



Sviluppo di test per l'analisi e la qualifica dei moduli a microstrip di silicio per il tracciatore dell'esperimento CMS

Candidato: **Lorenzo Scotti**

Relatore: dott. **Natale Demaria**

- Fisica ad LHC / CMS
- *LHC e CMS*
- *Tracker di CMS*
- *Moduli a microstrip di silicio*
- *Test di moduli*
- *Analisi dati*
- *Conclusioni*



Fisica ad LHC/CMS - il bosone di Higgs

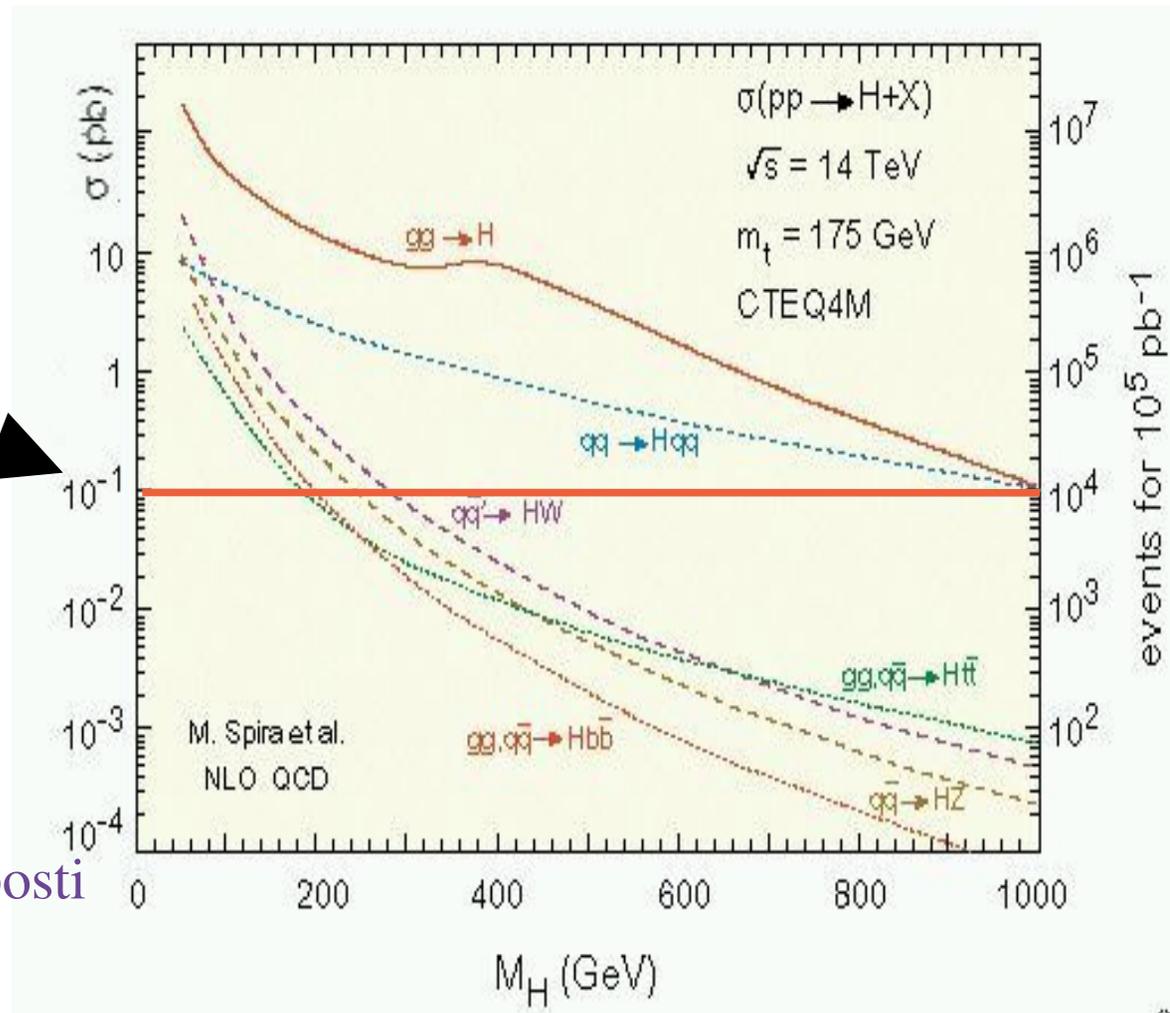
Rappresenta la componente del SM non ancora scoperta
"rottura spontanea di simmetria" => determina la massa di tutte le particelle

Modelli teorici ipotizzano $m_H < 1 \text{ TeV}$
Risultati sperimentali indicano $m_H > 100 \text{ GeV}$

$\sigma_{(gg \rightarrow H)} \sim 0.1 \text{ pb}$

=> LHC => $\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$
● Frequenza d'intesezione dei fasci = 40 MHz
● Pacchetti composti da 10^{11} protoni
=> $L = 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ per 10 anni

Ogni BX ci saranno 25 eventi sovrapposti
=> necessità di un sistema di trigger molto sofisticato veloce



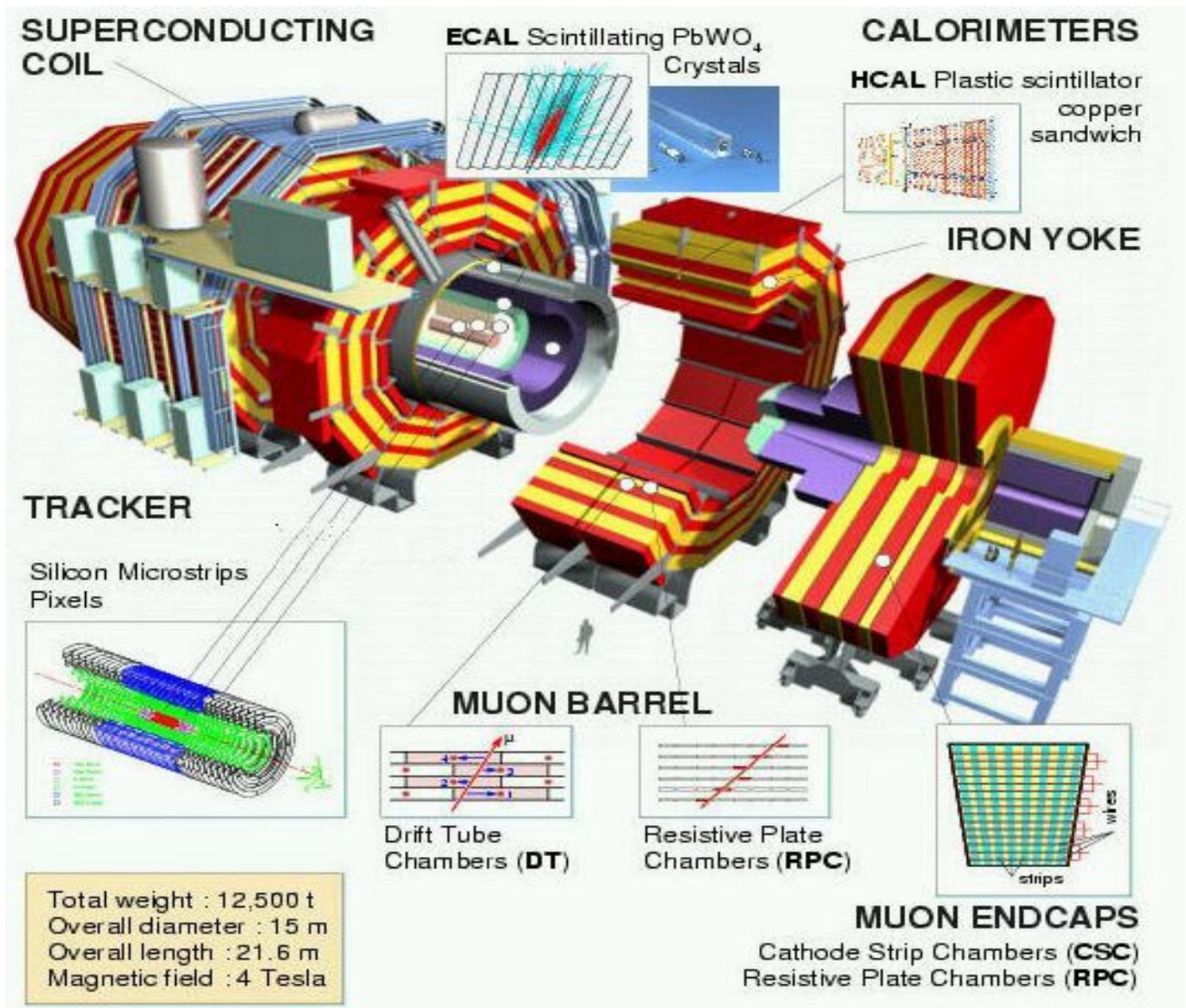


CMS a LHC

a) $H \rightarrow \gamma\gamma$:
 $100 \text{ GeV} < m_H < 150 \text{ GeV}$

b) $H \rightarrow ZZ \rightarrow 2l^+ 2l^-$:
 $130 \text{ GeV} < m_H < 600 \text{ GeV}$

c) $H \rightarrow WW \rightarrow ll\nu\nu$:
 $m_H \sim 170 \text{ GeV}$





Tracker di CMS

Efficienza di ricostruzione di traccia:

particelle cariche isolate:	95%	} Per $ \eta < 2,6$
se all'interno di jet adronici:	90%	
muoni isolati (con $P_t = 1\text{TeV}$):	98%	

Risoluzione del momento:

$$\begin{aligned} P_t = 10 \text{ GeV} & \Rightarrow \Delta P_t / P_t = 0,5\% \\ P_t = 100 \text{ GeV} & \Rightarrow \Delta P_t / P_t = 1\% \\ P_t = 1 \text{ TeV} & \Rightarrow \Delta P_t / P_t = 10\% \end{aligned}$$

