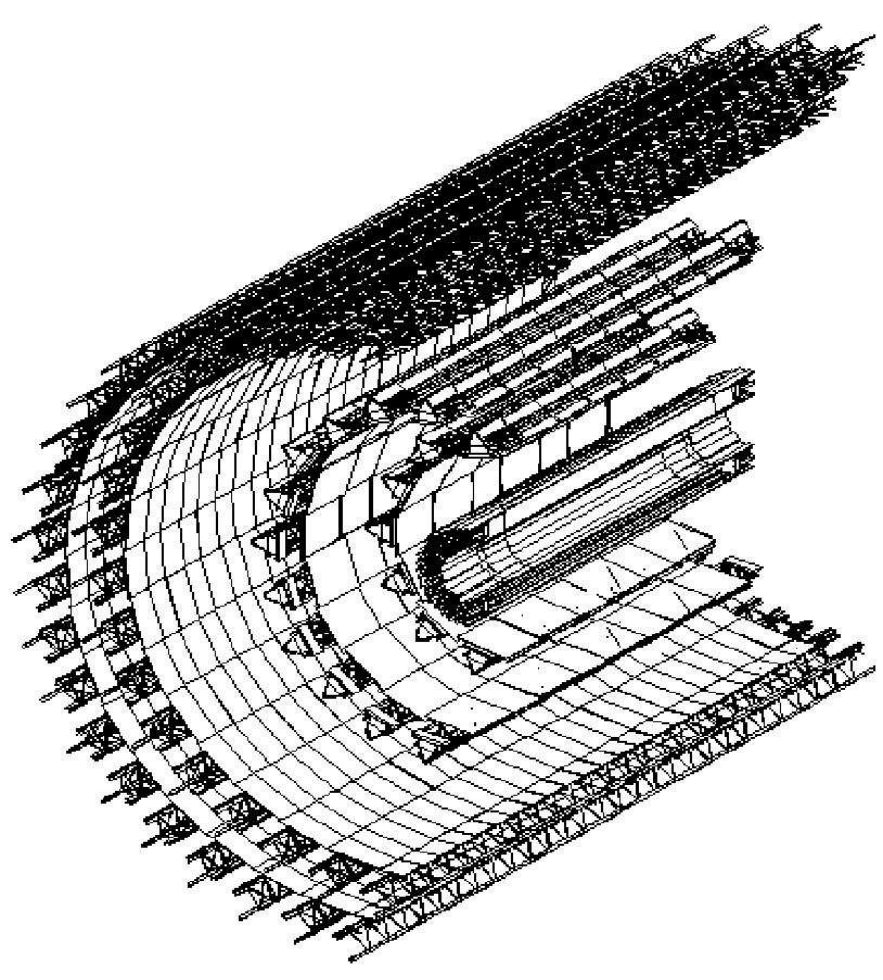
Elettronica per rivelatori al silicio

Angelo Rivetti – INFN - Torino

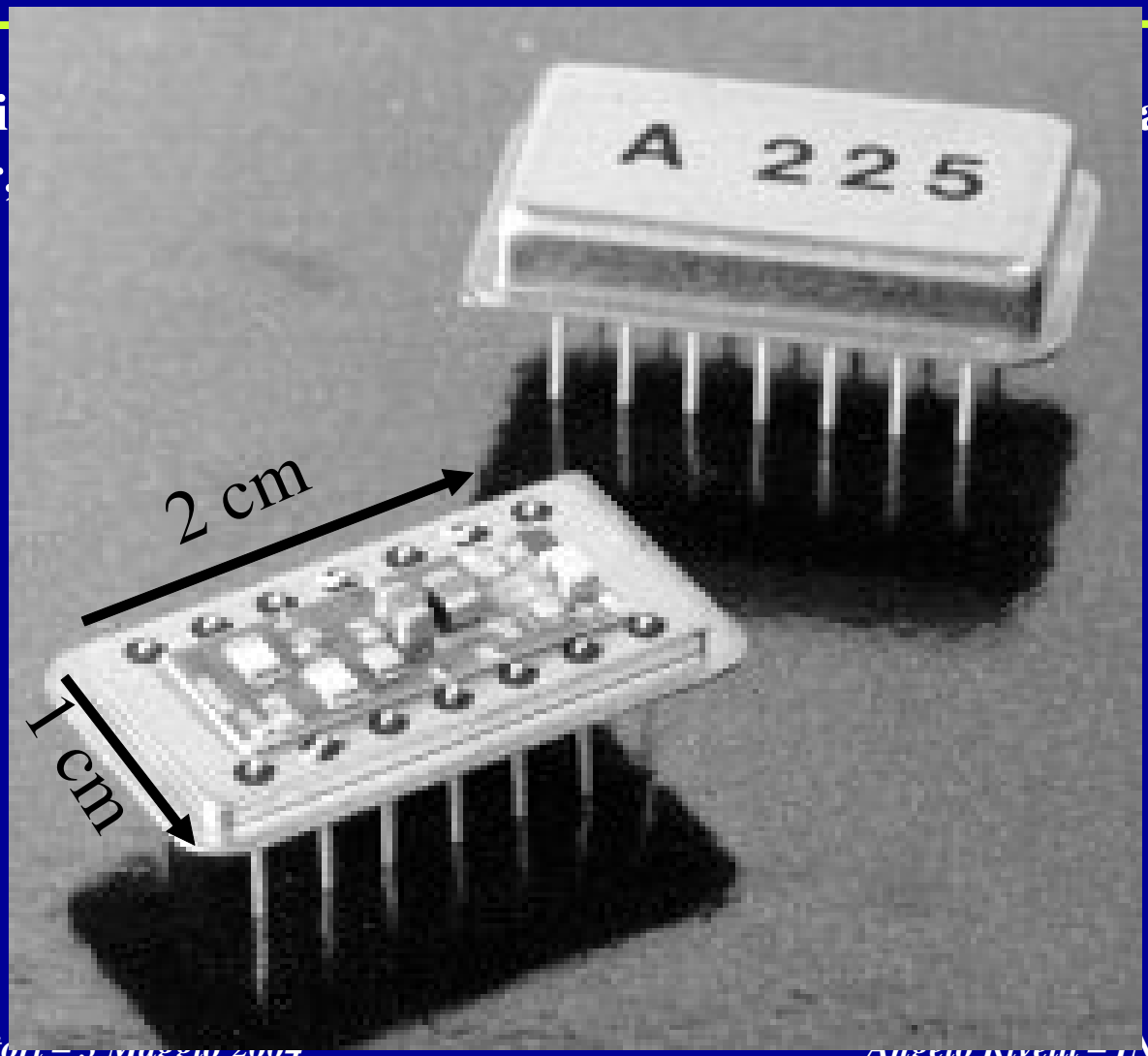
Un esempio di sistema



- In un tipico sistema si devono leggere centinaia di rivelatori disposti su più piani.
- Si possono dover leggere milioni di canali indipendenti
- Il materiale sulla traiettoria delle particelle deve essere minimizzato.
- L'elettronica di front-end deve essere collocata il più vicino possibile al sensore
- L'elettronica di front-end deve dissipare il meno possibile
- Unica soluzione possibile: utilizzare circuiti integrati a larghissima scala d'integrazione (VLSI).
- Uno dei problemi principali è di mettere l'informazione sotto una forma comprensibile ad un calcolatore elettronico.

