

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale

Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

***Relazione per la prova finale
«Studio di caratteristiche e principio di
funzionamento di amplificatori con
transistor bipolari a giunzione»***

Tutor universitario: Prof. Michele Forzan

Laureando: *Matteo Rocca*
con matricola 1218863

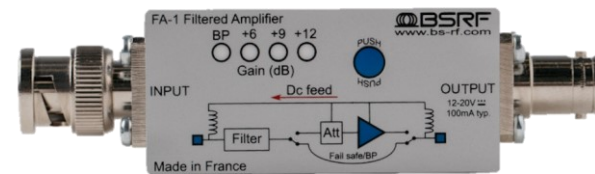
Padova, 04/07/2024



Amplificatori audio

Amplificatori di
segnali video

Amplificatori di
segnali di controllo



Amplificatori di radiofrequenze (RF)

APPLICAZIONI

Amplificatori di
segnali di
sensori

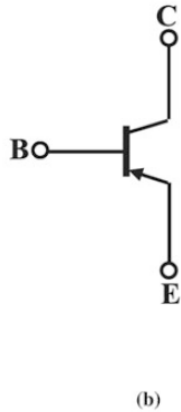
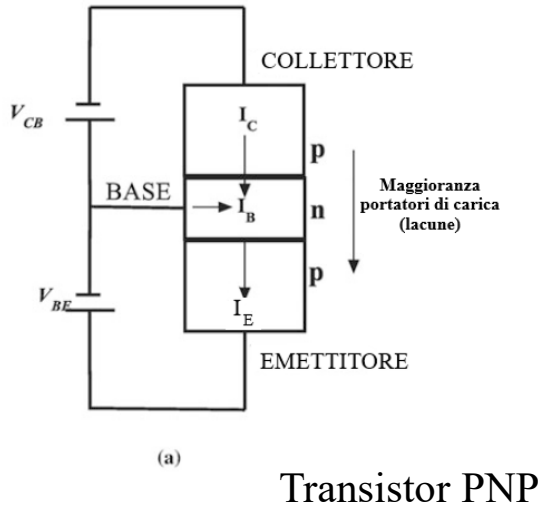
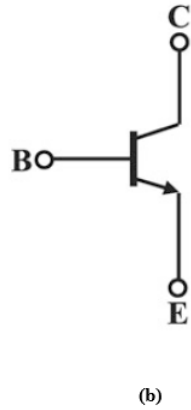
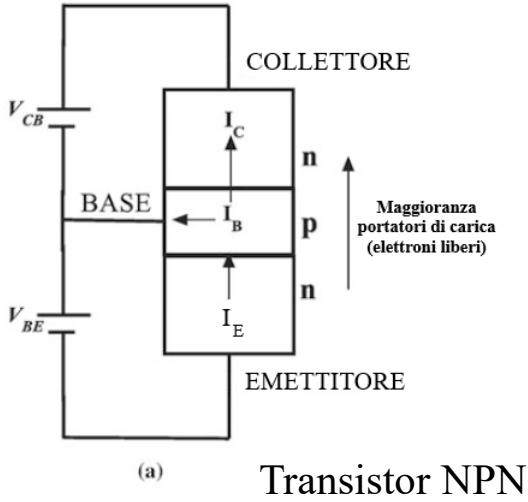


Preamplificatori microfonici

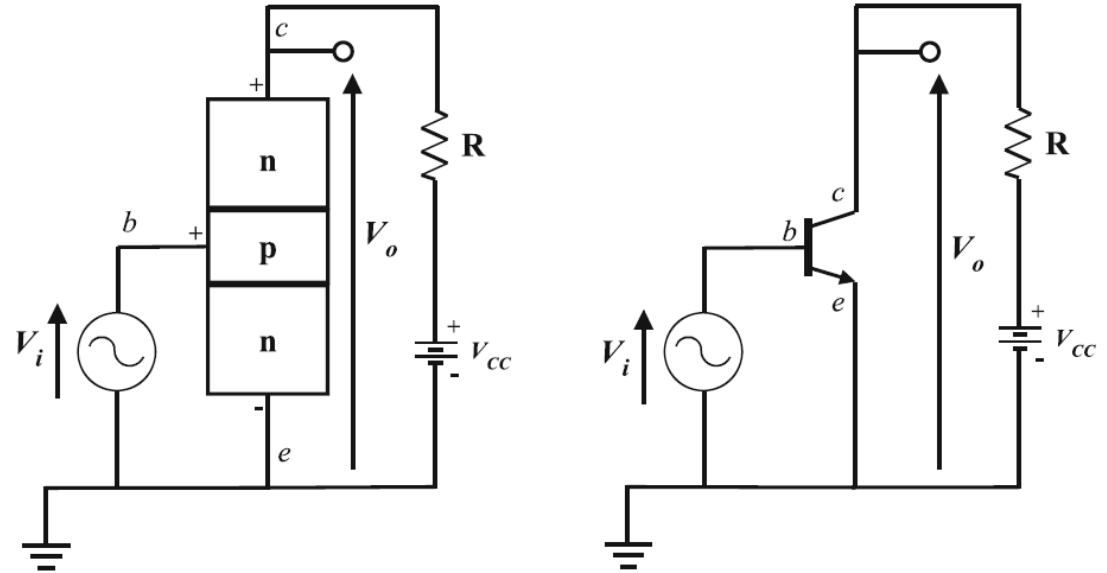


Amplificatori di potenza per
impianti PA

- Studio dell'applicazione dei transistor BJT come amplificatori nel caso particolare di configurazione ad emettitore comune
- Determinazione delle relazioni tra grandezze in input e grandezze in output del transistor ed individuazione delle tre zone di funzionamento
- Studio dell'implementazione in circuiti reali di amplificatori BJT a basso segnale: biasing fisso, retta di carico DC, SOA, bandwidth e slew rate
- Classificazione degli amplificatori di potenza (classi A, B, AB), studio delle rispettive caratteristiche e definizione delle prestazioni
- Introduzione ai transistor BJT compositi, applicazione degli stessi in un circuito completo di un amplificatore di potenza (progetto allegato) e studio della stabilità



Amplificatore - configurazione ad emettitore comune



Efficienza della diffusione dei portatori di carica nel collettore praticamente indipendente da v_{CE}