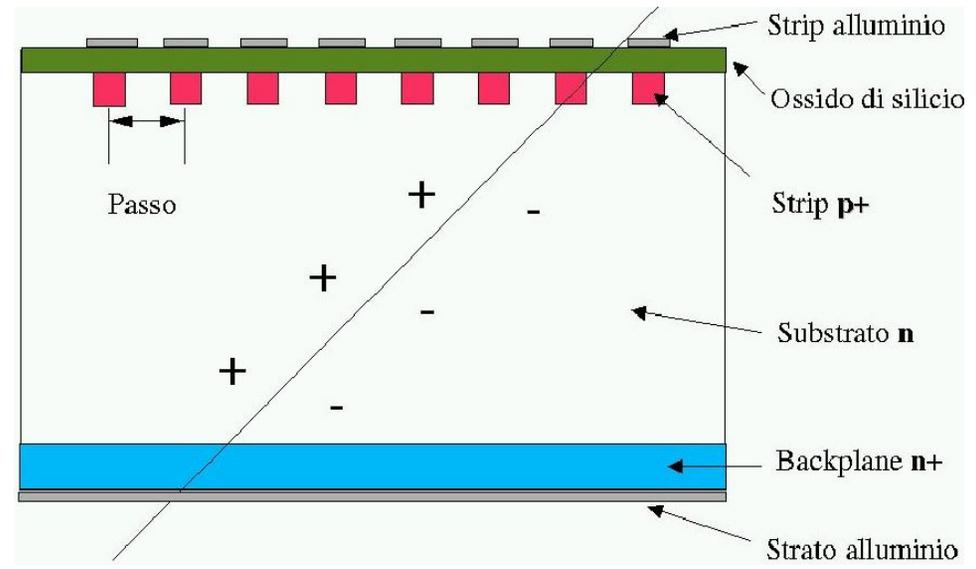
Per cui $\sigma_{R\Phi}$ migliore di $20 \mu\text{m}!!!$



Tracker di CMS

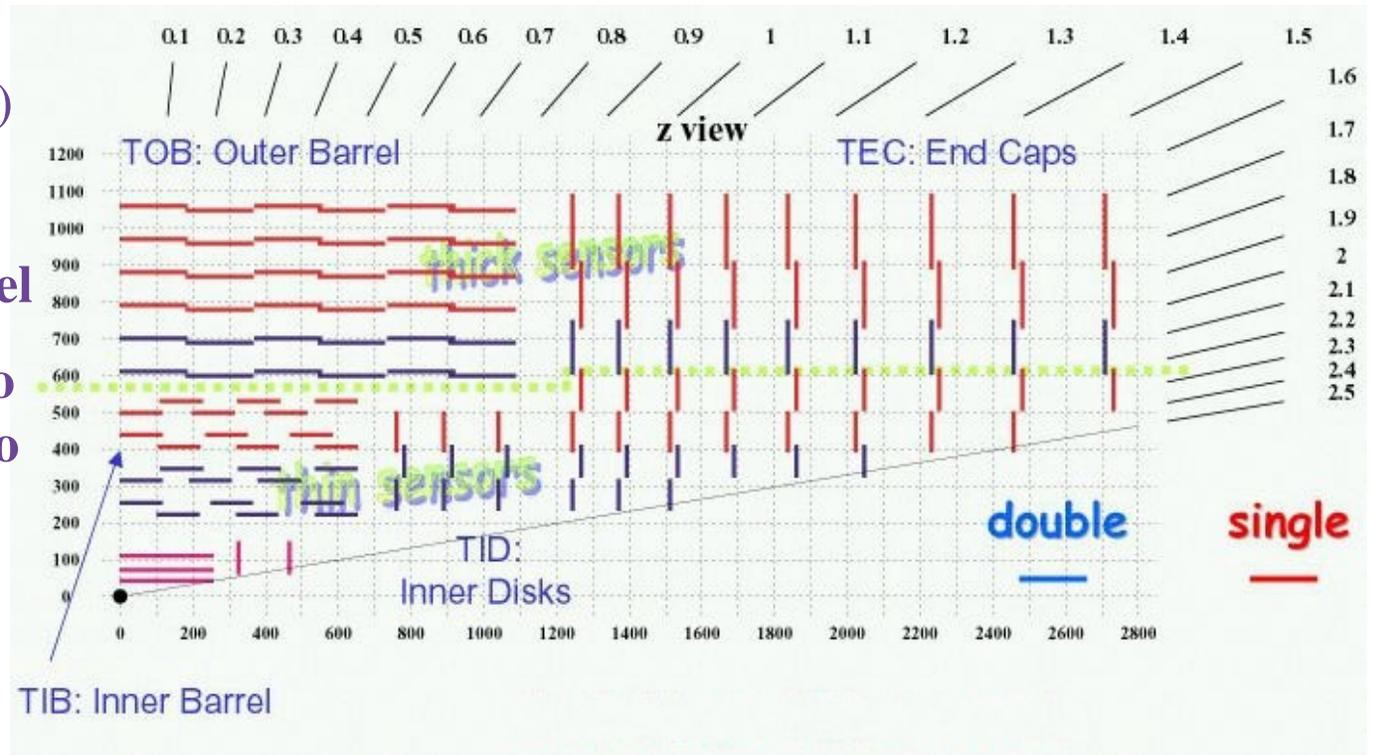
Tracciatore implementato completamente con moduli a Silicio:

- $E_{\text{gap}}: 1,1\text{eV} \Rightarrow$
1 m.i.p. ~ 108 coppie e^- -lacuna / μm
- Risoluzione spaziale ($\sim 20 \mu\text{m}$)
- Dimensioni trasversali:
da $320 \mu\text{m}$ a $500 \mu\text{m}$
- Minimizzato lo scattering
multiplo ($0,3 \% X_0$)
- Velocità di risposta ($\sim 10 \text{ ns}$)



Simmetria cilindrica:

- ★ Rivelatore di vertice a pixel
- ★ Rivelatore di tracciamento a microstrip di silicio



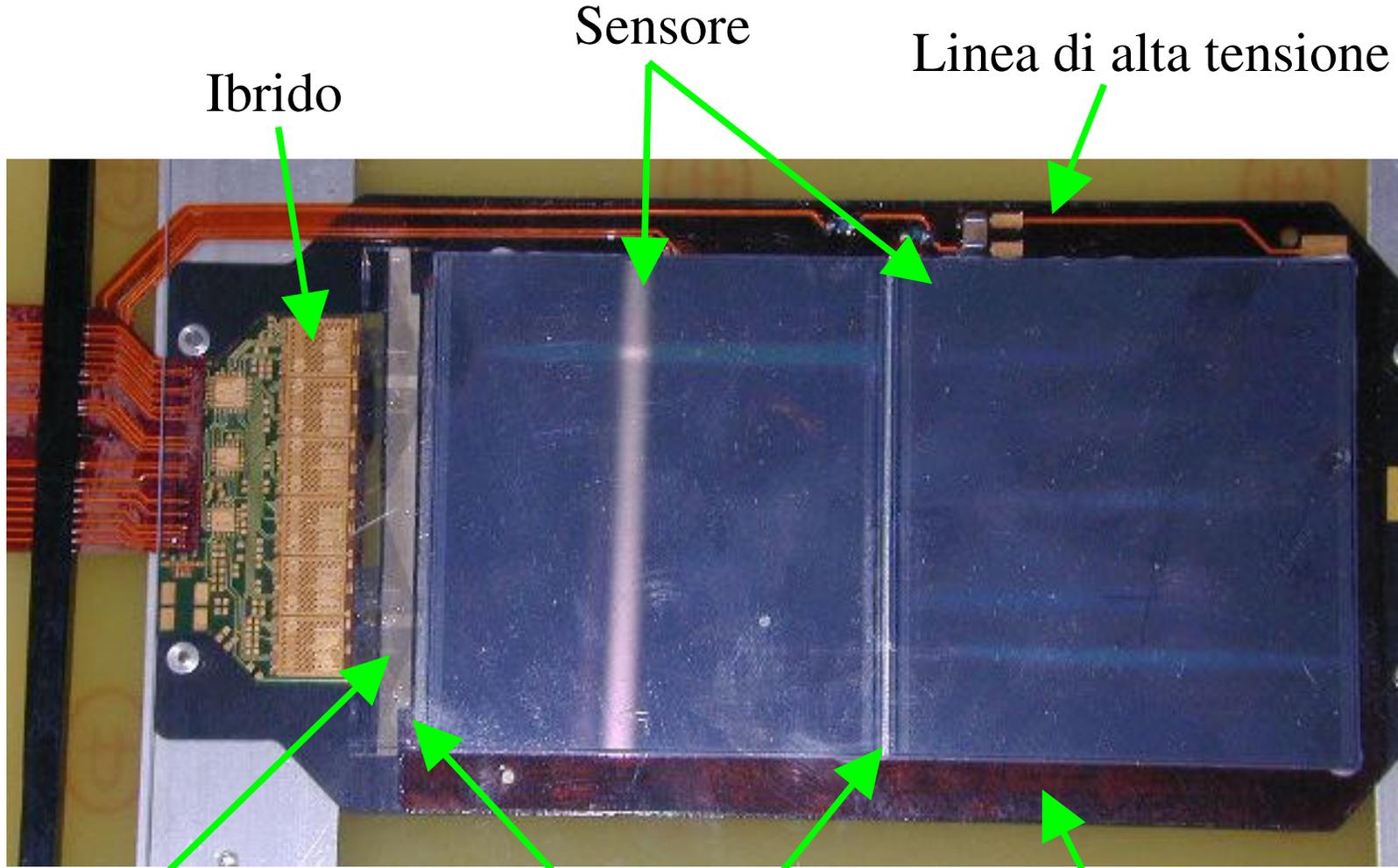
- ★ Area: 210 m^2
- ★ 25000 moduli
- ★ 10^7 canali di lettura