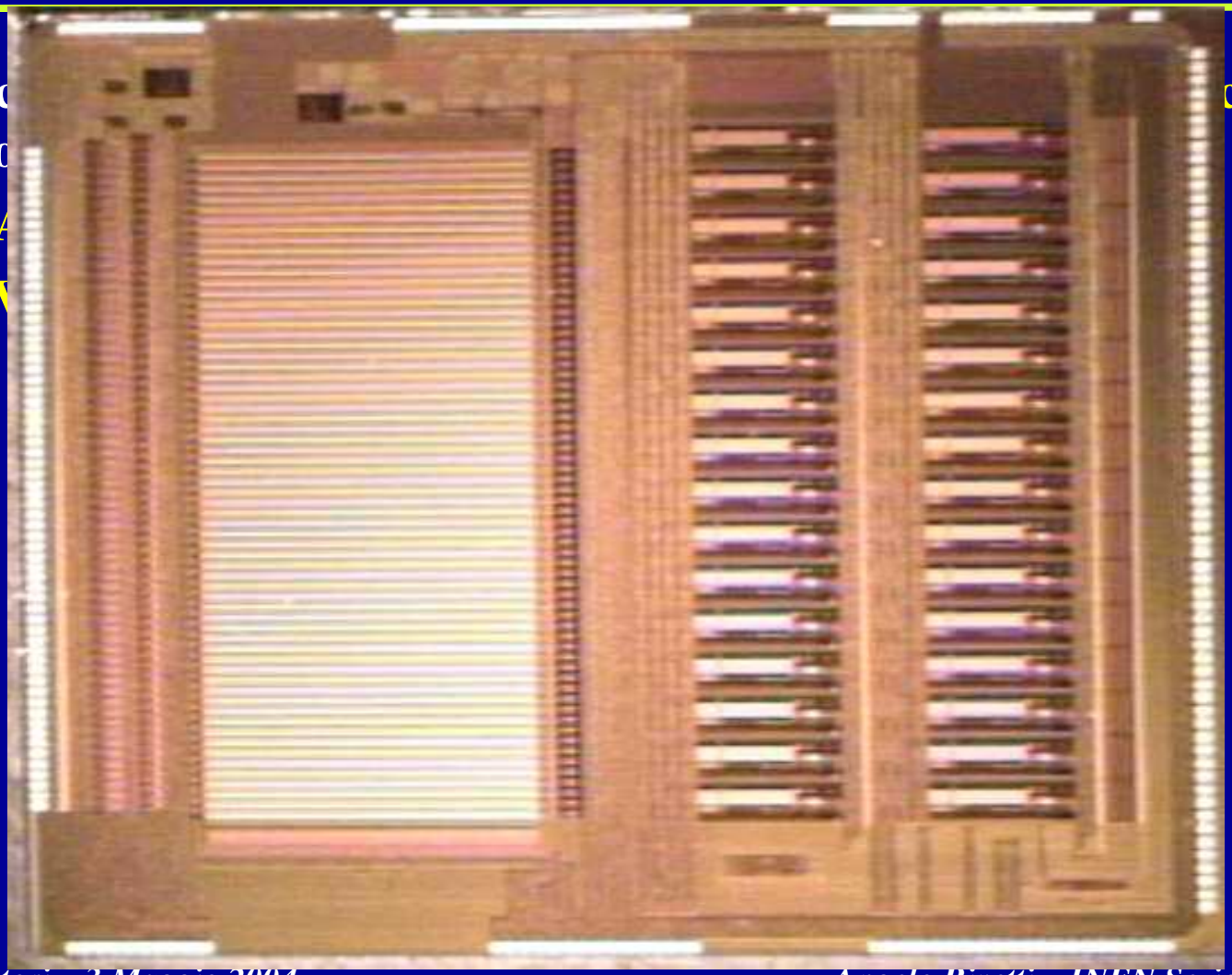
Circuiti discreti

- In un ci ano il circuito (transistor,



Circuiti integrati

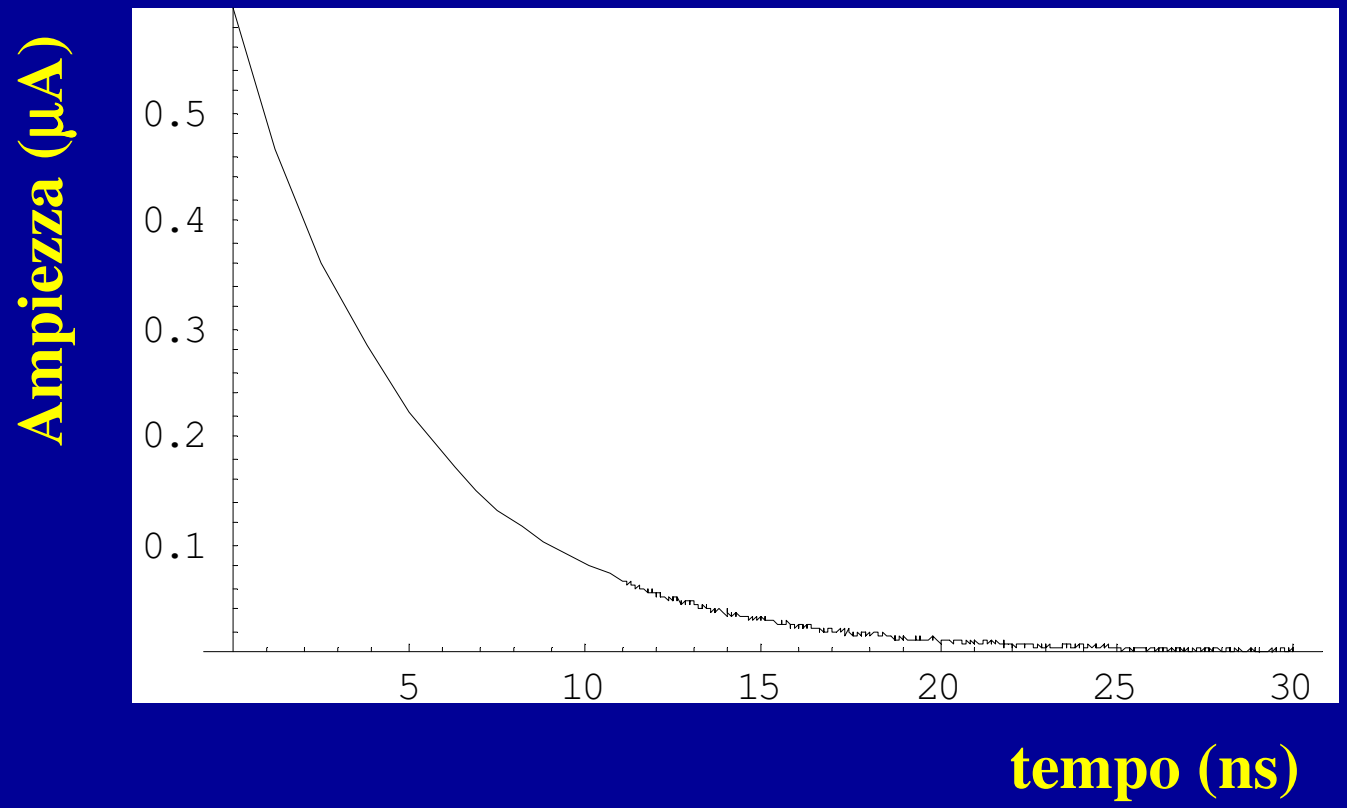
- In un c connessi all'interno
- ASIC=A
- VLSI=V



1 cm

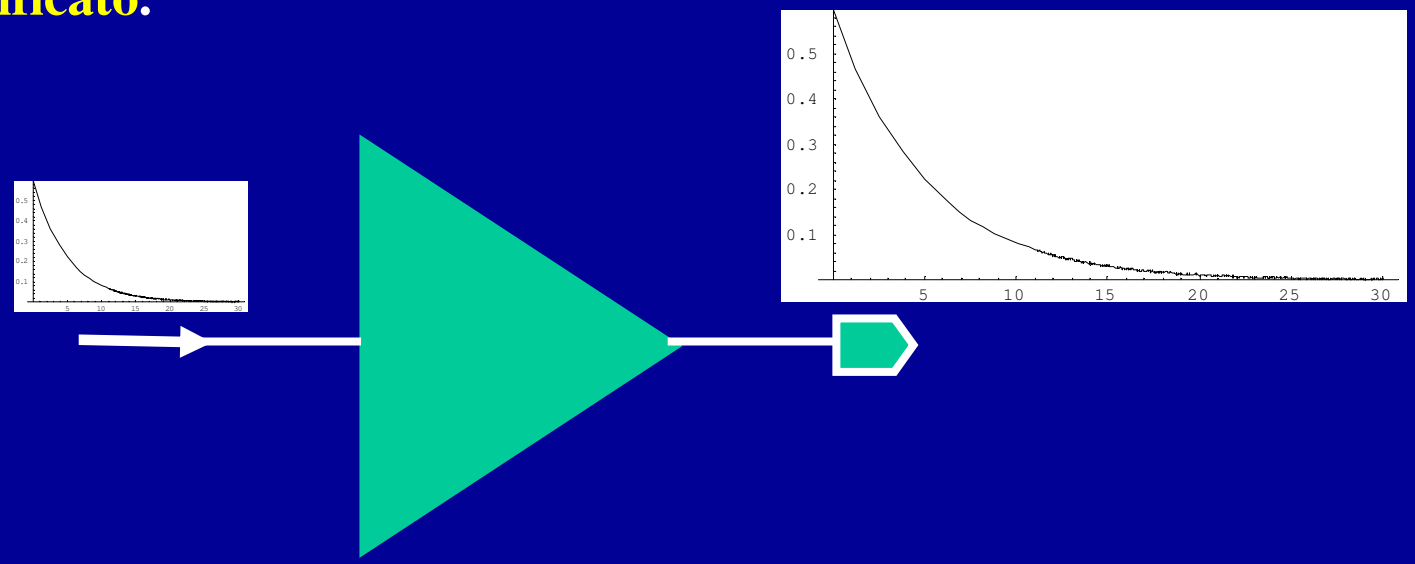
Punto di partenza: il segnale

➢ Il **segnale** fornito da un rivelatore al silicio è un **impulso di corrente** piccolo (**ampiezza qualche μA**) e veloce (**durata: decine di nanosecondi**).