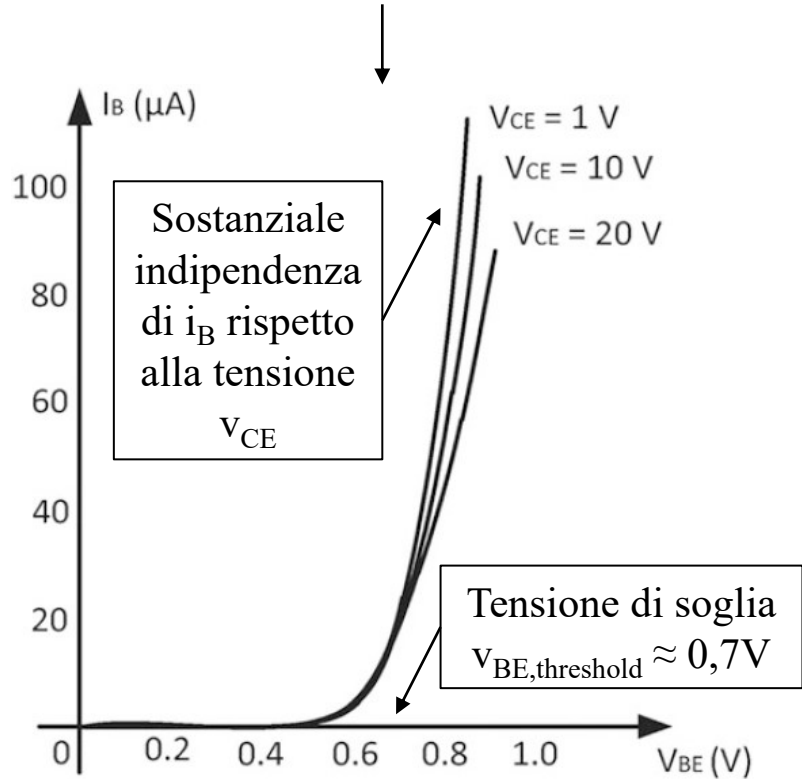
La resistenza del carico R ha influenza nulla sulla corrente al collettore i_C

Modifica di $v_i = v_{EB} > 0$ → Variazione di i_B e quindi di $i_E = i_C + i_B \approx i_C$

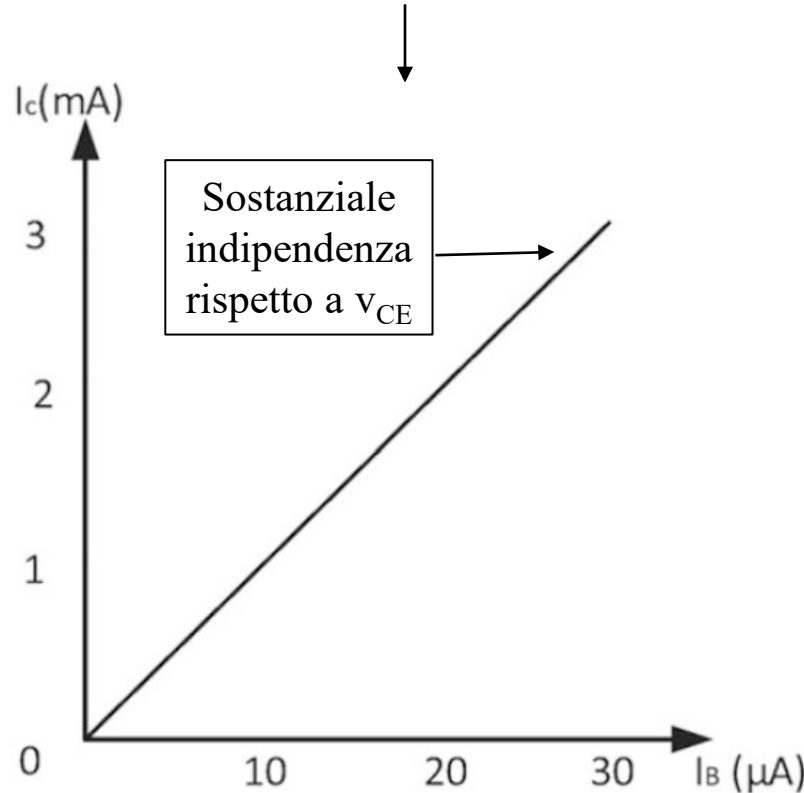
Diversa caduta di tensione ai capi di R (tensione di output v_o) ←

Variazione di i_C ←

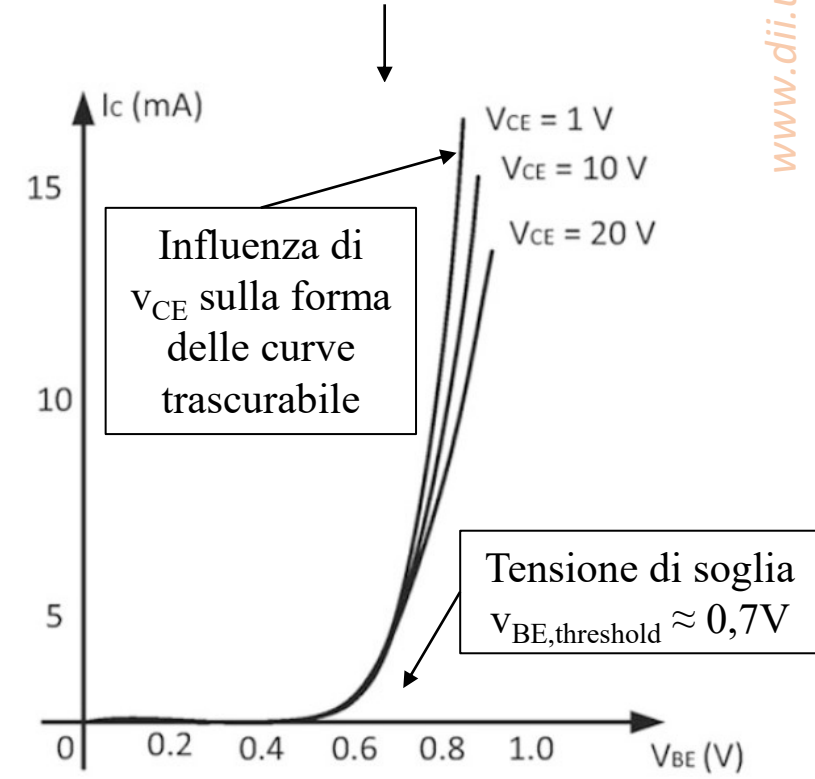
Curva caratteristica
del segnale di input