Moduli a microstrip di Silicio

Passo:
80 -> 210 μm

V svuotamento:
300 V



Adattatore di passo

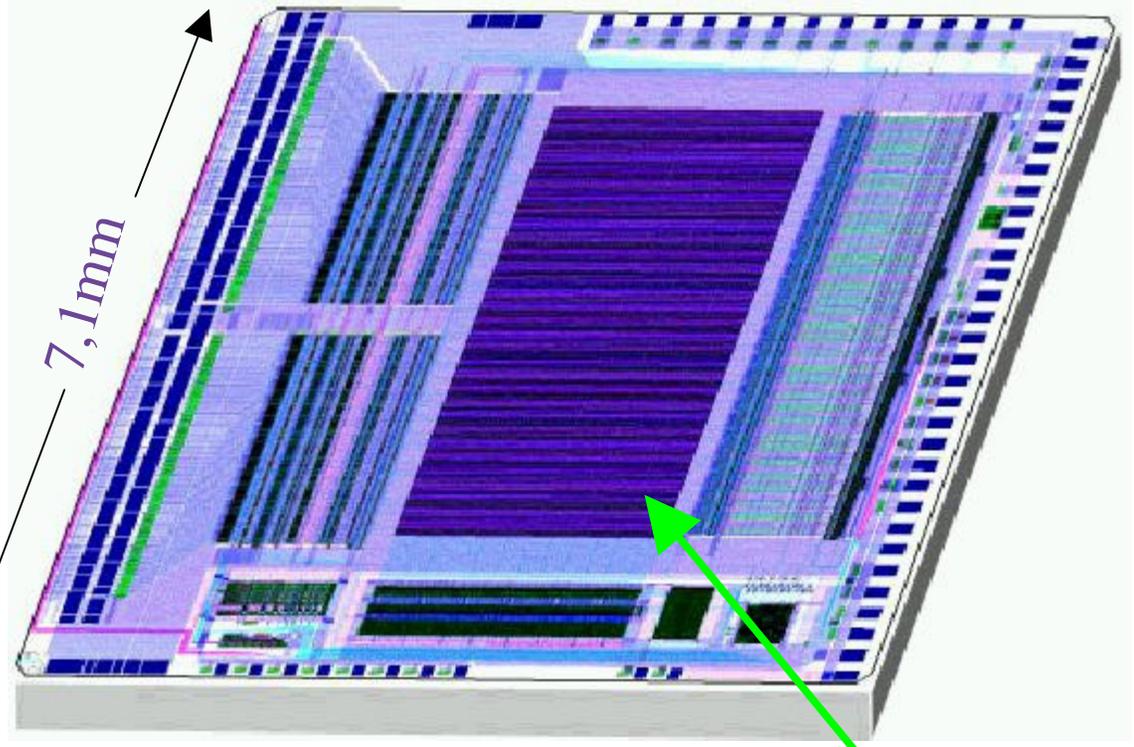
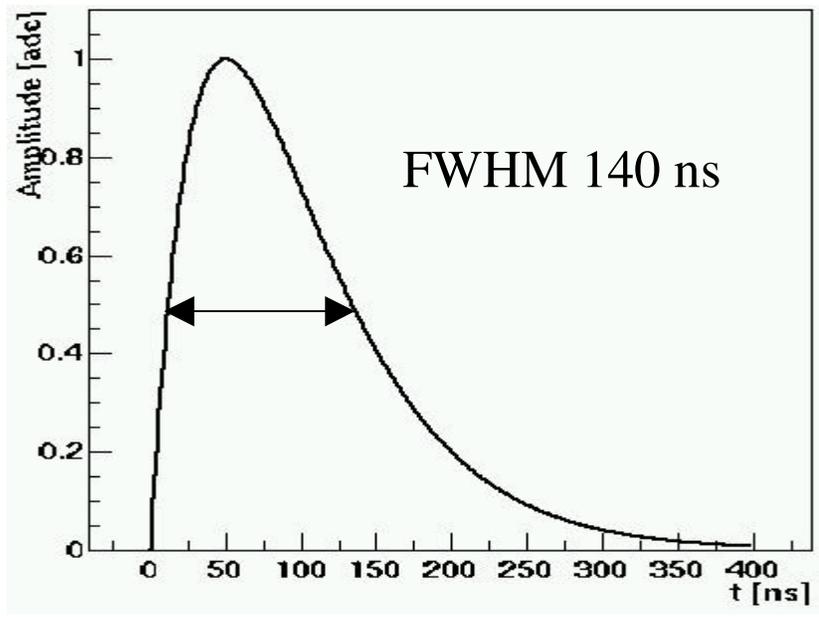
Bonding

Supporto in fibra di carbonio



Moduli - APV25

- ★ Tecnologia a 0.25 μm ,
- ★ Legge 128 canali
- ★ Circuito di preamplificazione e di shaping con $\tau = 50\text{ns}$
- ★ Ha un circuito di calibrazione



8,055 mm

★ Memoria analogica *pipeline*

192 (192 x 25ns = 4,8 μs) cc per ogni canale

- *Resistente ad alti tassi di radiazione*
- *Programmabile dall'esterno tramite protocollo I2C*
- *Segnale rumore > 10*



Deconvoluzione

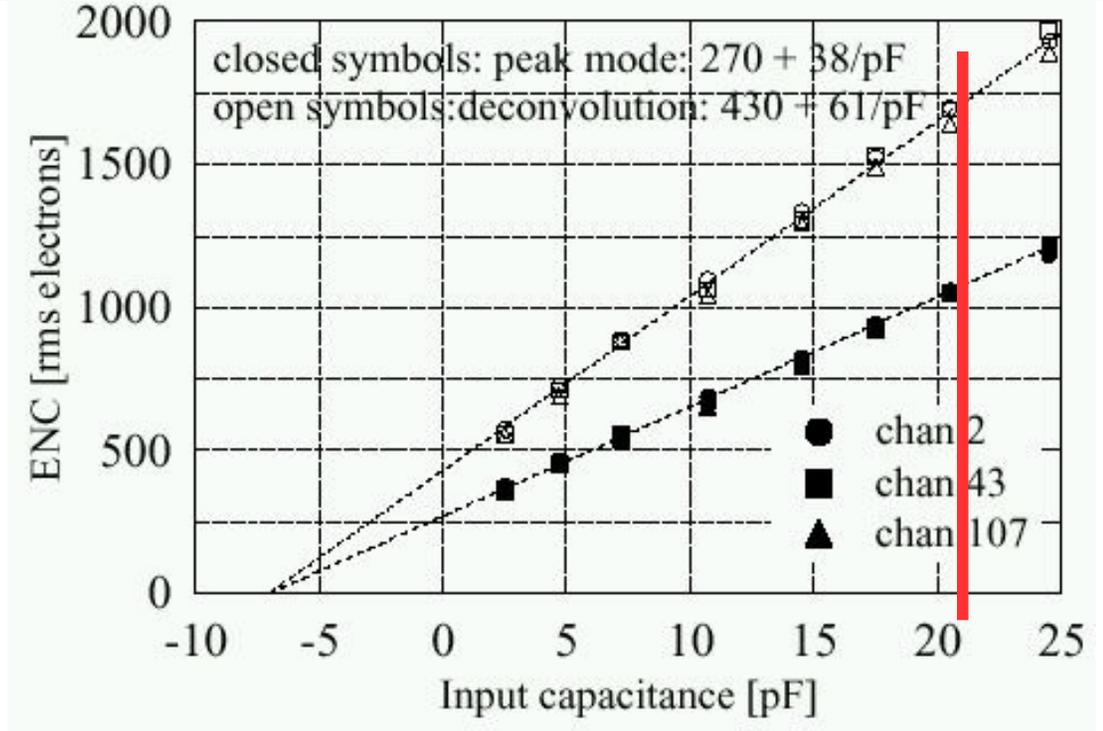
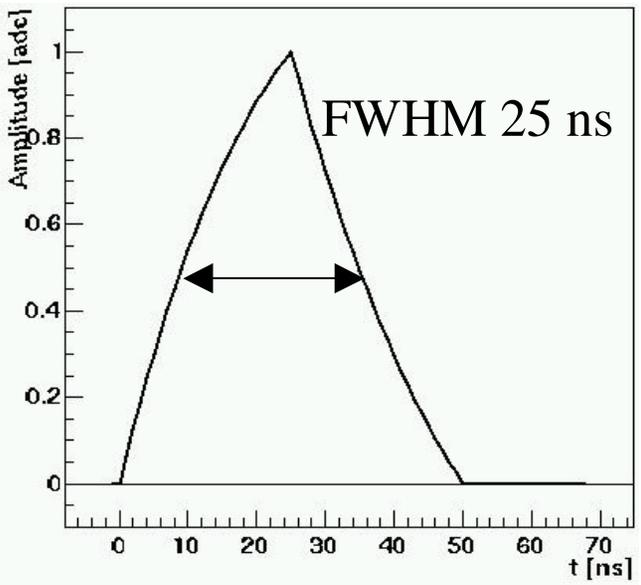
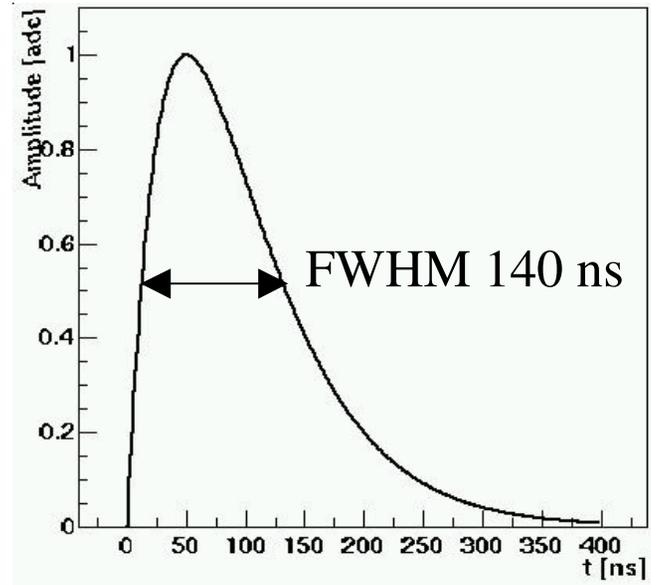
Impossibile l'identificazione temporale