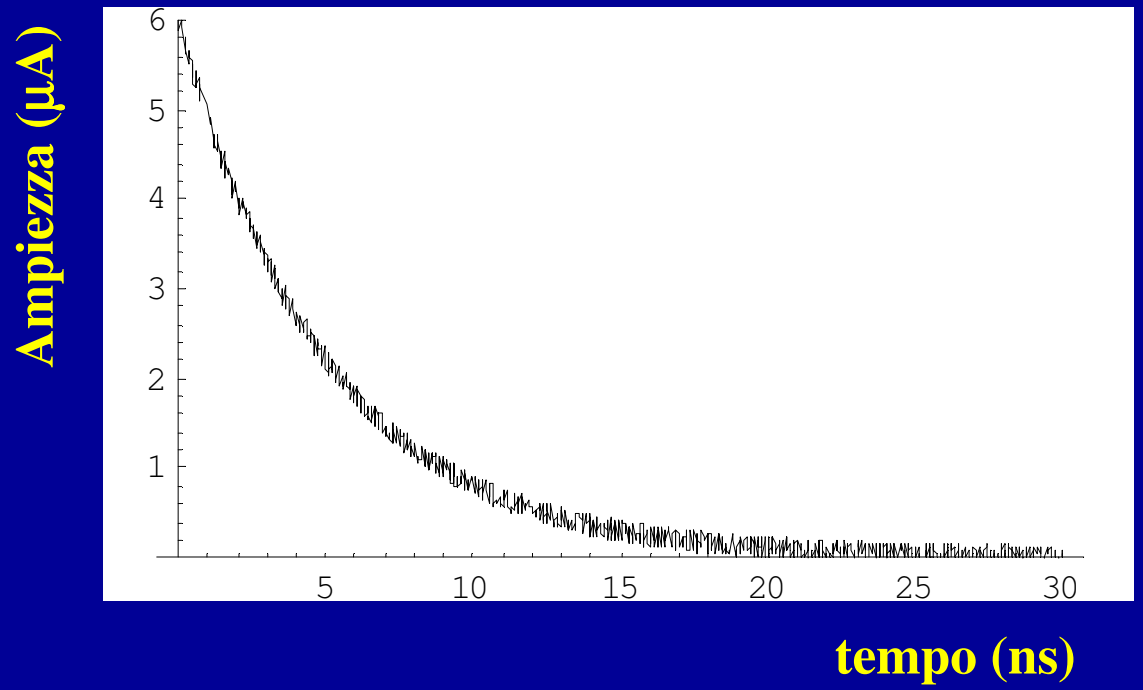
Primo passo: amplificazione

- Il segnale è **troppo debole** per essere trasmesso a lunga distanza e deve **essere amplificato.**



- Il segnale di ingresso **è una corrente**. Il segnale di uscita può essere una **tensione o una corrente.**

Rumore (1)

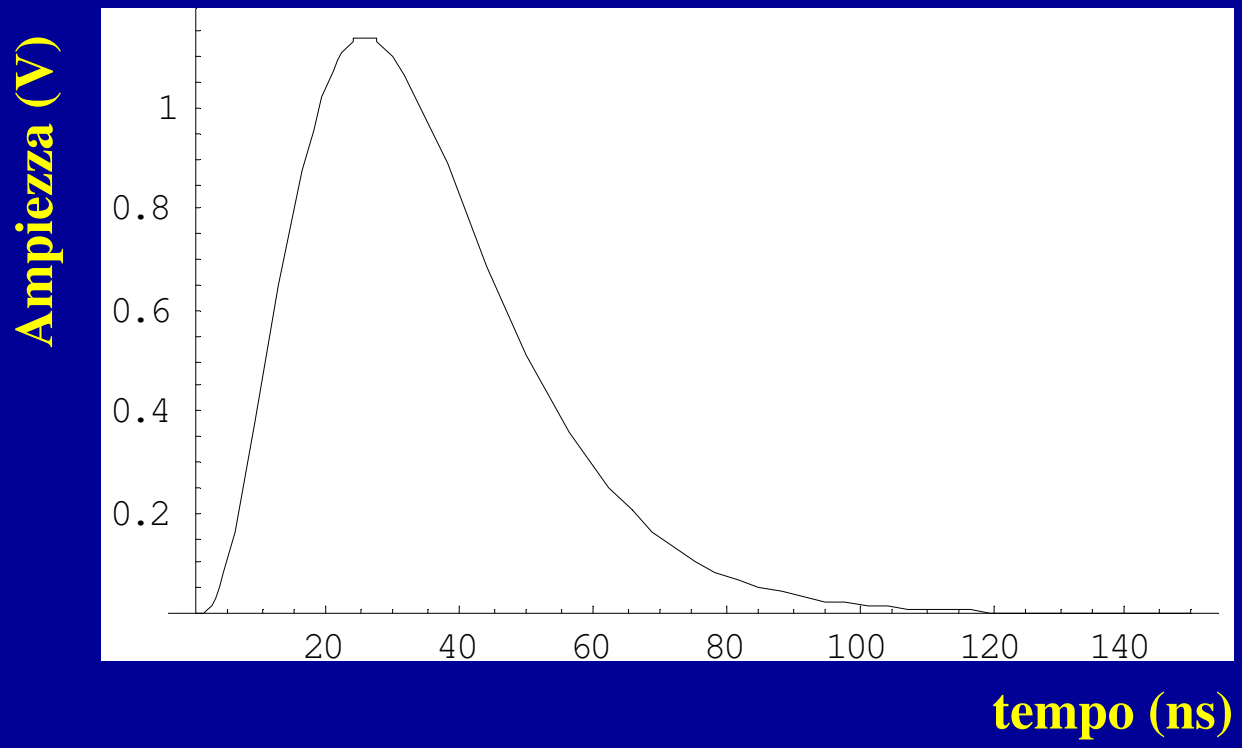


- In questo esempio supponiamo che l'amplificatore abbia amplificato il segnale di un fattore 10, preservandone la forma
- Notiamo che il segnale appare rumoroso

Rumore (2)

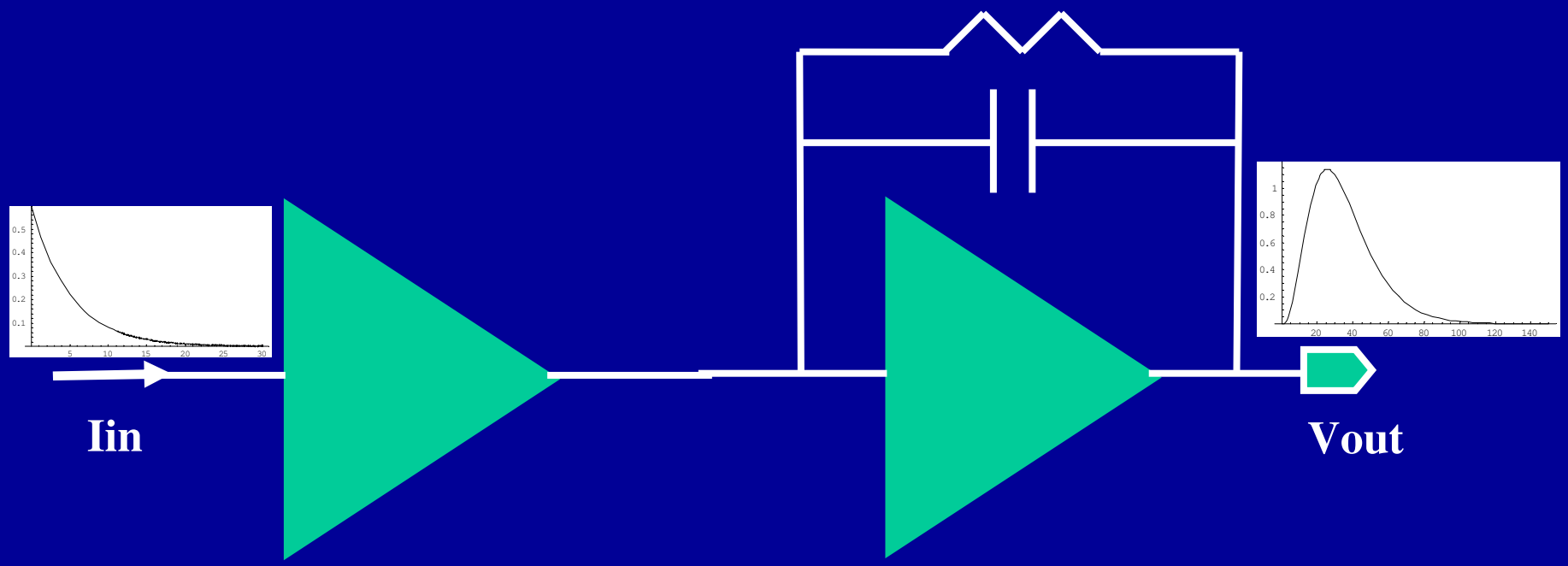
- Il rumore dovuto a interferenze esterne può essere schermato
- Tuttavia una parte importante del rumore è dovuta ai dispositivi elettronici che formano l'amplificatore stesso
- Il rumore è una delle forme in cui si manifesta la quantizzazione della carica elettrica
- Il rumore elettronico non può essere eliminato. Si può solo cercare di minimzzarne gli effetti.
- Tipicamente, si mette un filtro (shaper) in cascata all'amplificatore
- Filtro=elaborazione selettiva del segnale in funzione della frequenza.