Curva caratteristica
di trasferimento



Curva caratteristica
mutua

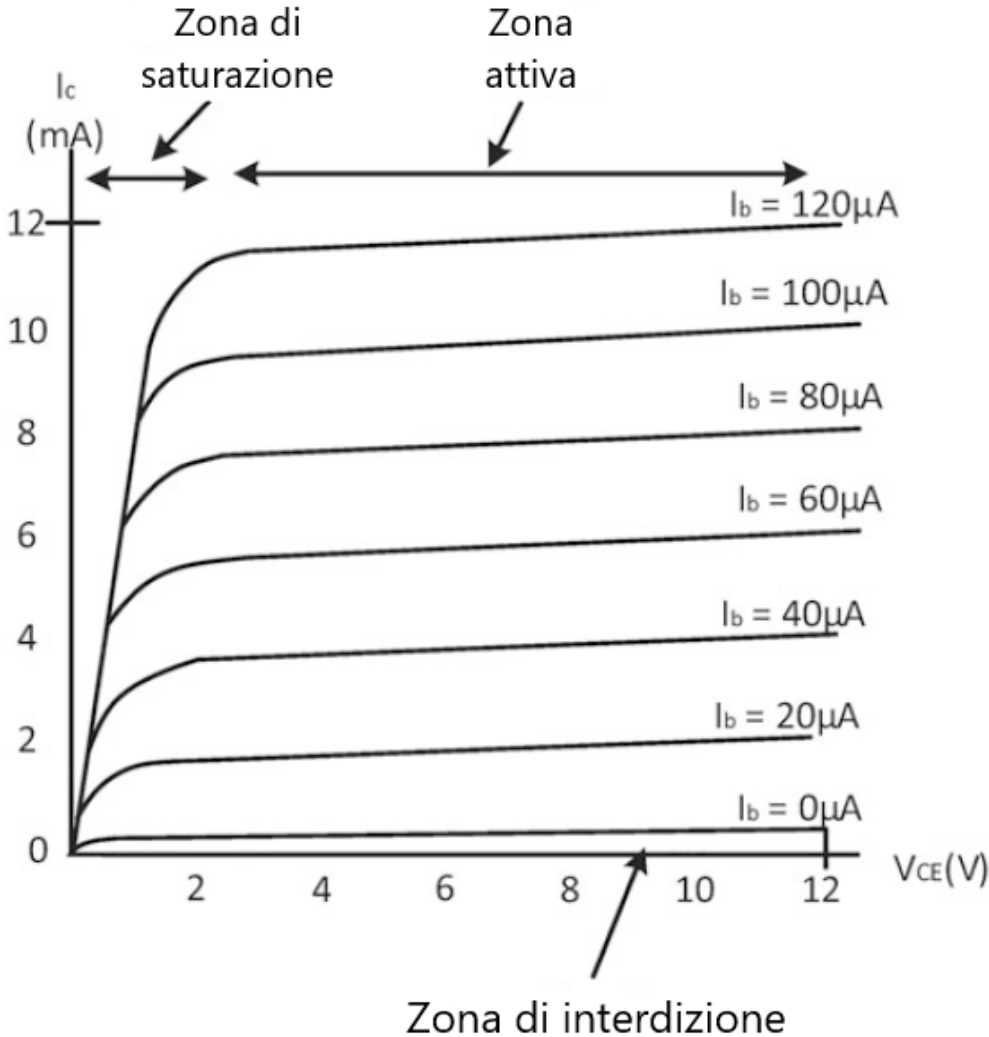


Fattore di guadagno di corrente $\beta = i_C / i_B$ (pendenza della curva) con andamento piuttosto lineare \rightarrow l'amplificazione di corrente i_C introduce poca distorsione

Andamento non lineare \rightarrow All'aumentare di $v_i = v_{EB}$ si ha un incremento del livello di distorsione nel flusso della corrente al collettore i_C

Curva caratteristica del segnale di output

Corrente al collettore i_C in funzione della tensione v_{CE} per valori costanti di i_B (oppure di $v_i = v_{EB}$)



Zona di funzionamento attivo

Giunzione emettitore-base
in conduzione ($v_{BE} \approx 0,7V$)