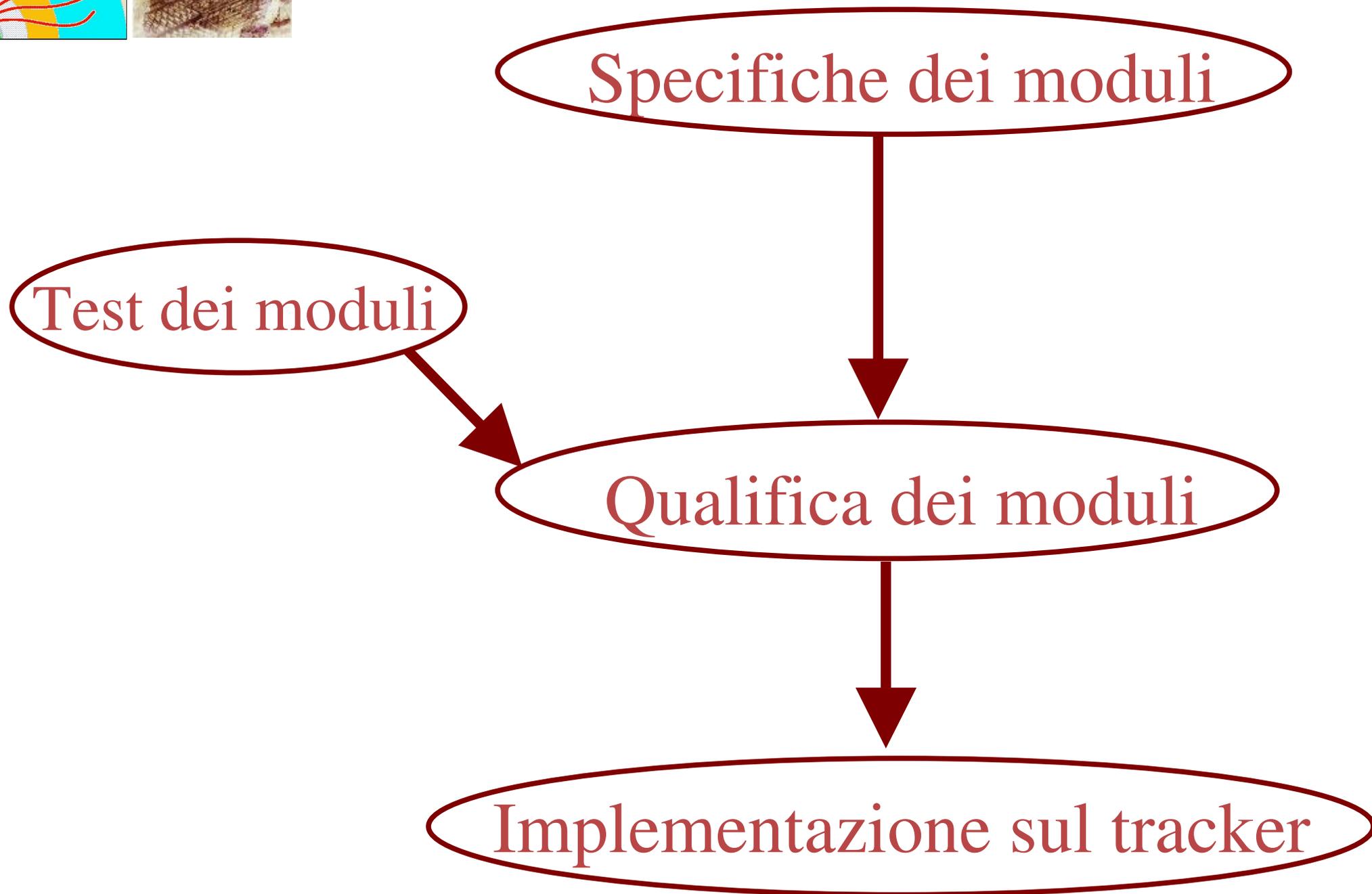
$S/N = k(\tau)^{1/2} \Rightarrow$ impossibile diminire τ

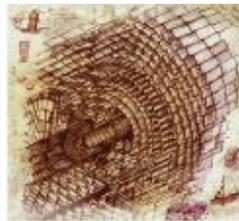
\Rightarrow algoritmo matematico:
somma pesata di tre
campioni consecutivi

Picco: $\tau = 50\text{ns}$, $FWHM = 140\text{ ns}$
rumore: $270 + 38/\text{pF}$

Deconvoluzione: $FWHM = 25\text{ns}$
rumore: $430 + 61/\text{pF}$

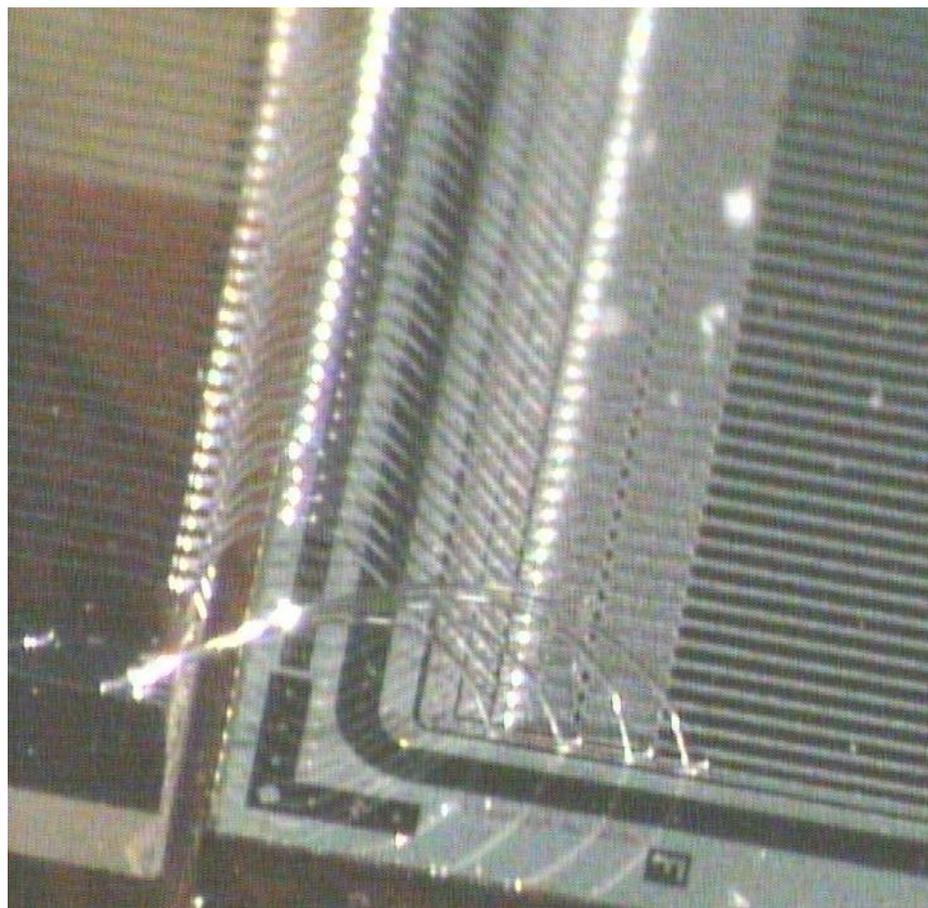






Test dei moduli

Il gruppo di Torino contribuisce alla produzione di 500 moduli TID: microsaldare l'adattatore di passo al sensore e di qualificare i moduli

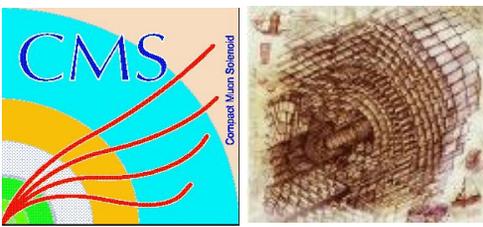


Tanti centri di produzione
e qualifica

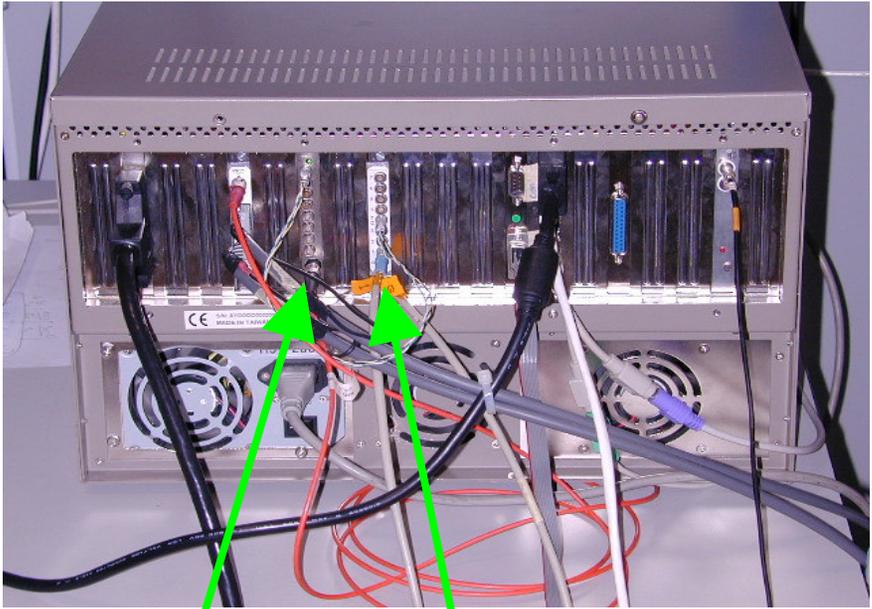


Standardizzazione delle
procedure di test

- ★ Definire la qualifica di un modulo ed i possibili problemi
- ★ Definire le procedure di qualifica