Secondo passo: filtro (shaping)



- La **forma** del segnale è **cambiata**
- È stata anche fatta una conversione **corrente-tensione**

Secondo passo: filtro (shaping)

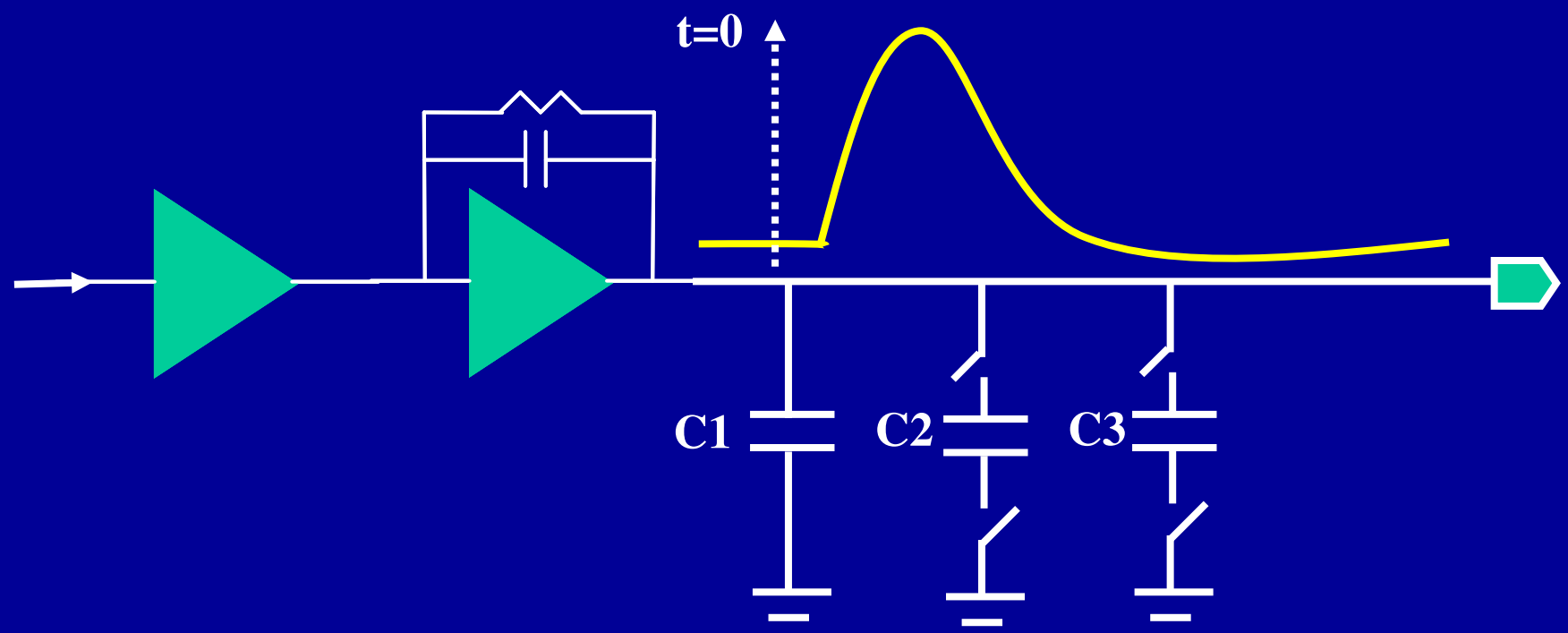


- In generale un amplificatore di **front-end** si compone di almeno **due stadi** in cascata

Terzo passo: campionamento

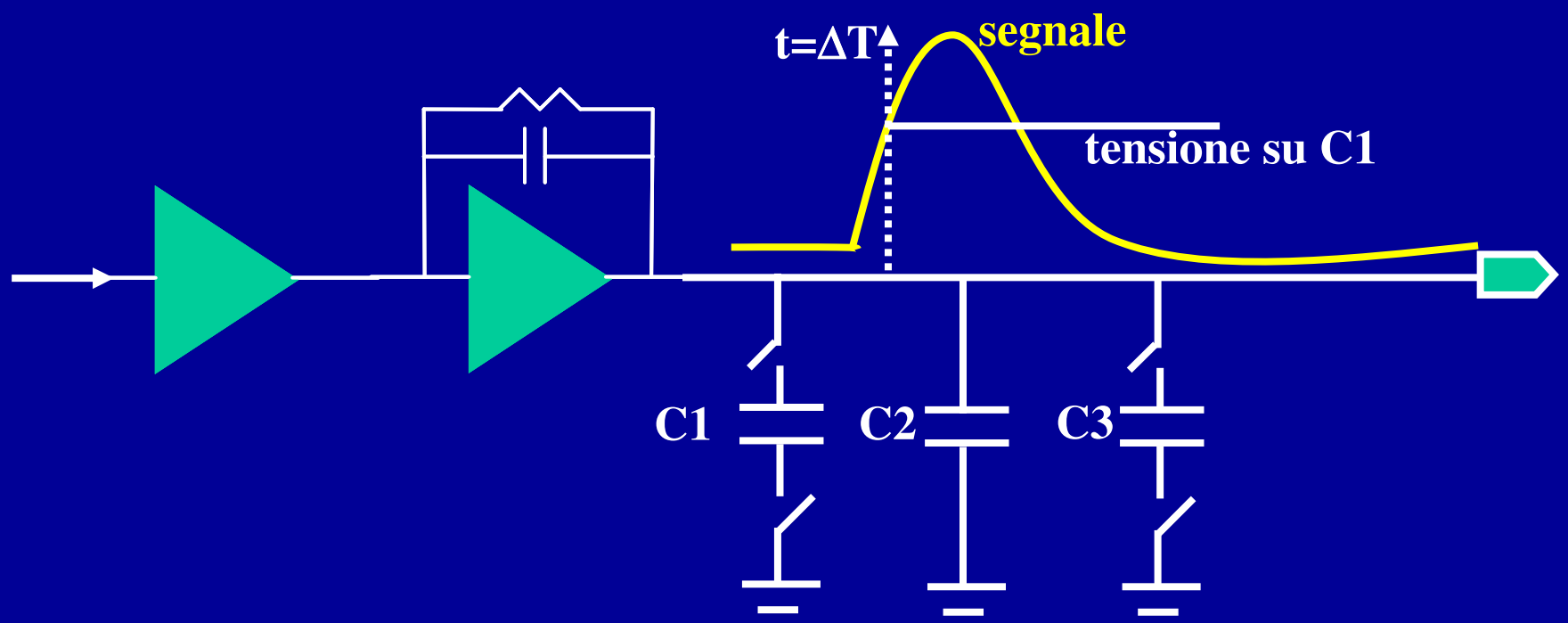
- Finora abbiamo lavorato con segnali rappresentati da funzioni continue, ossia da un numero infinito di punti.
- Una rappresentazione di questo tipo non è compatibile con il modo di lavorare di un calcolatore
- Bisogna "campionare il segnale" ossia selezionarne un numero finito di punti rappresentativi, a partire dai quali si possa ricostruire tutta l'informazione originaria.