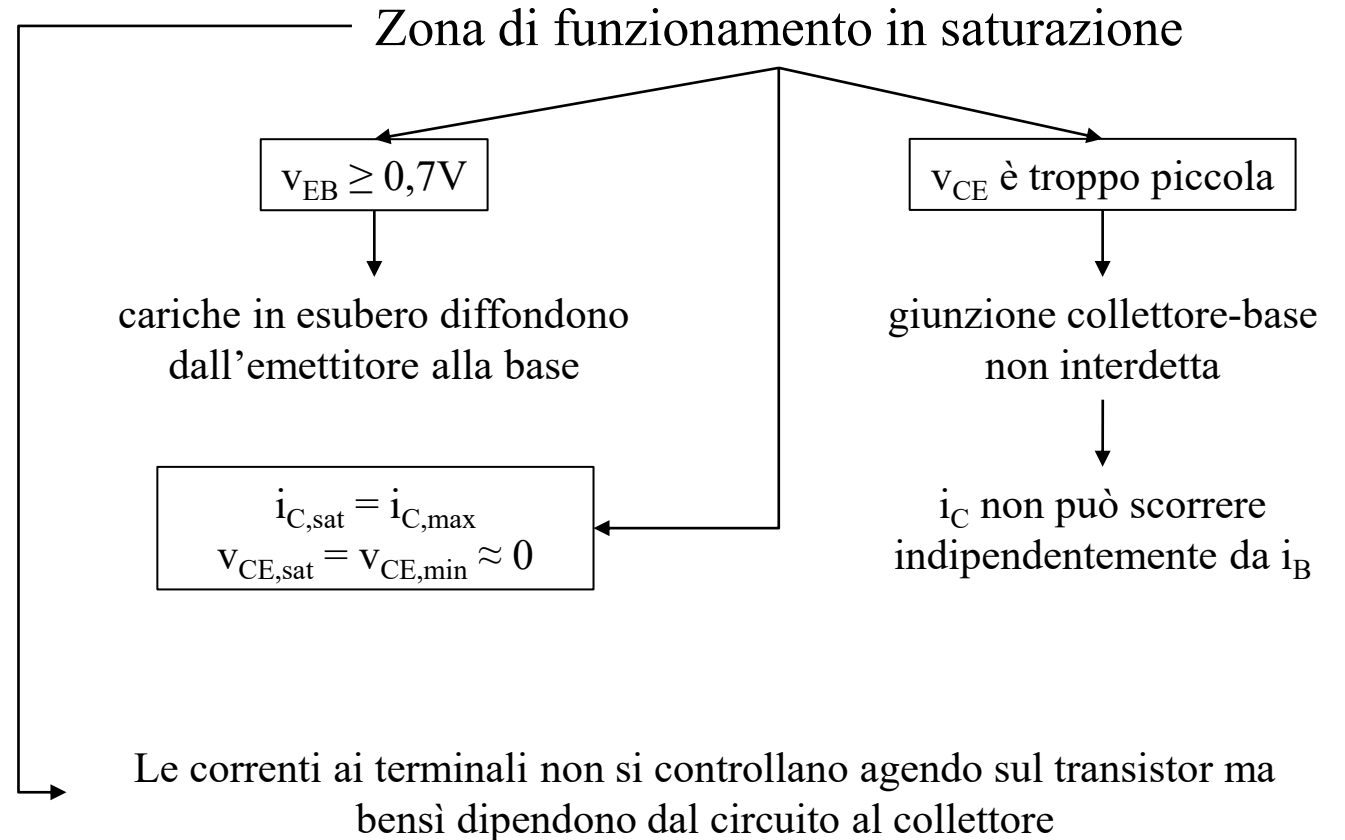
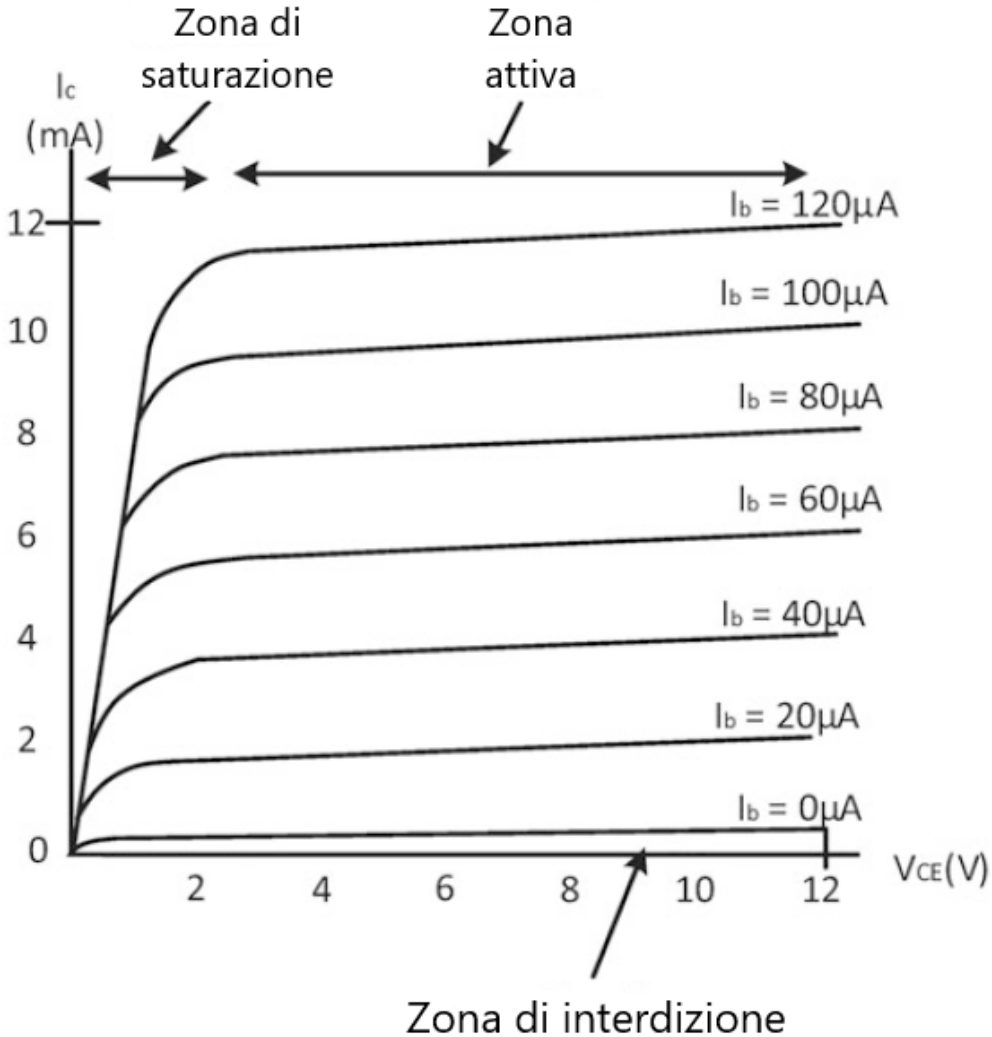
Giunzione collettore-base
in interdizione

Più i_B è piccola più v_{CB} dev'essere grande per poter ottenere la tensione $v_{CE} = v_{EB} + v_{CB}$ tale che $v_{CE} > v_{CE,sat}$

La curva è sostanzialmente orizzontale nel funzionamento attivo a causa della scarsa dipendenza di i_C rispetto v_{CE}

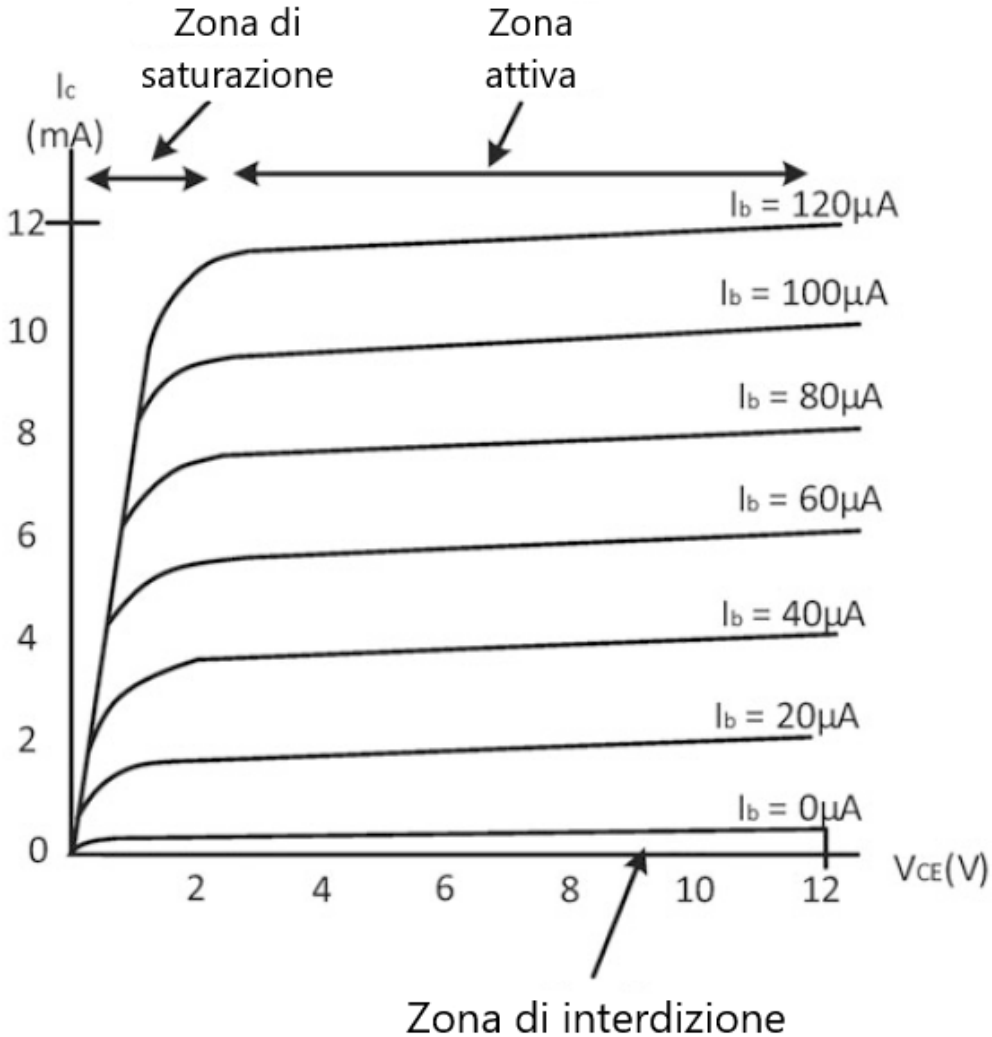
Curva caratteristica del segnale di output