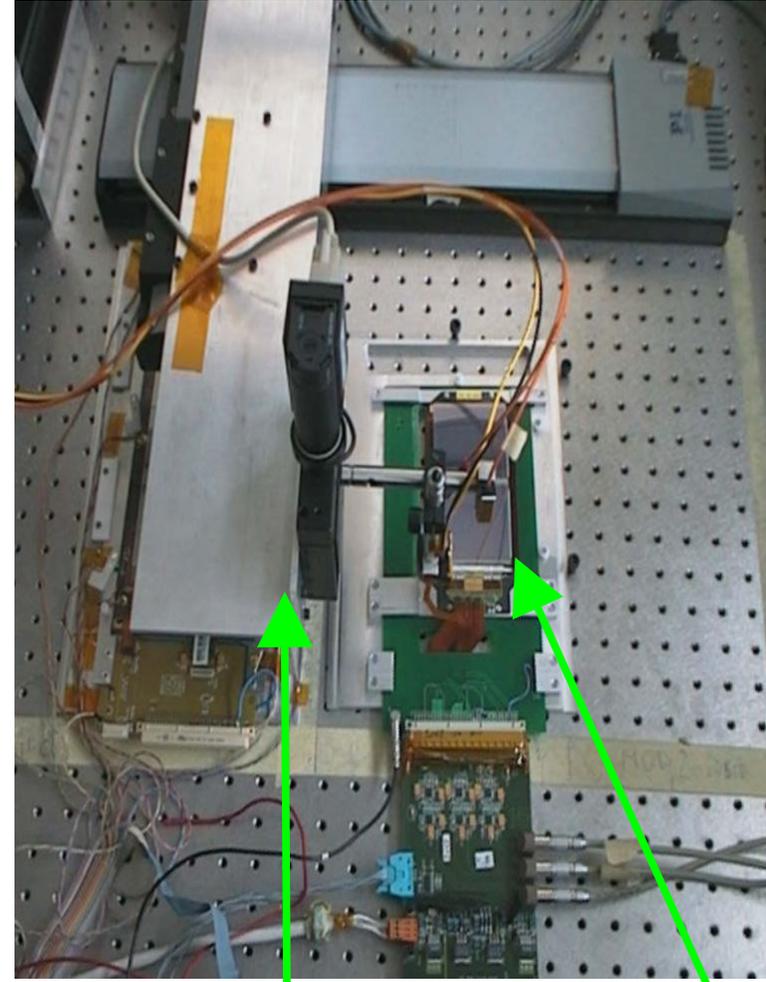


Setup hardware



FEC

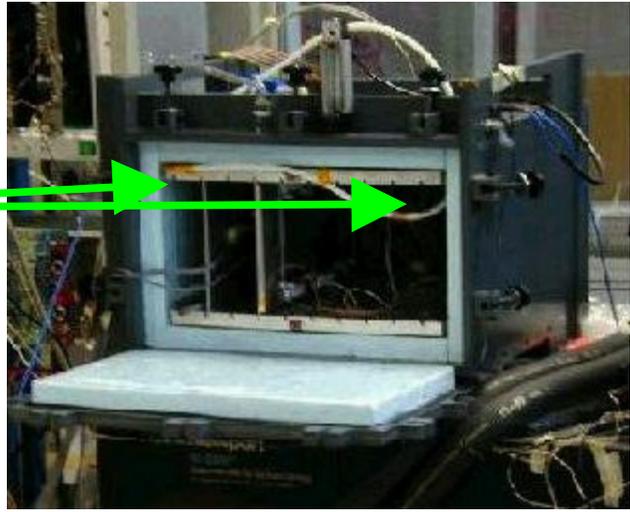
FED

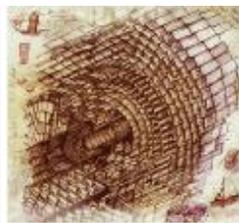


Movimentazione 3d

Modulo

10 moduli





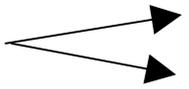
Test dei moduli

Possibili problemi:

- ★ Danni strutturali di costruzione o trasporto
- ★ Danni all'elettronica
- ★ Canale particolarmente rumoroso
- ★ Canale non collegato all'elettronica
- ★ 2 canali in corto circuito

Qualifica dei moduli:

Numero di canali cattivi $< 2\%$

Test dei moduli  con segnale fisico
senza un segnale fisico



Test dei moduli

Procedure di test:

- 1) Misura curva **I-V**
- 2) **Basic-test**: piedistallo e rumore
- 3) **B-test**: backplane test
- 4) **L-test**: test con fonte luminosa, laser o led
- 5) **Cicli termici**: stressa il sensore
($-10^{\circ}\text{C} \div T_{\text{ambiente}}$)
- 6) Dopo i cicli termici vengono ripetuti i **I-V, Basic-test, L-test, B-test**
- 7) Test di **lungo termine**: I-V, Basic-test e B-test a 25°C e a -20°C

Per ogni test ci sono degli intervalli di aspettazione (soglie) solo se i valori misurati rientrano in questi intervalli la procedura può andare avanti



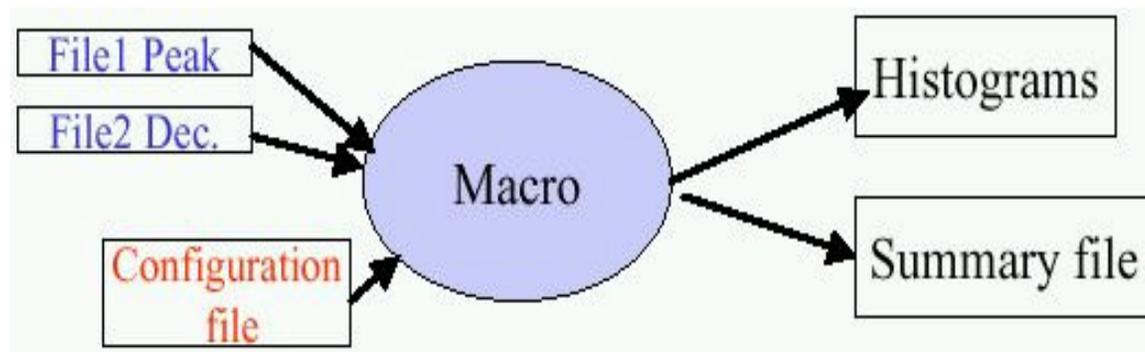
Analisi dati - Ftest

Analisi dati: **Ftest**

scritto in C++, sfrutta librerie di Root

analizza dati relativi a:

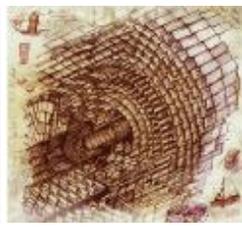
- 1) piedistalli
- 2) rumore prima
- 3) rumore dopo la sottrazione di modo comune
- 4) calibrazione



Per ogni grandezza calcola media ed rms e definisce i canali "cattivi" in base alle soglie fissate nel configuration file

Summary file:

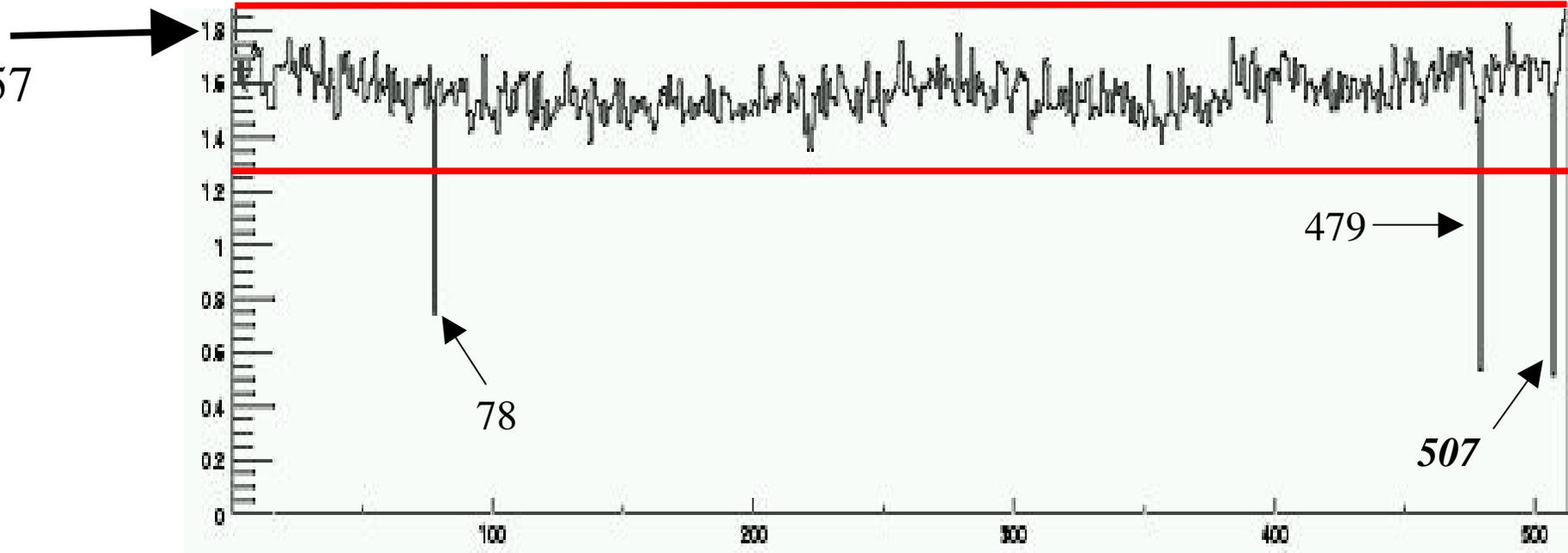
- 1) medie ed rms di ogni grandezza misurata chip per chip
- 2) fornisce i tagli secondo i quali vengono definiti i canali cattivi
- 3) fornisce l'elenco dei canali cattivi con le specifiche



Ftest - test di rumore

Modo picco

Valore medio 1,57



noise after CMN sub. :