Circuito campionatore



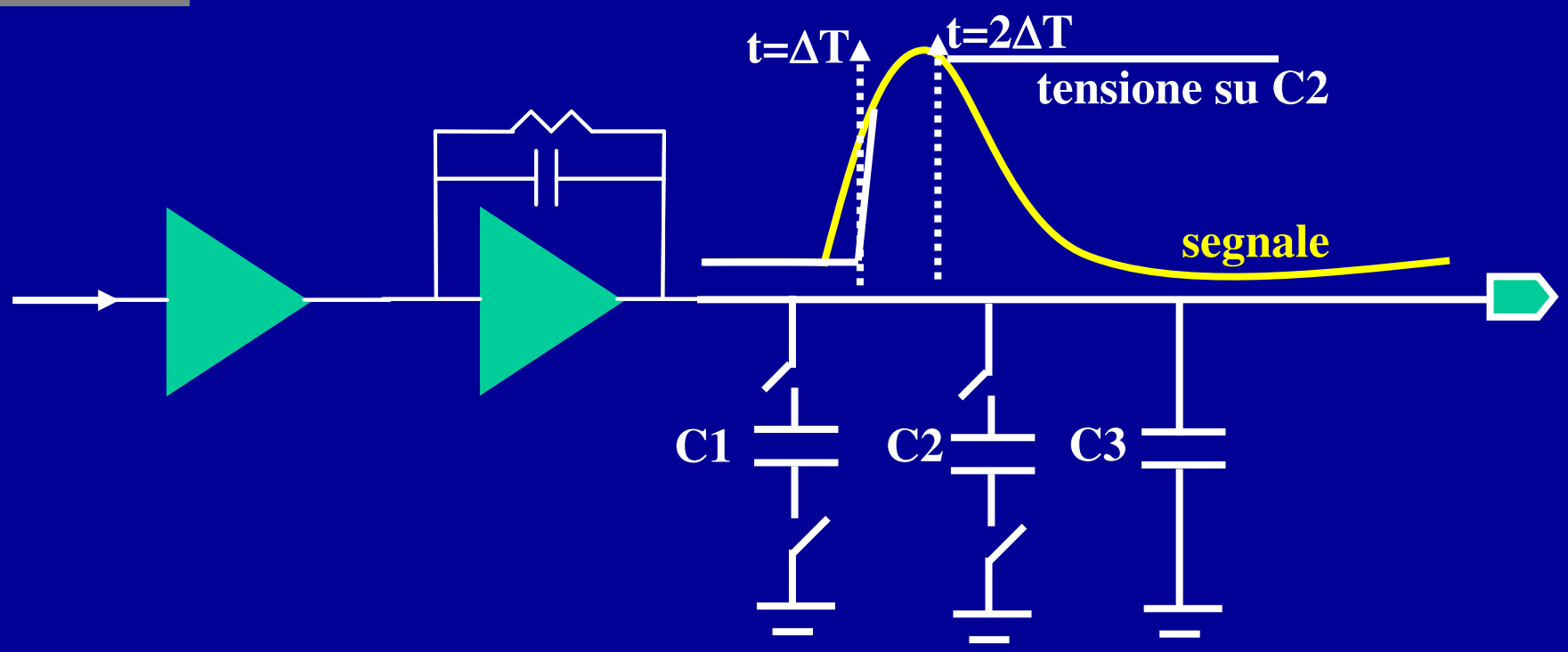
Situazione a t=0

Circuito campionatore



Situazione a t=ΔT

Circuito campionatore



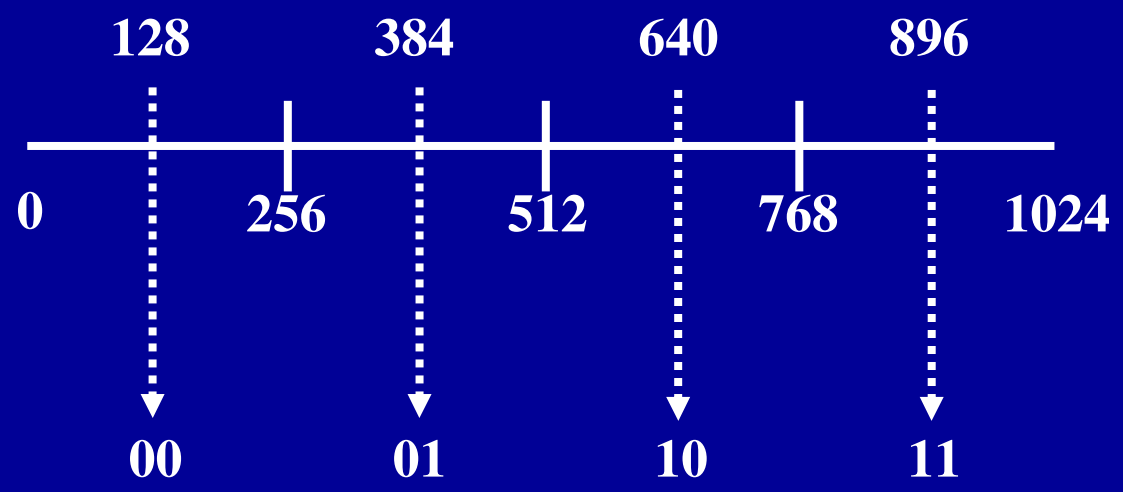
Situazione a t=2ΔT

1/ΔT=periodo del campionamento

Quantizzazione (1)

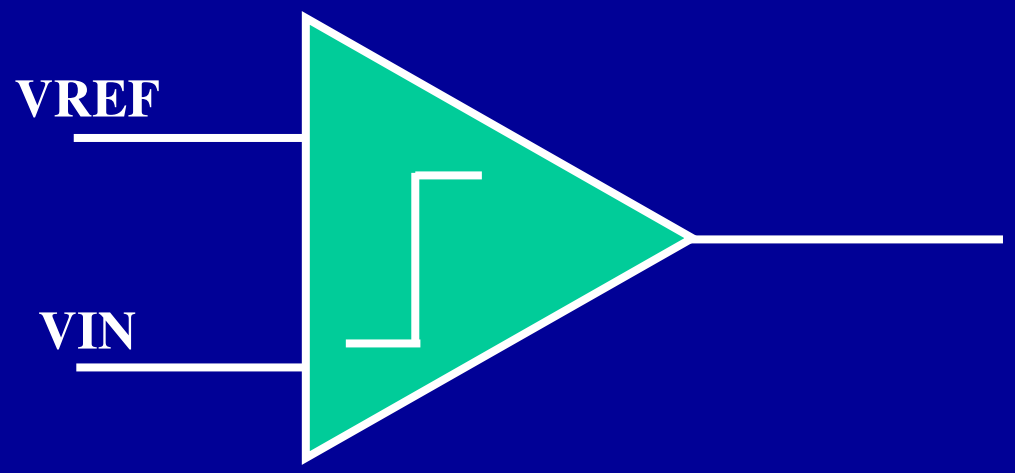
- Con il campionamento abbiamo **quantizzato il segnale** in uno dei due domini (**il tempo**)
- Dobbiamo ora **quantizzarlo** anche in **ampiezza**
- In logica binaria è immediata la rappresentazione di **due stati elementari.**
- Stati **più complessi** si possono rappresentare con **sequenze più lunghe** di bit

Esempio



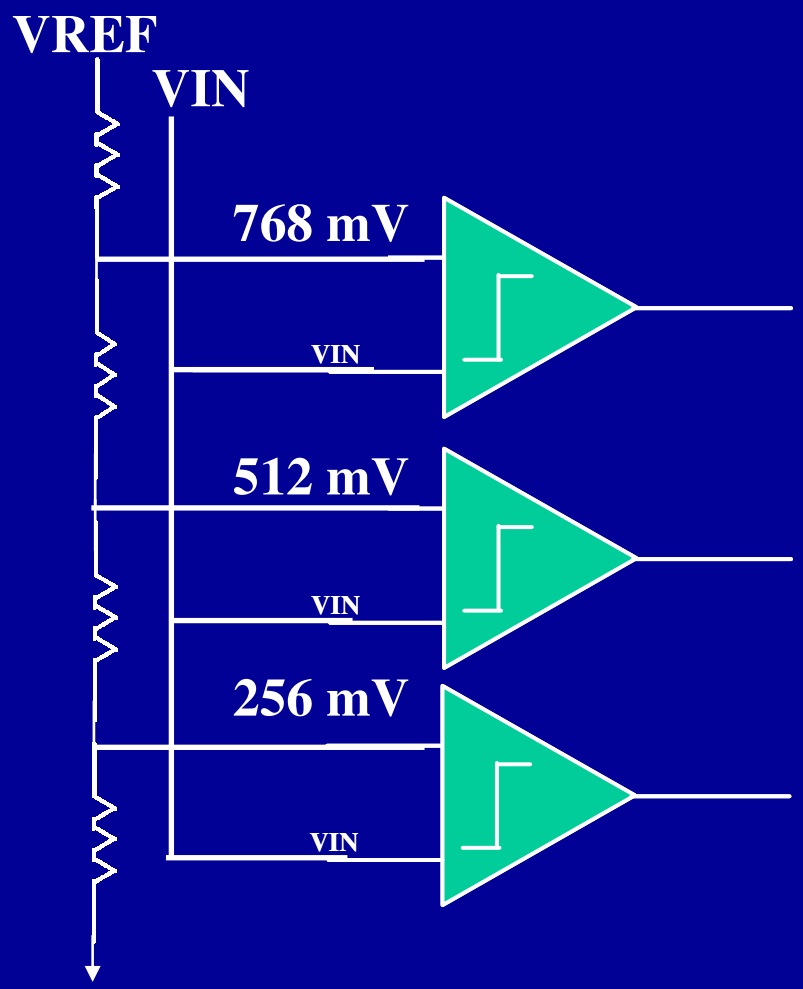
- La quantizzazione comporta una **perdita di informazione** che si **riduce** aumentando la **lunghezza della sequenza**

Comparatore

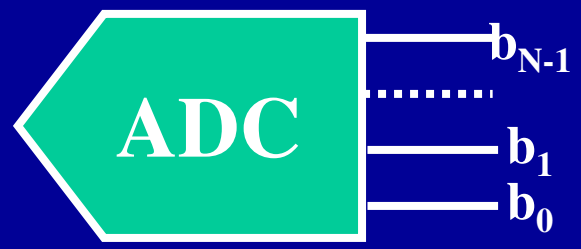


- Se **VIN è minore di VREF**, l'uscita è tale da poter essere interpretata come **uno zero logico**
- Se **VIN è maggiore di VREF**, l'uscita è tale da poter essere interpretata come un **uno logico**
- ADC elementare **a 1 bit**

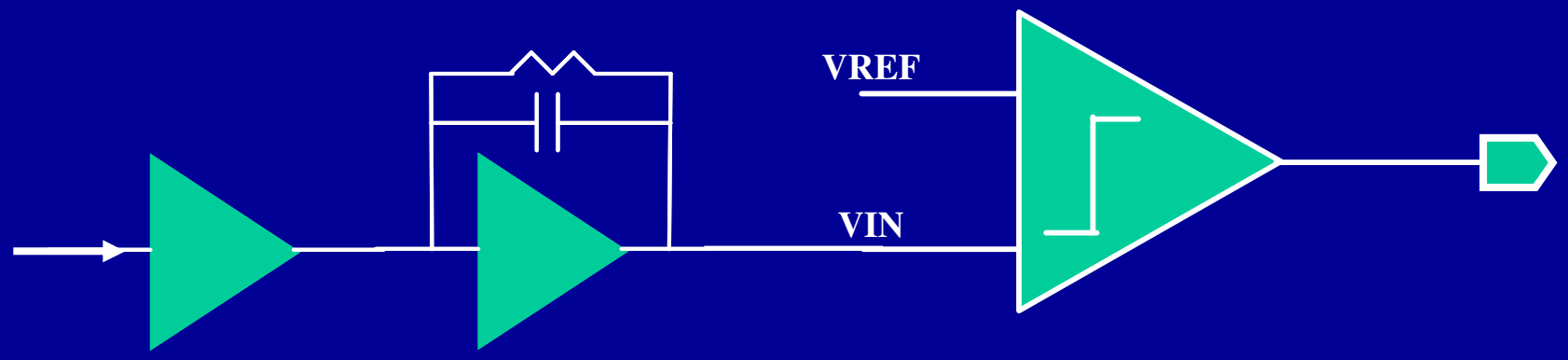
Esempio di ADC a due bit



Nota importante: questa è solo **una delle moltissime architetture** possibili !!