Corrente al collettore i_C in funzione della tensione V_{CE} per valori costanti di i_B (oppure di $v_i = v_{EB}$)



Curva caratteristica del segnale di output

Corrente al collettore i_C in funzione della tensione v_{CE} per valori costanti di i_B (oppure di $v_i = v_{EB}$)



Zona di funzionamento
in interdizione

Giunzione emettitore-base
non in conduzione

$$i_{C,\text{cutoff}} = i_{C,\text{min}} \approx 0$$

$$v_{CE,\text{cutoff}} = v_{CE,\text{max}}$$

Nonostante $v_{EB} < 0,7\text{V}$ e quindi $i_B = 0$, esiste una minima corrente di dispersione $i_C > 0$

Problema:

- Nel transiente positivo dell'onda del segnale: il transistor non entra in conduzione prima che $v_{BE} \geq v_{BE,threshold} \approx 0,7V$
- Nel transiente negativo dell'onda del segnale: il transistor rimane interdetto e $v_O = 0$

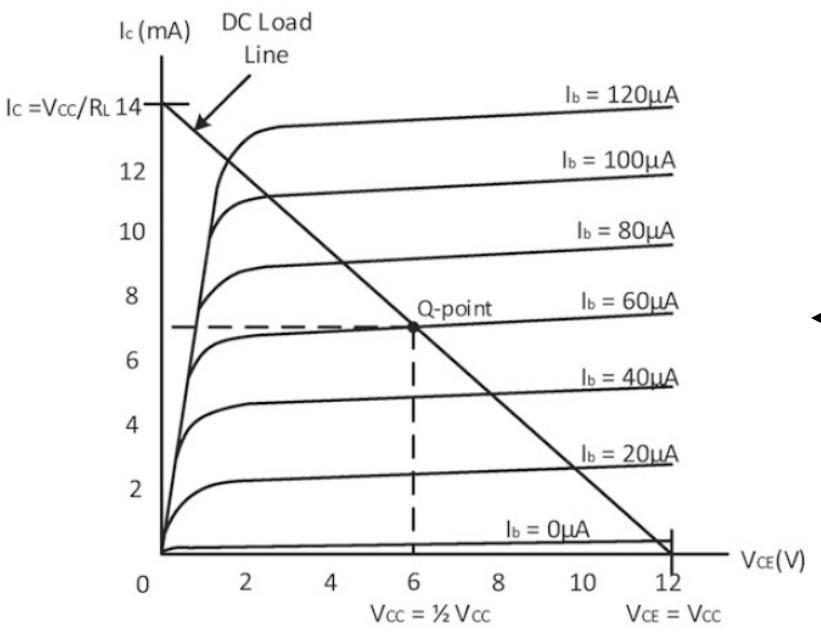
Soluzione:
BIASING (o polarizzazione): tensione continua v_{BB} in serie con la tensione in input per imporre una corrente permanente i_{Bq} che porta il transistor ad essere sempre in conduzione

Problema:

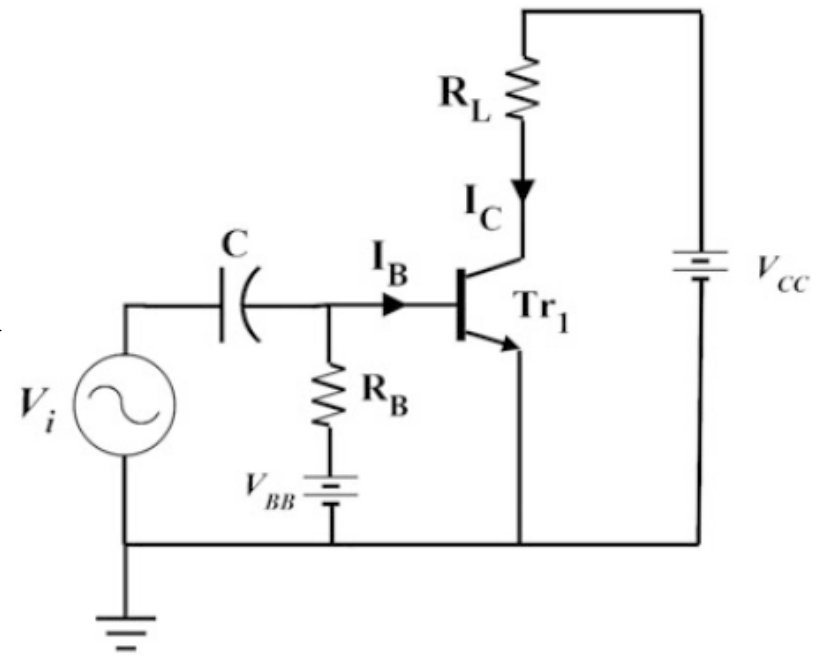
- Esiste una corrente continua che scorre sempre nel circuito di input \rightarrow alterazione del segnale da amplificare
- Controllare i_{Cq} modificando v_{BB} è virtualmente impossibile

Soluzione:
FIXED BIASING (bias fisso)