Soglie:

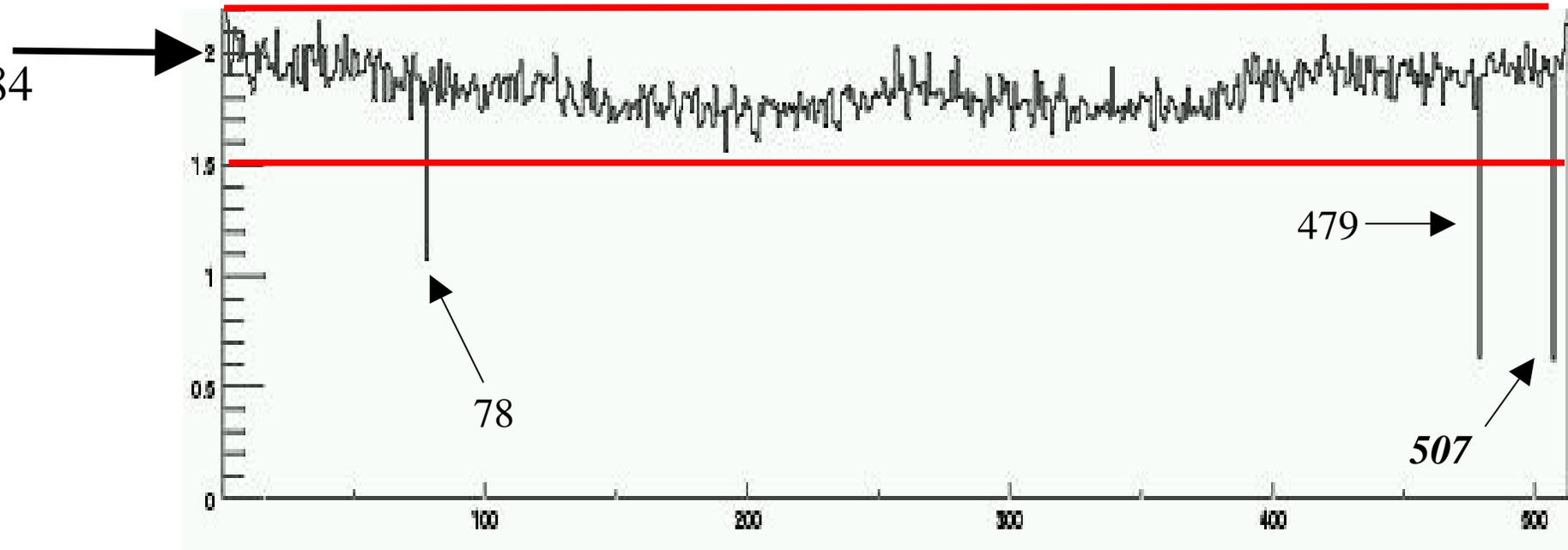
	mean	t.mean	rms	t.rms	low	high	**
chip 1:	1.583	1.588	0.112	0.080	1.27	1.91	
chip 2:	1.535	1.535	0.063	0.063	1.23	1.84	
chip 3:	1.560	1.560	0.075	0.075	1.25	1.87	
chip 4:	1.608	1.622	0.156	0.068	1.30	1.95	



Ftest - test di rumore

Modo deconvoluzione

Valore medio 1,84



noise after CMN sub. :

	mean	t.mean	rms	t.rms
chip 1:	1.903	1.906	0.123	0.089
chip 2:	1.764	1.764	0.060	0.055
chip 3:	1.785	1.778	0.071	0.061
chip 4:	1.891	1.910	0.173	0.065

Soglie:

low	high	**
0.2	0.2	
1.52	2.29	
1.41	2.12	
1.42	2.13	
1.53	2.29	



Ftest - piedistallo

Grafici prodotti

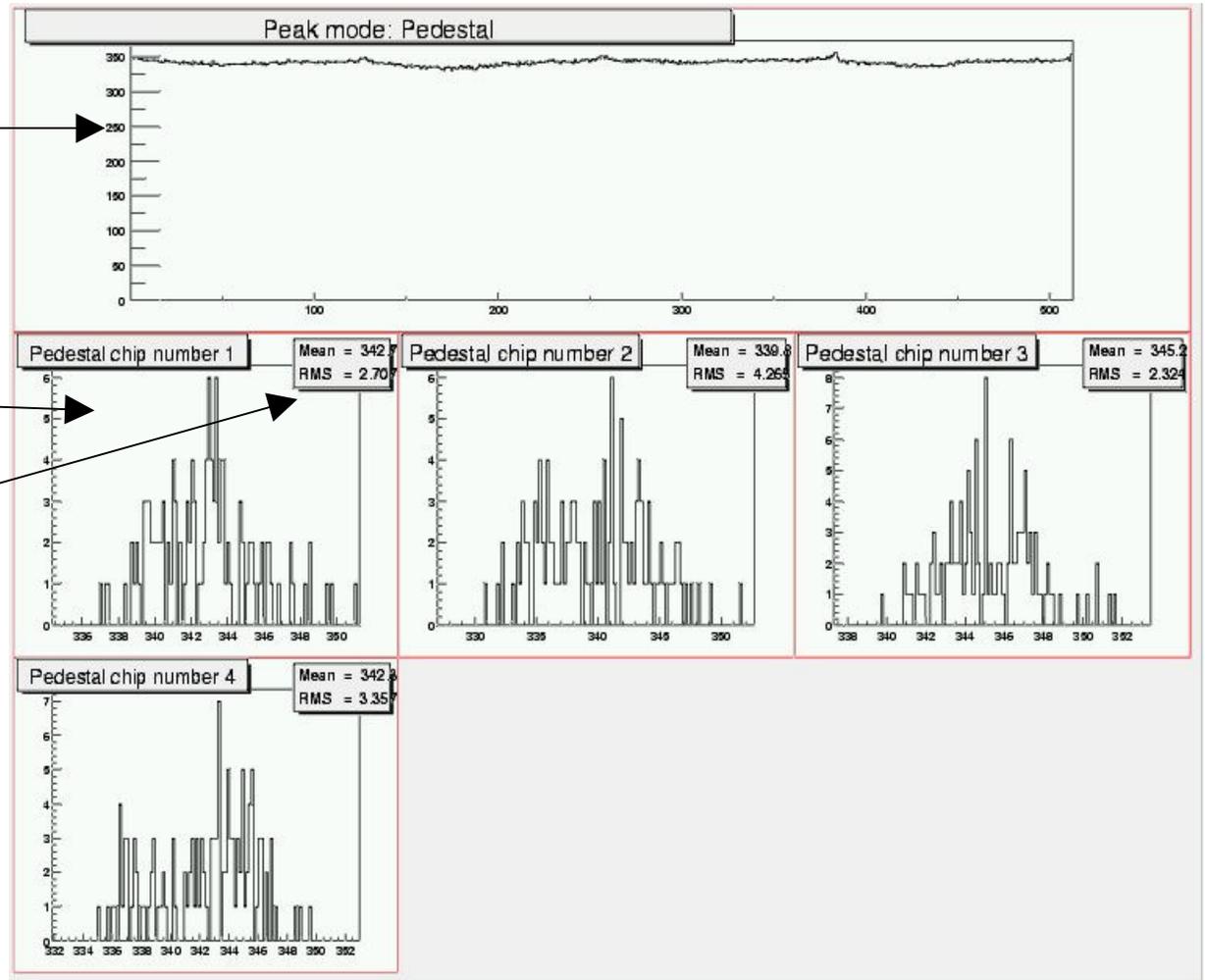
per ogni grandezza fornisce:

1) valore strip per strip

2) Istogramma dei valori chip per chip con il valore medio e il rms

Piedistallo (low 10%, high 10%):