Read-Out binario



+

- Semplice
- Veloce
- Minizza la quantità di dati

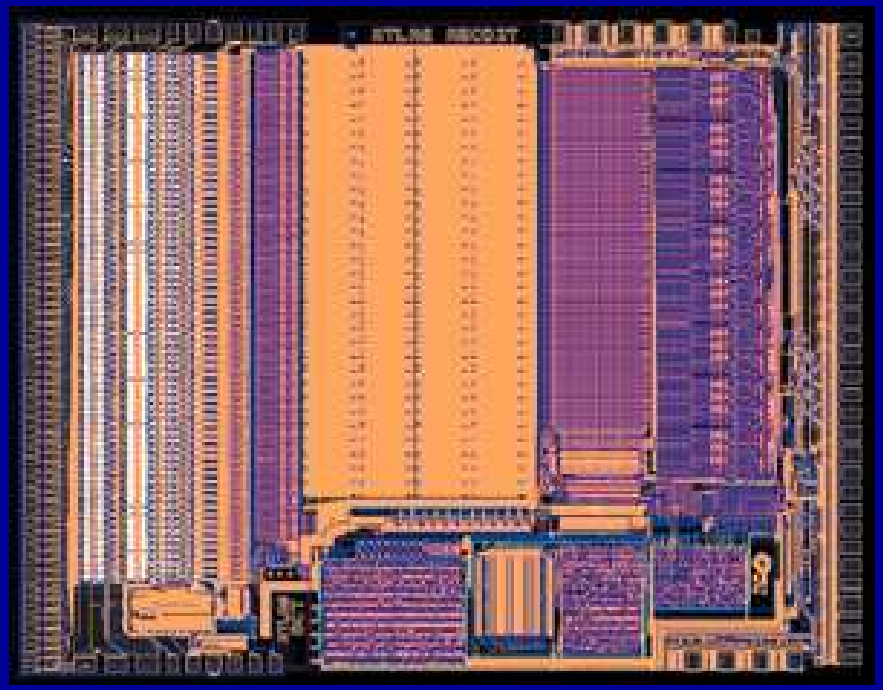
-

- Nessuna informazione sull'ampiezza
- Più difficile identificare i guasti

- Standard per il read-out dei rivelatori a pixel
- Molto usato anche per i rivelatori a strip

Esempio di read-out binario

Il ABCD chip per le microstrip di ATLAS



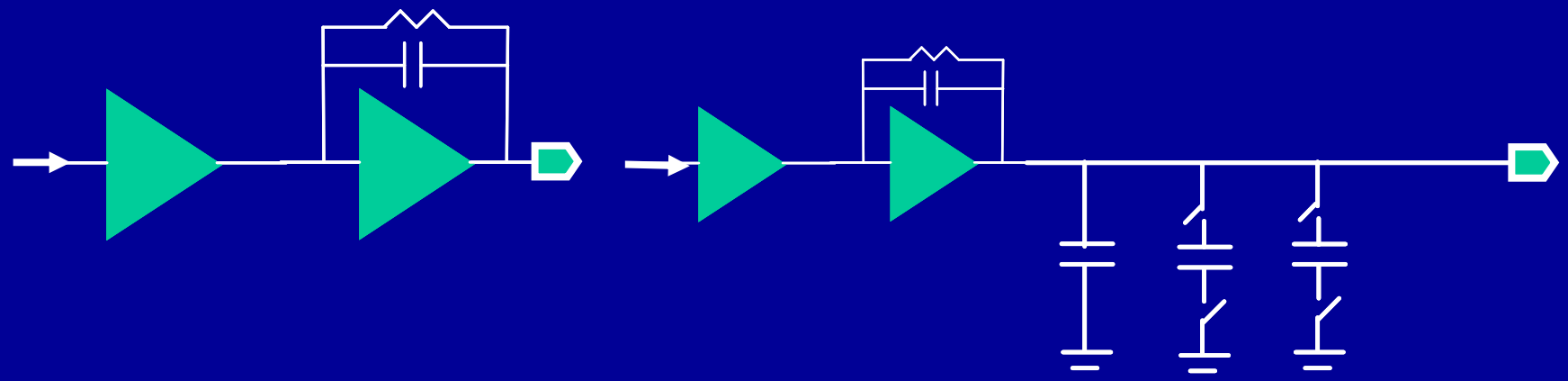
128 canali
Preamp & discriminatore
Digital pipeline
46.8 mm^2
2mW/ch
BiCMOS 0.8μm rad-hard

W. Dabrowski et al.
Design an performance of the ABCD chip for the binary readout of silicon strip detectors in the ATLAS semiconductor tracker
IEEE TNS, vol. 47, no. 6, Dec. 2000

Read-out analogico

Si legge direttamente l'uscita del front-end

Si leggono i dati campionati ma non ancora digitalizzati



+

- Nessuna perdita di informazione
- Si misura l'ampiezza del segnale
- Più facile trovare errori

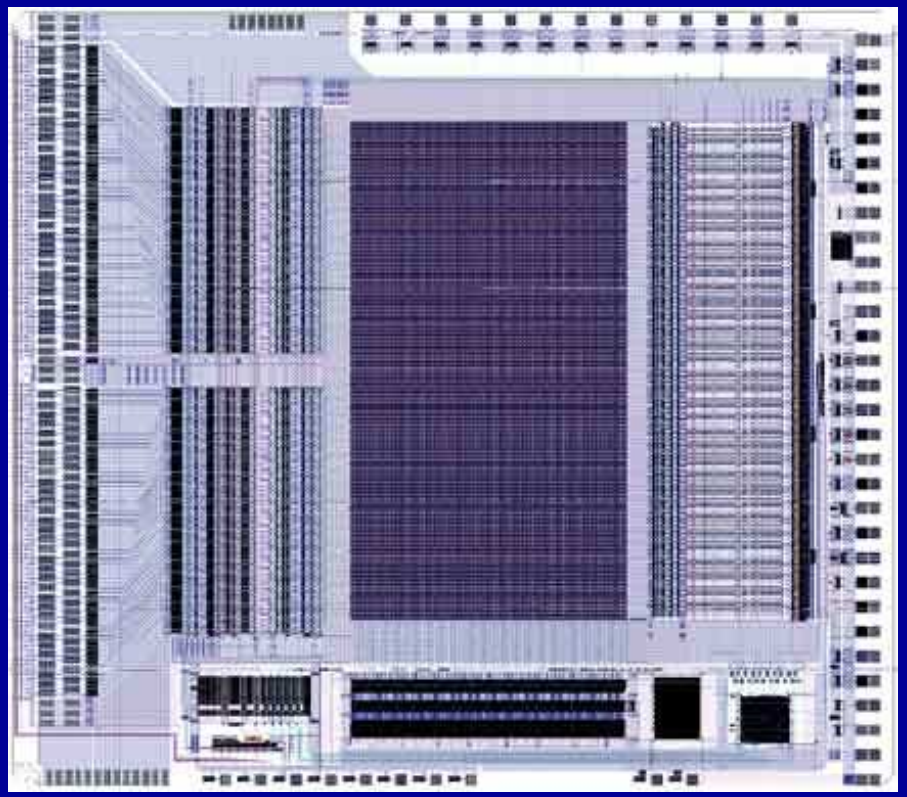
-

- Grossa mole di dati
- Trasmissione di dati analogici

- **Molto usato per i rivelatori a microstrip**

Esempio di read-out analogico

Il chip APV per il tracker di CMS

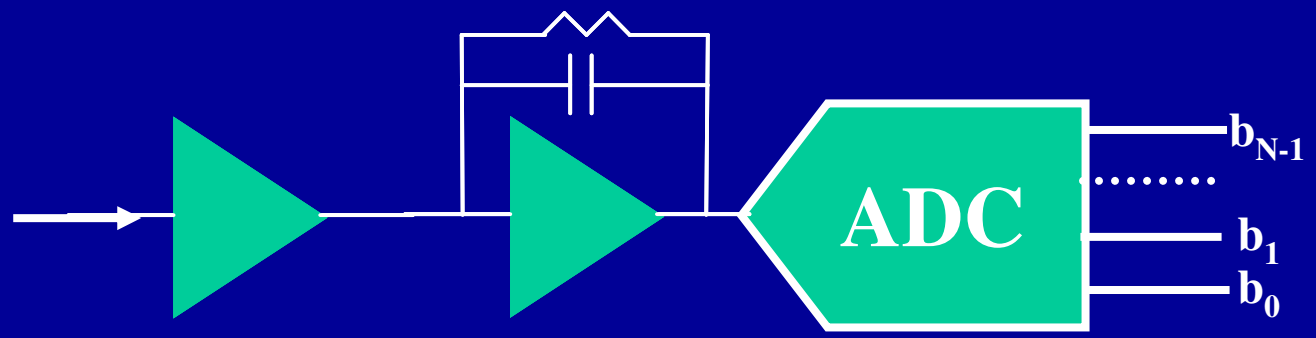


128 canali analogici
Preamp & circuito campionatore
Elaborazione analogica del segnale
CMOS 0.25μm
46.8 mm²
2mW/channel

L.L Jones et al.
The APV25 Deep Submicron ReadOut Chip
http://lebwshop.home.cern.ch/lebwshop/LEB99_Book/Tracker/Jones.pdf

Read-out misto analogico-digitale

I dati sono digitalizzati sul chip di front-end, preservando l'informazione sull'ampiezza e arrivando il prima possibile nel dominio digitale



