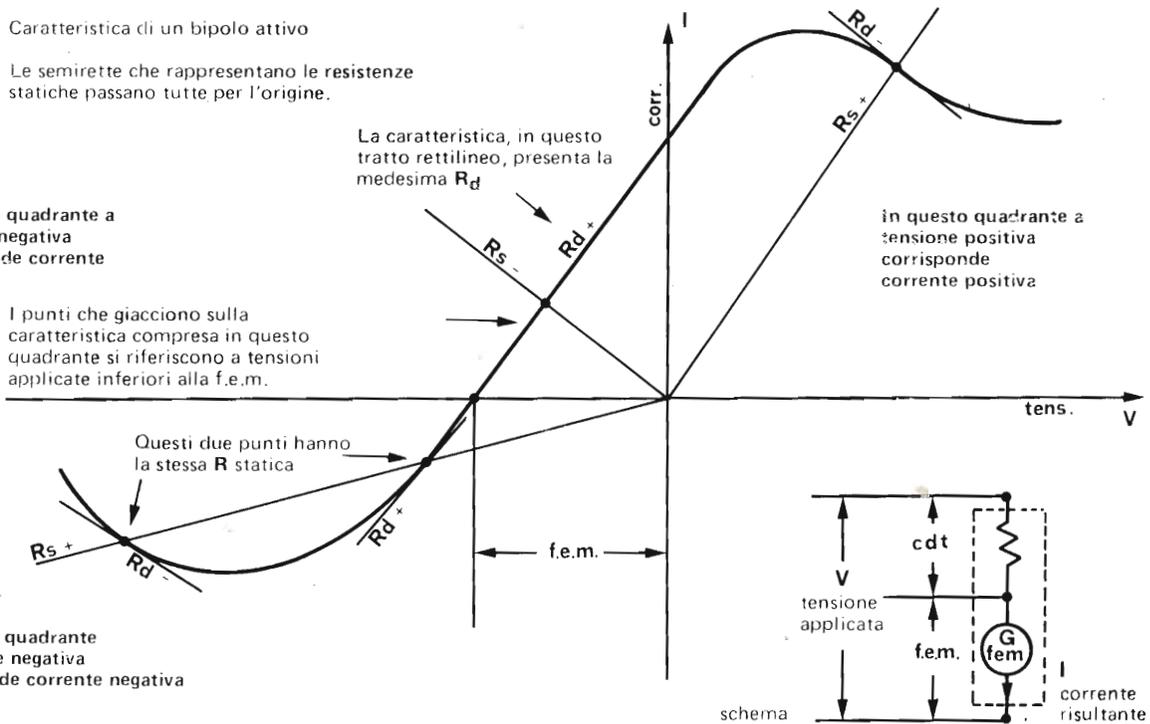
Le semirette che rappresentano le resistenze statiche passano tutte per l'origine.

La caratteristica, in questo tratto rettilineo, presenta la medesima  $R_d$

In questo quadrante a tensione negativa corrisponde corrente positiva

I punti che giacciono sulla caratteristica compresa in questo quadrante si riferiscono a tensioni applicate inferiori alla f.e.m.

Questi due punti hanno la stessa  $R$  statica



In questo quadrante a tensione negativa corrisponde corrente negativa