$$i_C = \beta \cdot i_B = (\beta/R_B) \cdot (v_{BB} - 0.7)$$

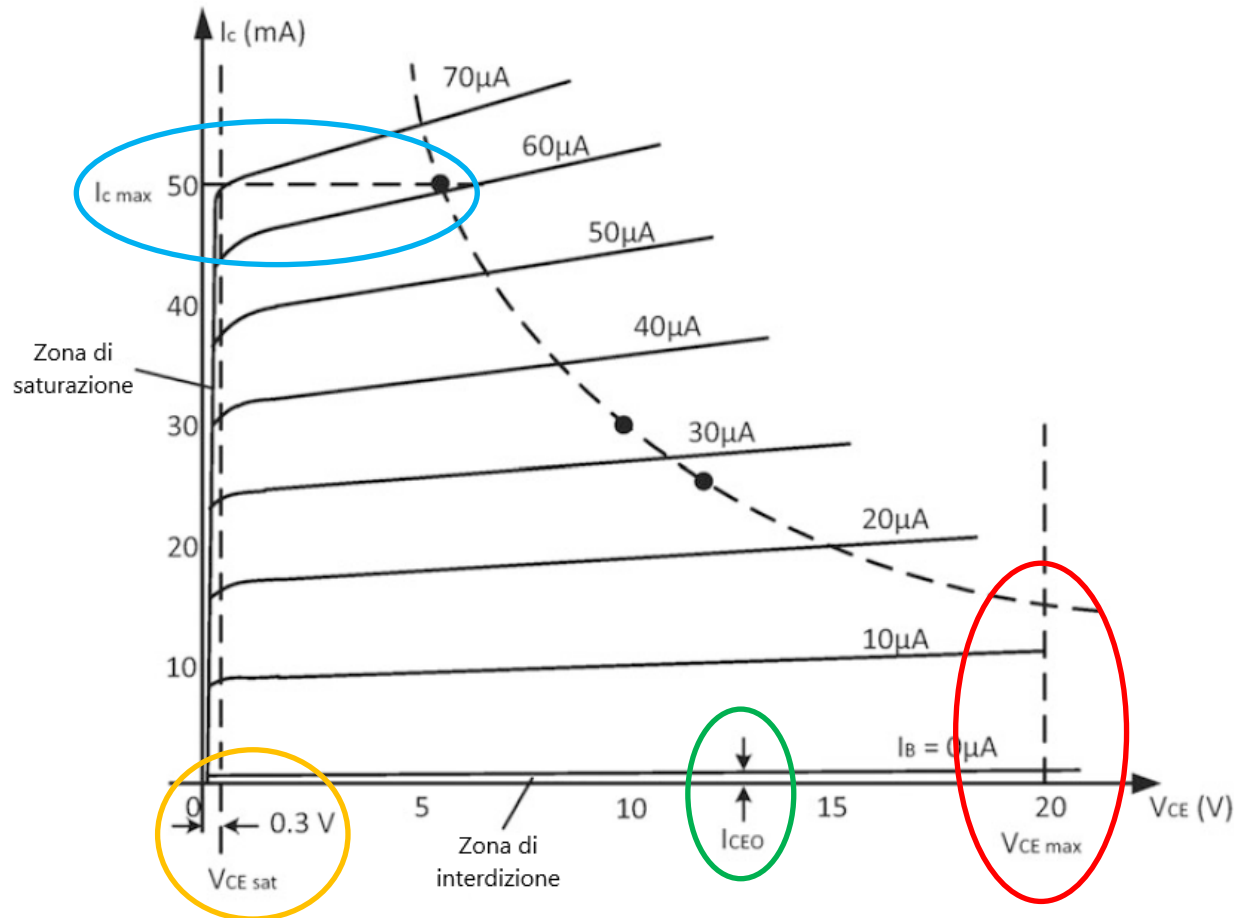


← DC Load Line



Safe Operating Area

Area dello spazio delle curve della caratteristica del segnale di output entro cui è garantito il corretto funzionamento del transistor



Massima corrente al collettore $i_{C,max}$

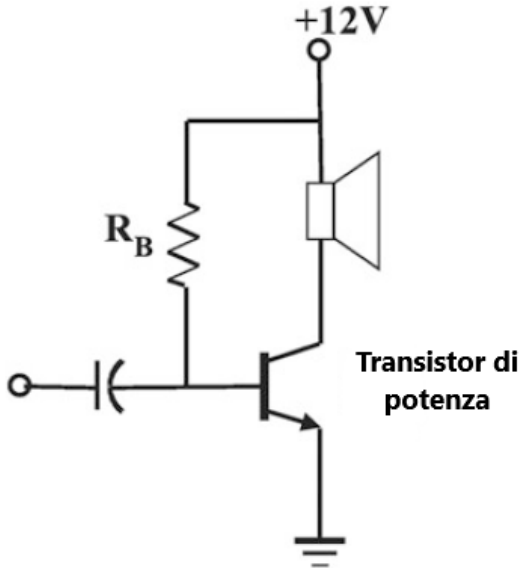
Massima tensione tra collettore ed emettitore quando al terminale di base corrisponde un circuito aperto $V_{CE,max} = V_{CEO}$

Minima tensione tra collettore ed emettitore
 $V_{CE,sat}$

Corrente di perdita che scorre tra collettore ed emettitore i_{CEO}

Massima potenza dissipabile dal transistor
 $P_{D,max} = V_{CE}i_C$

Classe A

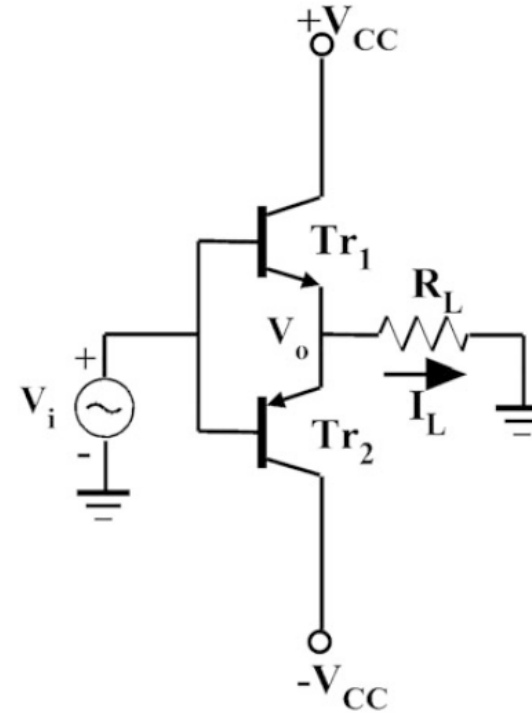


Transistor polarizzati per funzionare sempre nella zona attiva (a meno che non si verifichi clipping)

Dispositivo in output in conduzione per l'intero ciclo sinusoidale del segnale in input (angolo di conduzione 360°)

Efficienza massima teorica ottenibile con un amplificatore CE a bias fisso di classe A $\rightarrow \eta_{\max} \approx 25\%$

Classe B (Push-Pull)