+

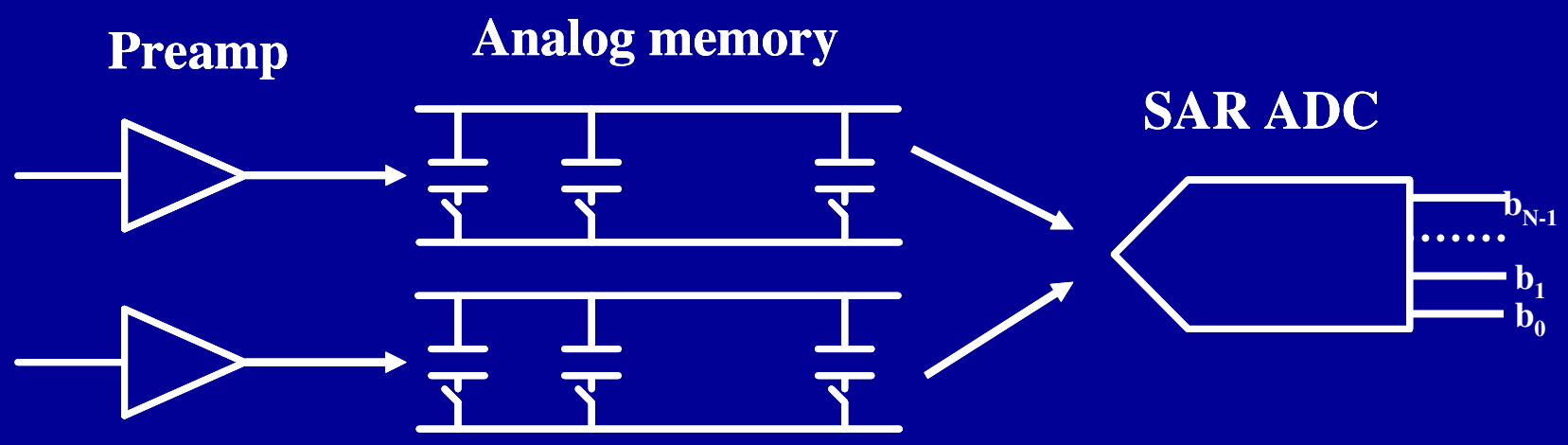
- Non si perde informazione
- Sistemi molto più robusti

-

- Grande mole di dati
- Chip misti più difficili da disegnare

- Unico chip completo per LHC (dal preamp all'ADC) disegnato a Torino!

Chip di front-end per le SDD

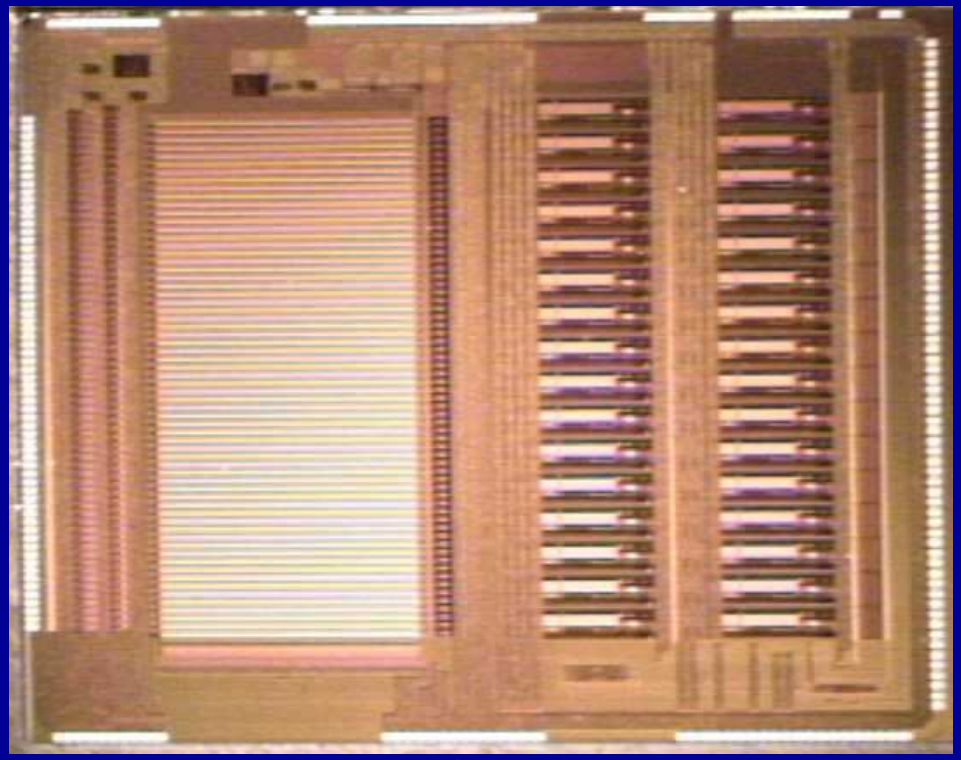


- Un ADC per canale avrebbe consumato troppo e convertito per la maggior parte del tempo dati inutili (rumore)
- I dati vengono immagazzinati in un circuito campionatore e convertiti solo quando il trigger segnala un evento interessante
- In questo modo si può usare un ADC più lento, che consuma molto meno

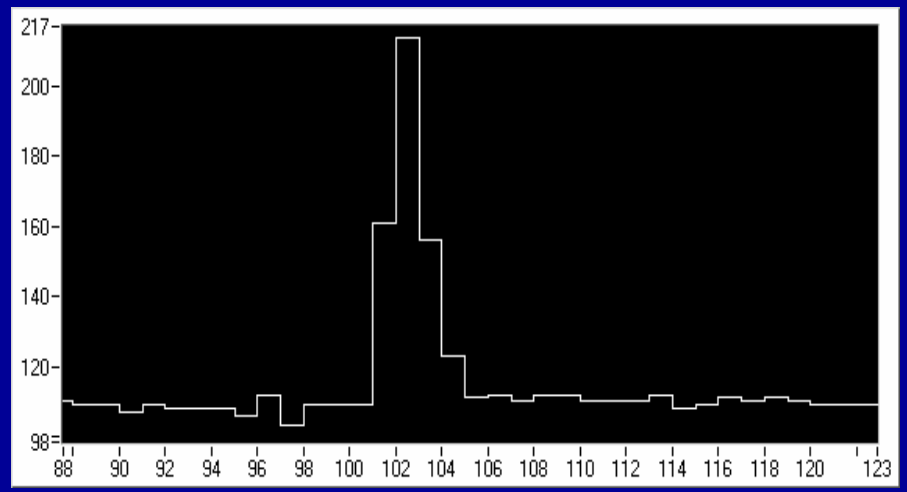
PASCAL

Front – end per le SDD di ALICE

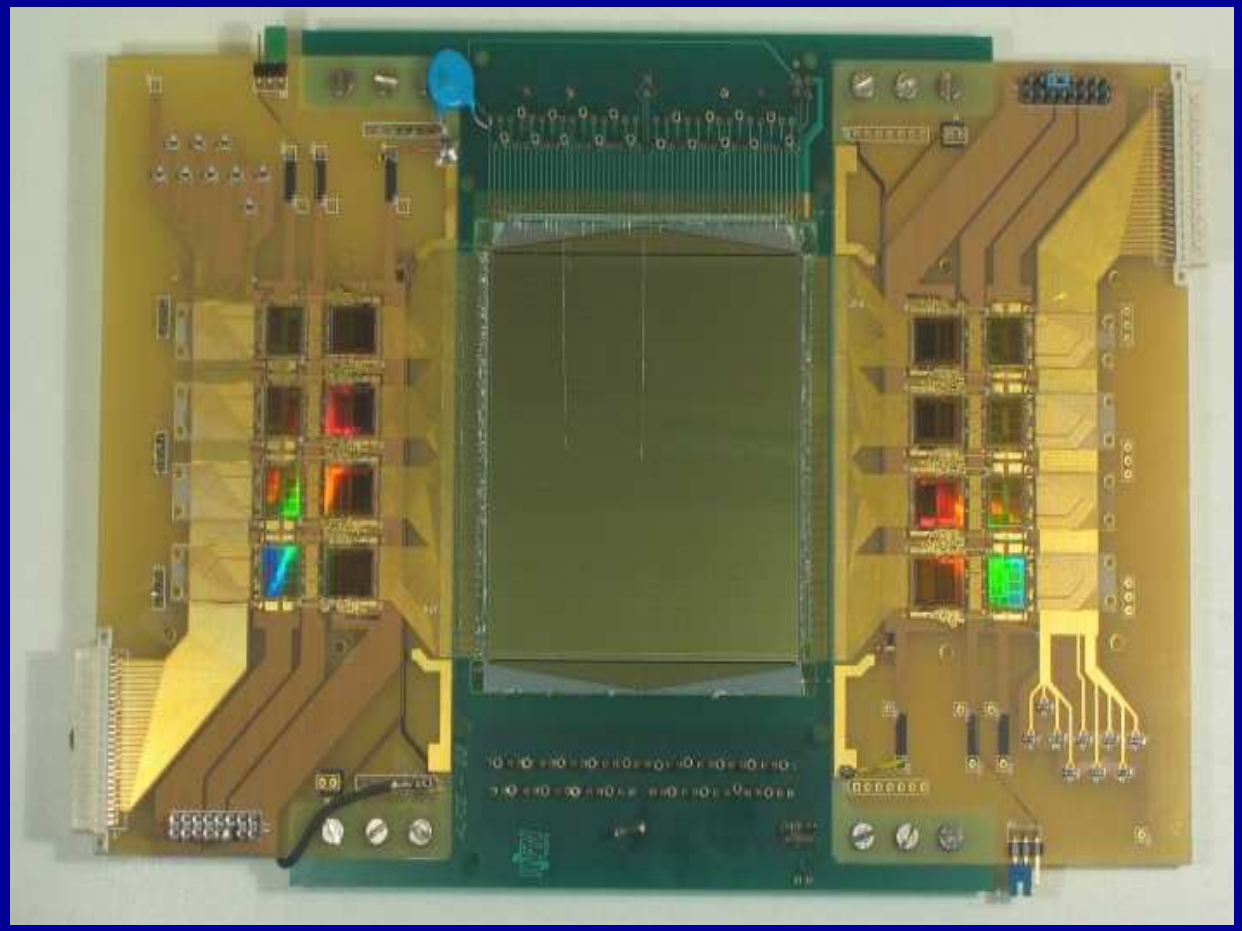
CMOS 0.25μm
64 canali
32 10 bits ADC
Potenza 5mW/ch
Dimensioni: 1cm x 0.9cm