$$P_i = \frac{1}{N_{EVN}} \sum_{l=1}^{l=EVN} P_{i,l}$$

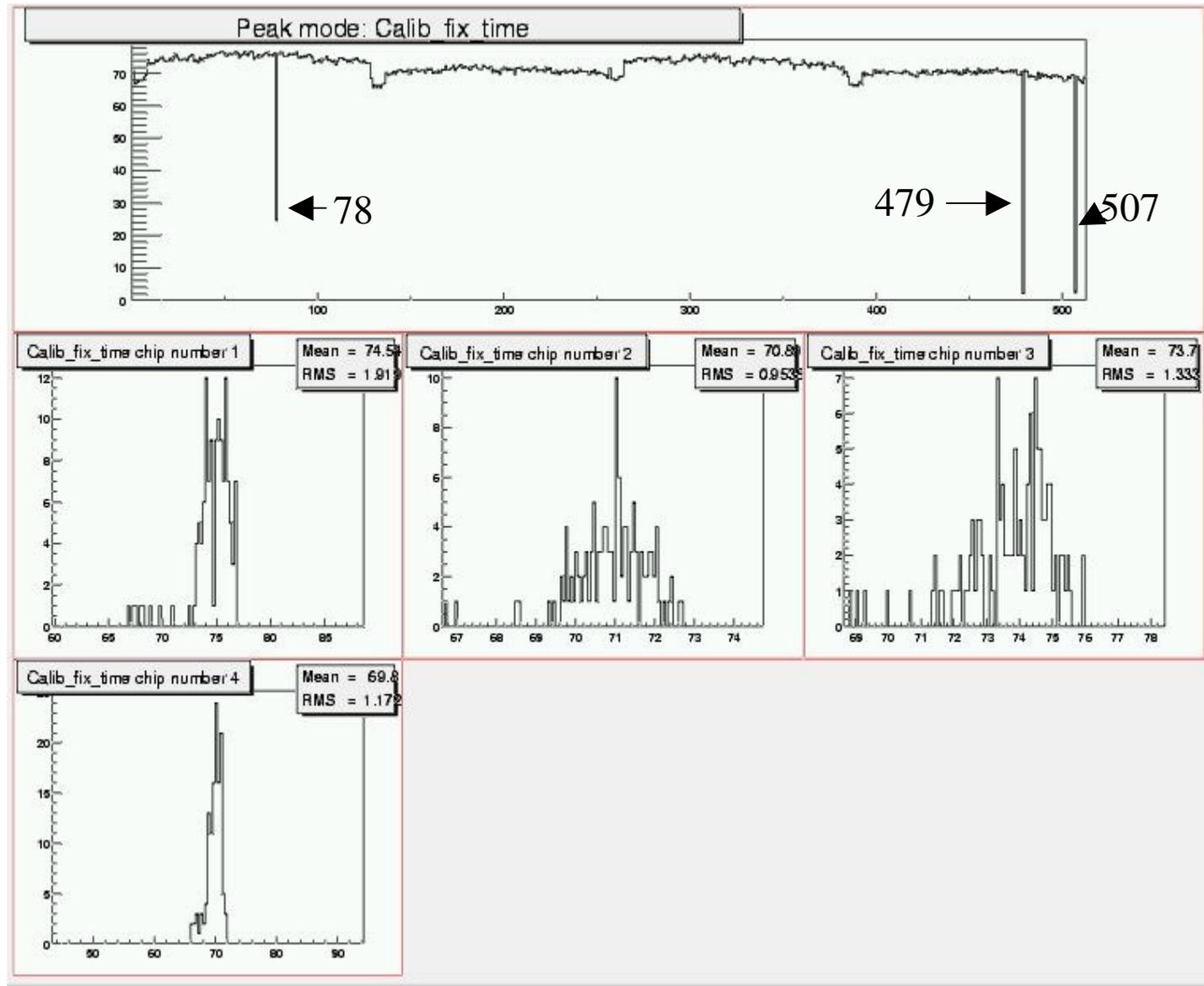




Ftest - calibrazione

Calibrazione
(low 20%, high 10%)

valori ad un tempo
prefissato





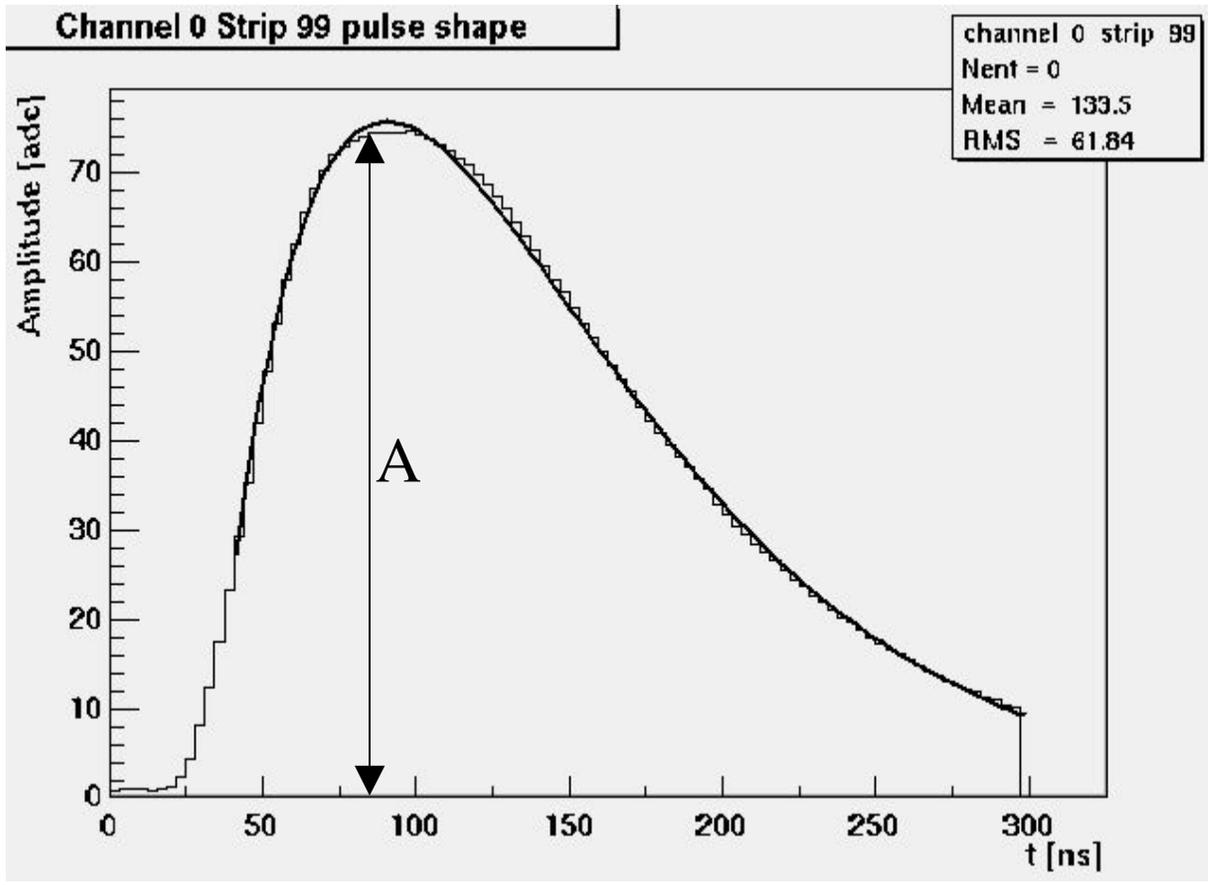
Ftest - calibrazione

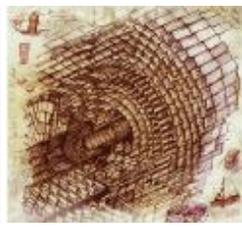
Ftest effettua il fit dei grafici di shape

$$V_{out}(t) = A \frac{t - t_0}{\tau} e^{-\frac{t - t_0}{\tau}}$$

Ftest calcola anche:

- 1) il massimo in ampiezza
- 2) il massimo in tempo
- 3) il tempo di salita
- 4) il tempo di discesa
- 5) larghezza a metà altezza



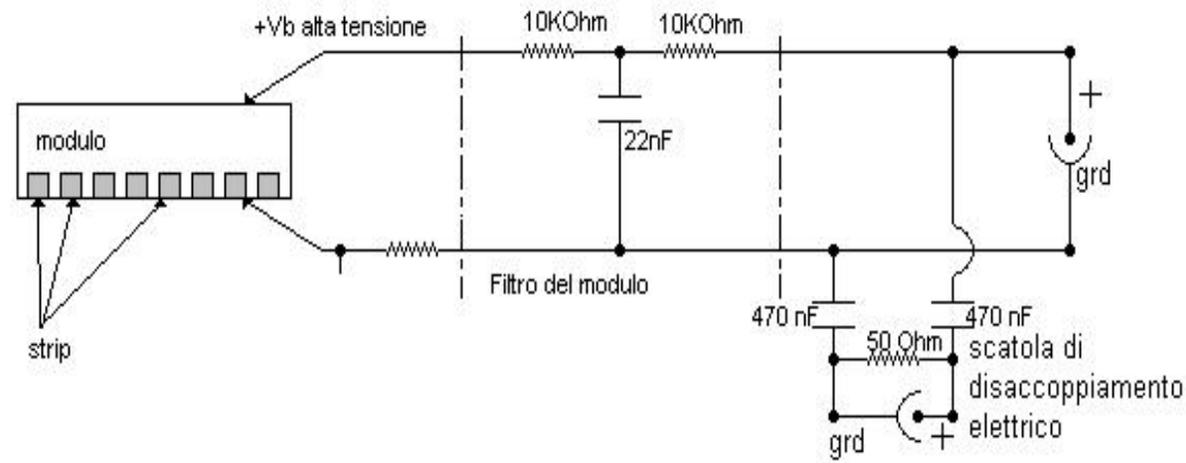


Backplane test

- ★ Sviluppato ed implementato dal gruppo di Torino
- ★ Invio di un impulso elettrico sul backplane del modulo attraverso la linea di alta tensione
- ★ viene indotta la stessa carica ($Q=C_b \cdot \Delta V_{back}$) su tutte le strip
- ★ si trovano le strip non collegate con l'elettronica