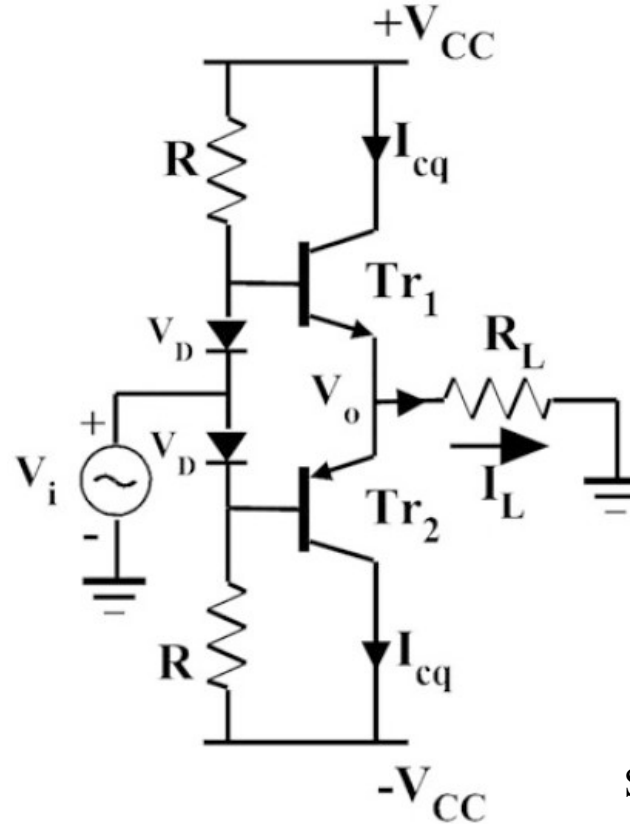
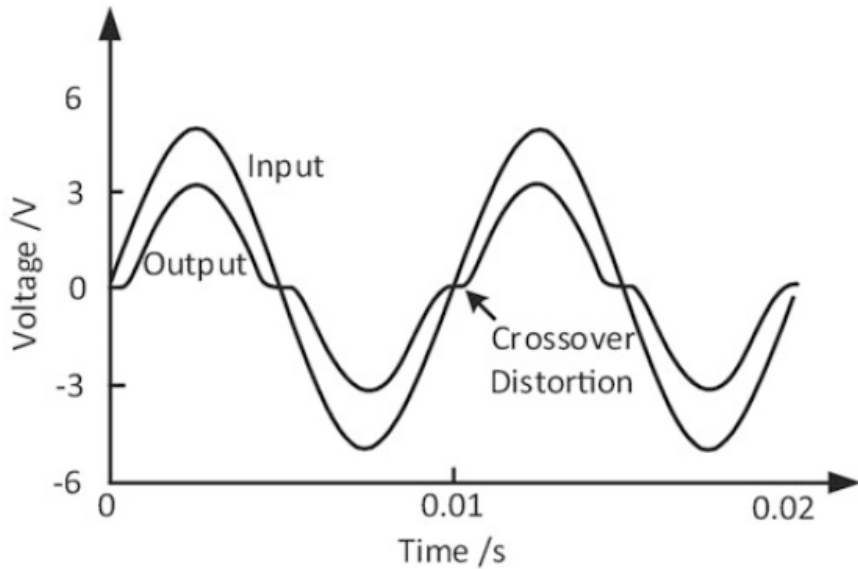
- In assenza di segnale il transistor è interdetto
- Quando si fornisce un input $v_i = v_{EB} \geq 0,7V$ il transistor entra in conduzione

Dispositivo in output in conduzione per metà del ciclo sinusoidale del segnale in input (angolo di conduzione 180°)

Per riprodurre l'intero segnale sono necessari due transistor che alternano l'entrata in conduzione

Efficienza massima teorica ottenibile con un amplificatore CE di classe B $\rightarrow \eta_{\max} \approx 78,5\%$

Crossover distortion



Classe AB

A partire da un amplificatore di classe B, si applica una minima polarizzazione dei transistor

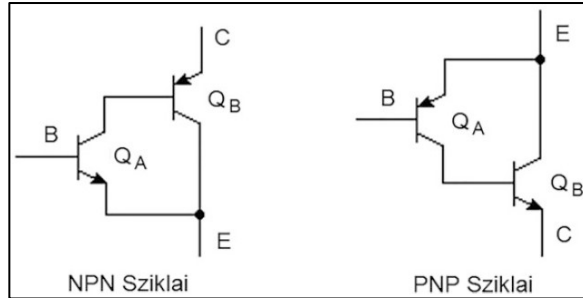
- Se $v_i = 0$, entrambi i transistor registrano piccole correnti al collettore $i_{C,q}$
- Quando $v_i > 0$ ($v_i < 0$), Tr_1 (Tr_2) è già in conduzione \rightarrow esiste da subito una tensione v_o in output

Sensibile riduzione della crossover distortion

Prestazioni di un amplificatore di potenza



Transistor Sziklai



- Tensione di soglia $v_{EB,threshold} \approx 0,7V$
- Fattore di guadagno della corrente $\beta_S = \beta_A \beta_B$

Pregi:
Incremento del current gain significativo $\beta_S, \beta_D = 1000 - 20000$ (meglio fare stime conservative)
Conseguenze:

- Impedenza di input molto grande
- Corrente di bias molto piccola

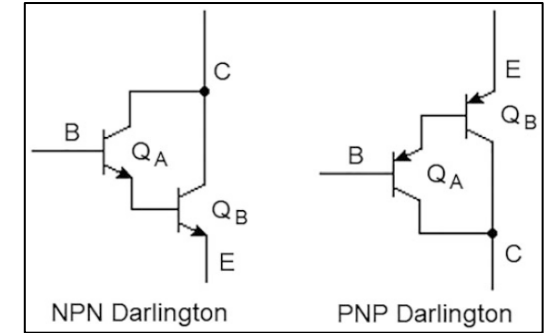
(Entrambe condizioni ricercate)

Transistor BJT compositi

Obiettivi:

- Permettere la gestione di correnti o potenze maggiori
- Aumentare il guadagno (gain)

Transistor Darlington



- Tensione di soglia $v_{EB,threshold} \approx 1.4V$
- Fattore di guadagno della corrente $\beta_D = \beta_A \beta_B$

Difetti:

- Bassa velocità di commutazione
- Scarse prestazioni per segnali in input ad alta frequenza (migliori per i Darlington)
- Sensibilità alla temperatura (effetto più contenuto per i Sziklai)