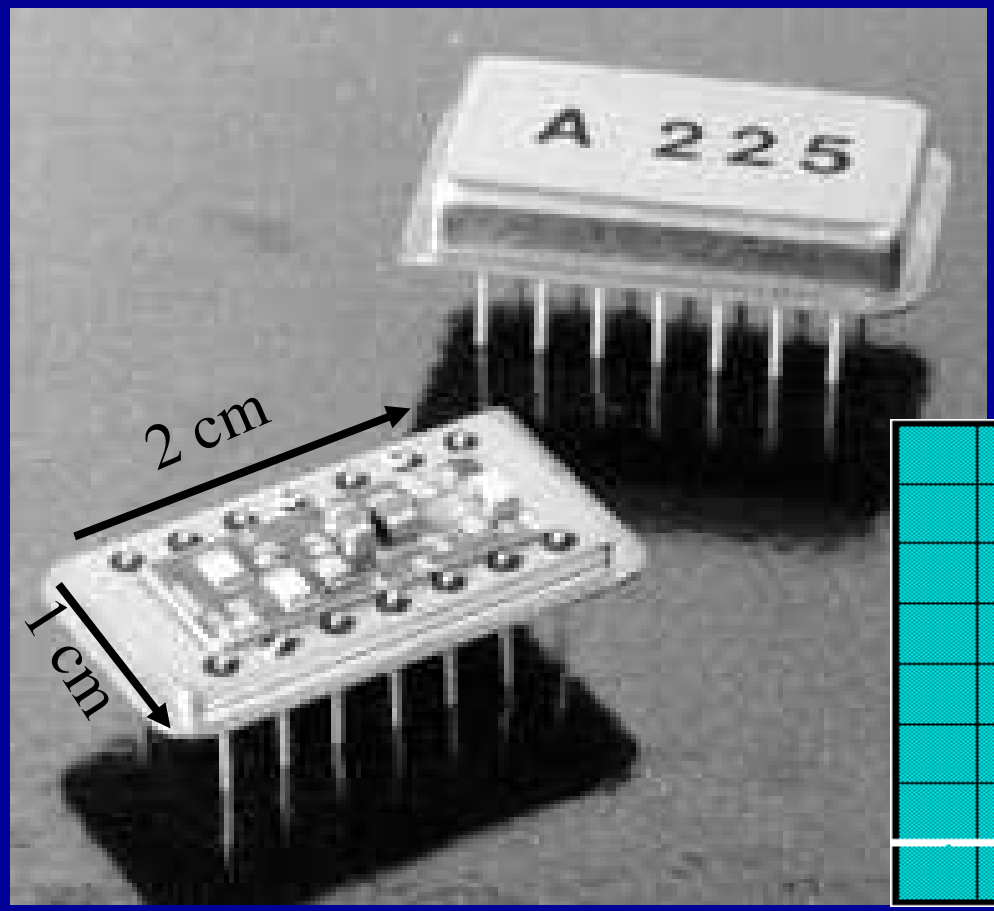
1 cm



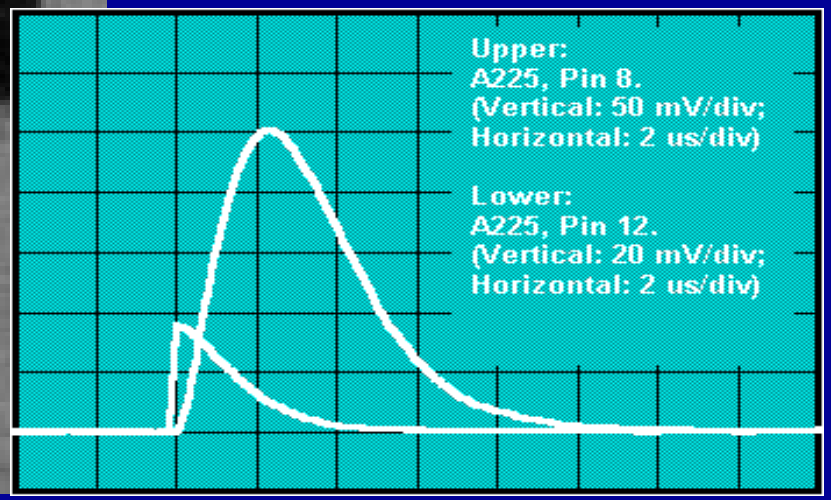
Sistema completo



Circuiti discreti...



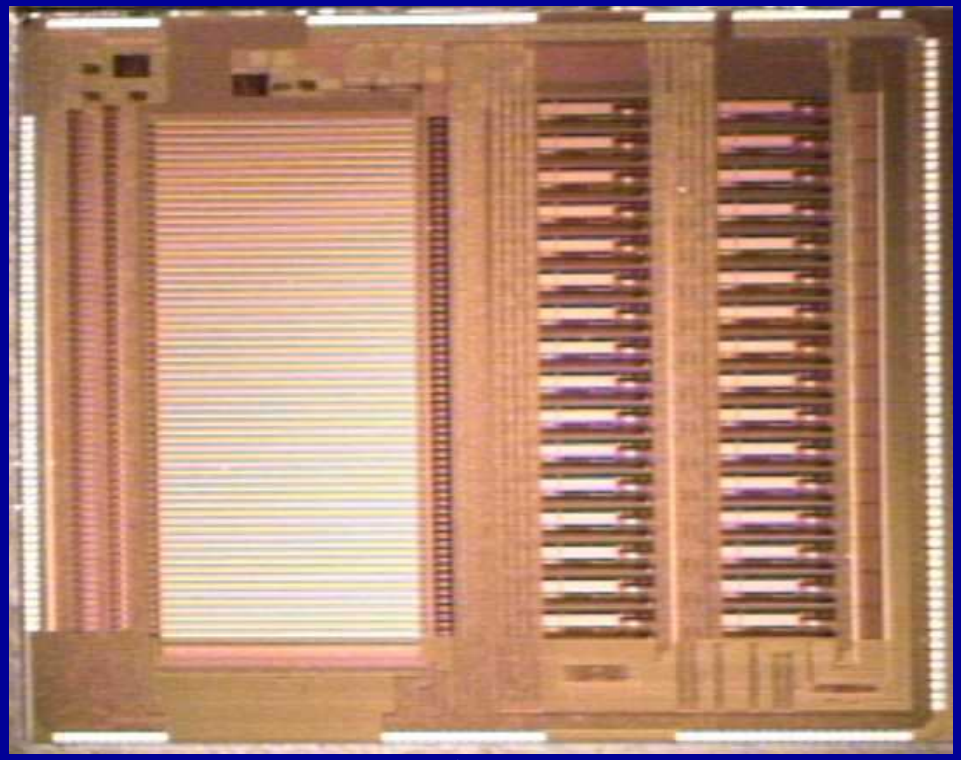
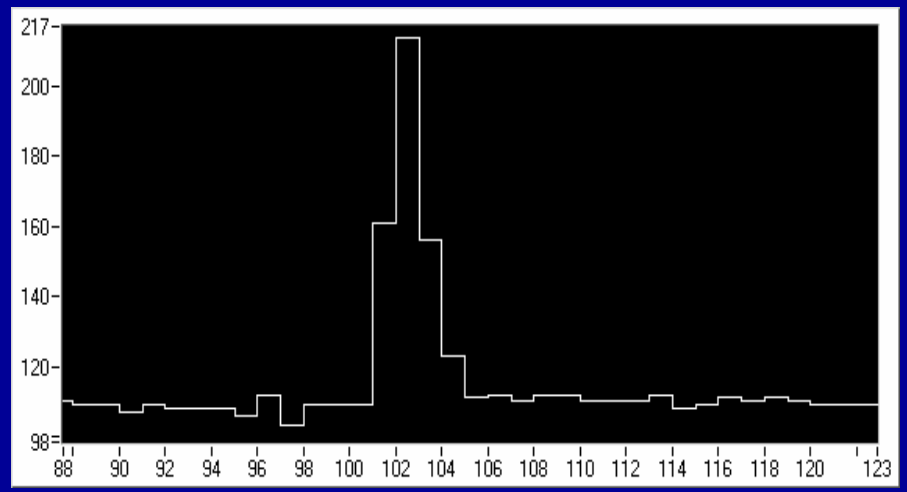
1 **amplificatore di front-end**
consumo: 10mW
Dimensioni: 2cm x 1cm



... e circuiti integrati

Front – end per le SDD di ALICE

CMOS 0.25μm
64 canali
32 10 bits ADC
Potenza 5mW/ch
Dimensioni: 1cm x 0.9cm



1 cm