AMPLIFICATORE DI POTENZA COMPLETO E STABILITÀ

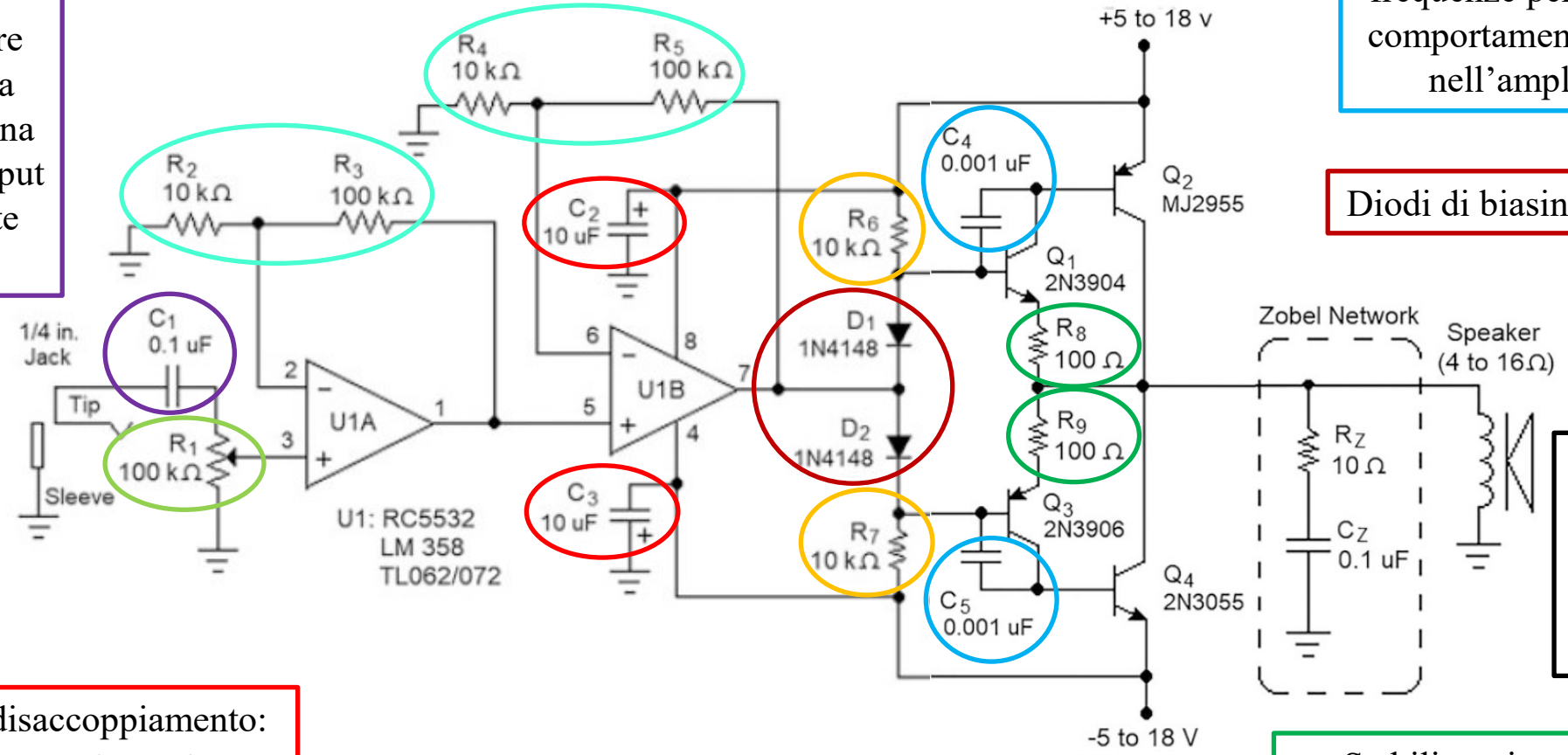
www.dii.unipd.it

Prevenzione di una risposta dell'amplificatore ad un'inavvertita applicazione di una tensione DC in input (non strettamente necessario)

Incremento del fattore di gain complessivo → riducendo il valore dei resistori R_2 e R_4 o aumentando quello di R_3 e R_5

Riduzione del gain delle alte frequenze per contenere il comportamento oscillatorio nell'amplificazione

Potenziometro del gain



Diodi di biasing

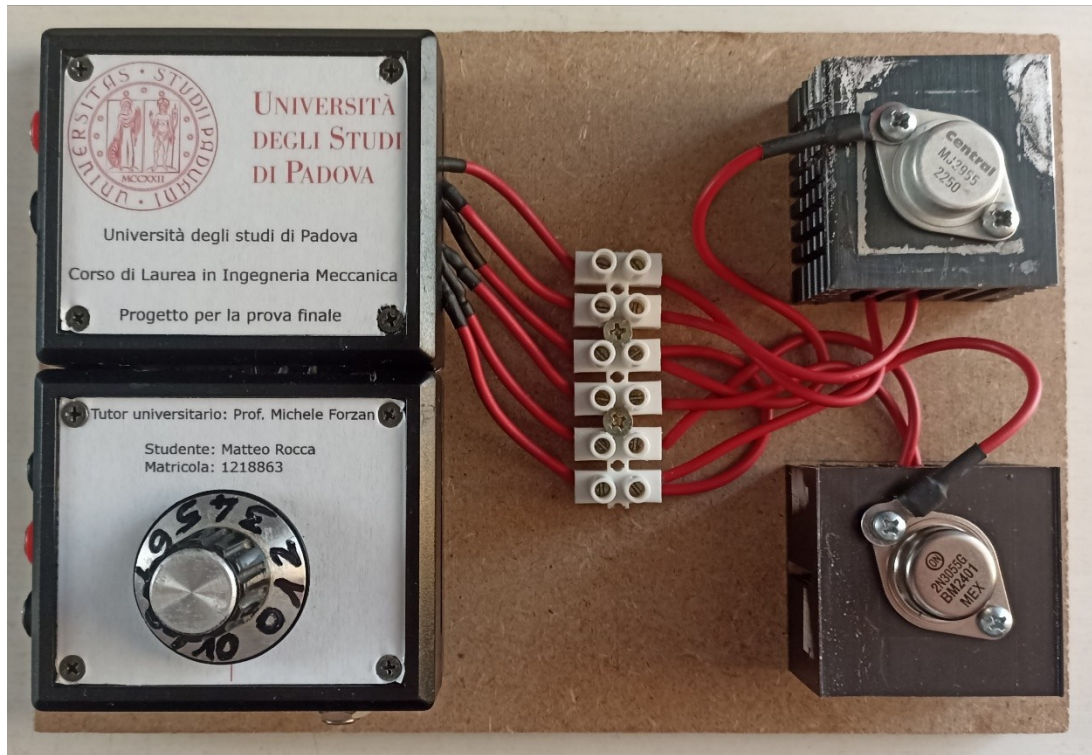
Evita che l'impedenza del carico (altoparlante) aumenti eccessivamente per le alte frequenze

Condensatori di disaccoppiamento: minimizzano un comportamento non ottimale dell'alimentazione (NOTA: posti vicino agli stadi di gain)

Mantenimento di una bassa corrente a vuoto qualsiasi sia la scelta di diodi che si opera

- Stabilizzazione termica del circuito
- Abbinamento delle tensioni di soglia tra diodi e transistor

Amplificatore di potenza Sziklai di classe AB



Test audio →



	Supply voltage		
	± 5 V	± 12 V	± 18 V
$P_{o(mms)}$	1.5 W _{rms}	9 W _{rms}	20.25 W _{rms}
P_{DQ2}, P_{DQ4}	750 mW _{rms}	4.5 W _{rms}	10.125 W _{rms}
$I_{L(max)}$	525 mA	1.5 A	2.25 A

Ipotesi:

- Carico (altoparlante) di impedenza 8Ω
- I transistor di potenza sono montati su dissipatori di calore
- La massima efficienza che l'amplificatore può raggiungere è $\eta_{max} = 50\%$
- Il range della tensione in output dell'Op-Amp può cambiare per poter ottenere la massima ampiezza del segnale → ampio intervallo di dinamica