=> Rapido ed efficiente

=> Facilmente implementabile





Analisi del B-test

BpPulseAna

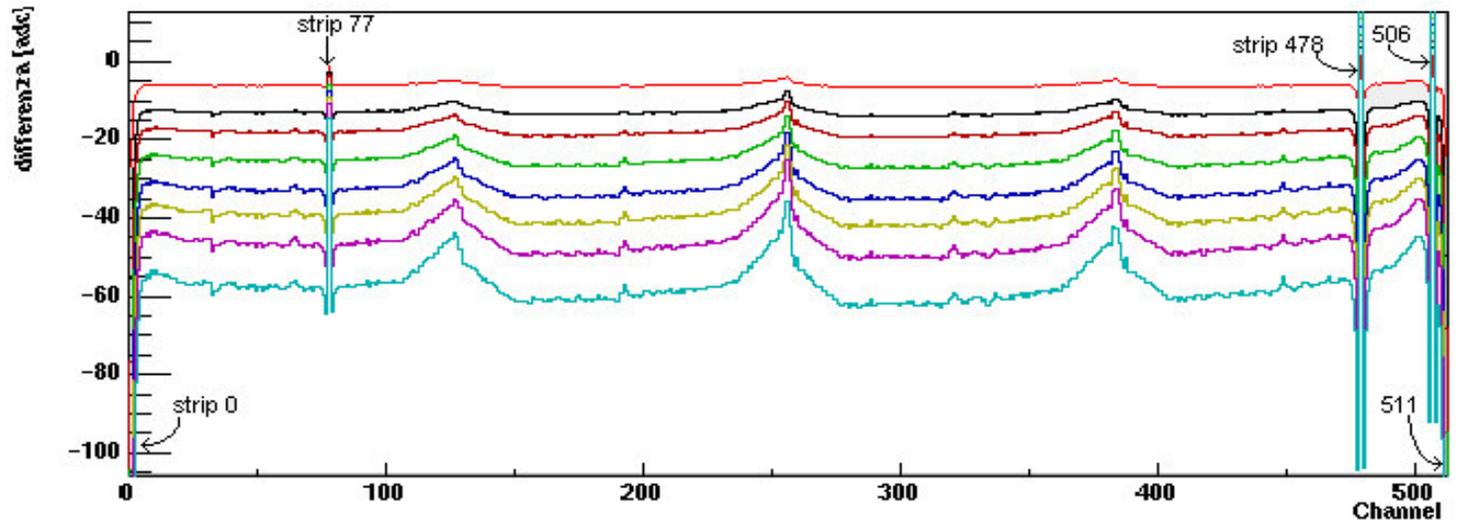
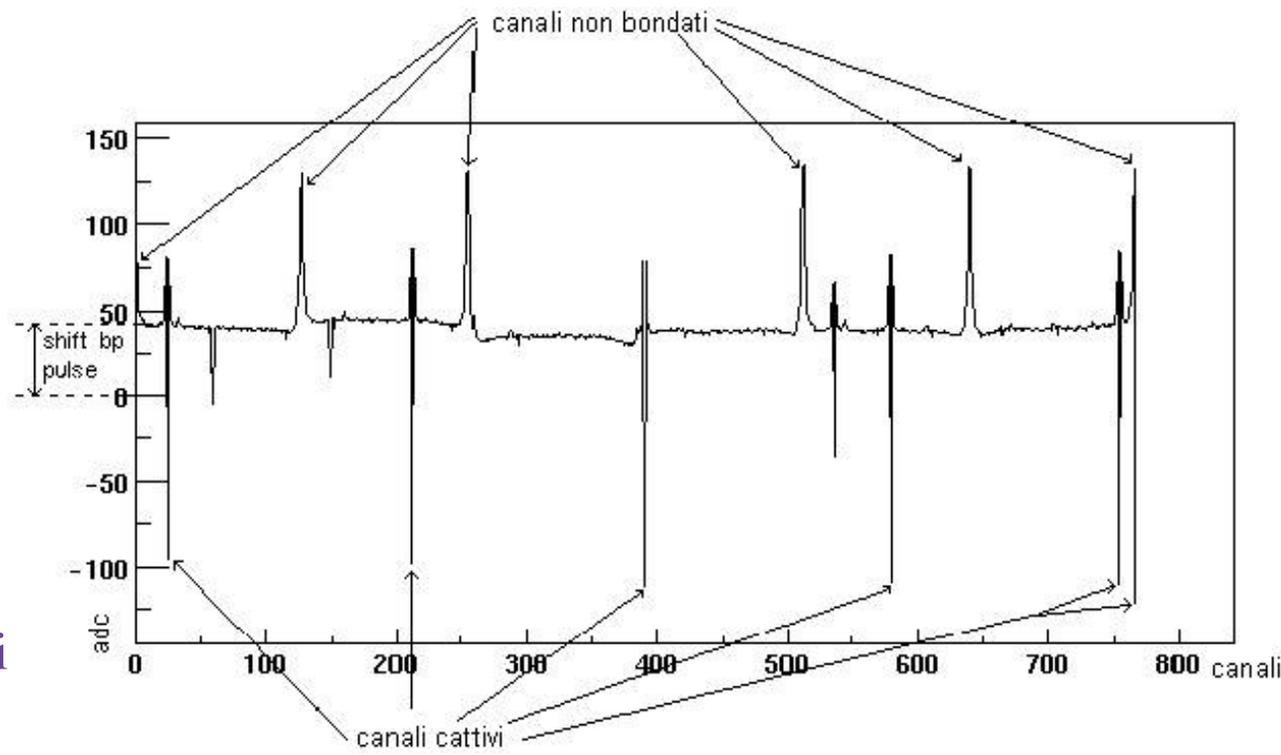
scritto in C++ con librerie di Root per analizzare dati del B-test

- **Scan in ritardo**

si va a leggere la risposta inviando l'impulso a ritardi differenti

- **Scan in ampiezza**

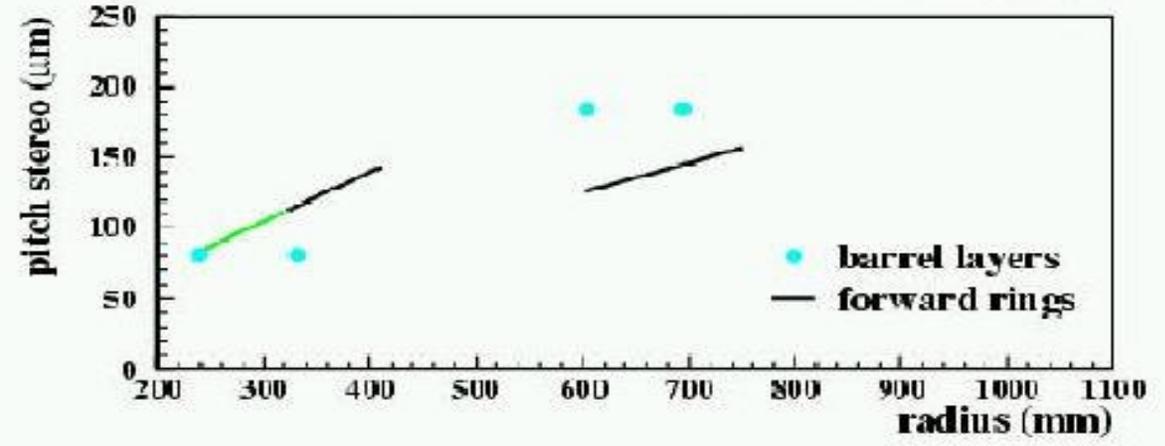
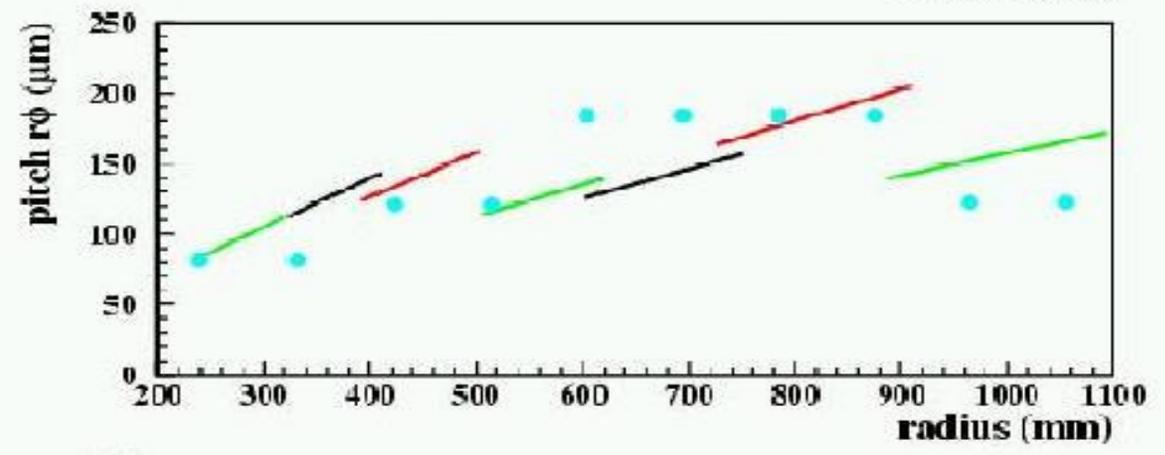
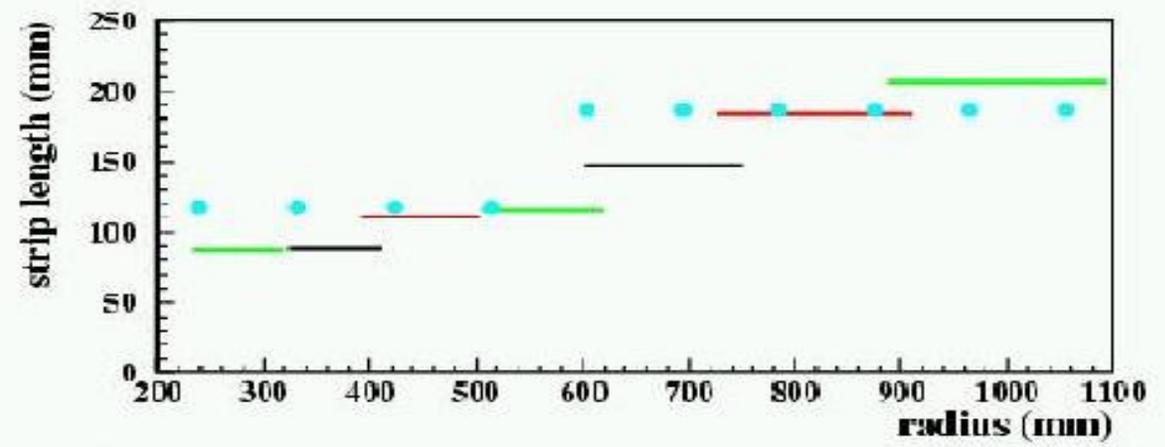
$0V < V_{back} < 2V$





Conclusioni

- ★ Il tracciatore è essenziale per la fisica che CMS vuole studiare, è completamente implementato con moduli in Silicio
- ★ Per la produzione sono necessari centri di qualifica standardizzati
- ★ Fondamentali le procedure che le procedure siano affidabili
- ★ Collaborato allo studio ed allo sviluppo della catena d'acquisizione scrivendo il software necessario per l'analisi delle misure che è stato utilizzato in molti centri di produzione
- ★ Sono stati testati e qualificati 5 moduli (3 TIB e 2 TOB)
- ★ Collaborato allo sviluppo ed alla implementazione del test di backplane
- ★ Inizia ora la produzione in cui Torino riveste un ruolo fondamentale



• barrel layers
— forward rings



SST -Barrel

Layer	Nome	raggio (mm)	# tot. moduli	APV per ogni modulo
1	TIB 1	255	672	6 + 6 (double side)
2	TIB 2	340	432	6 + 6 (double side)
3	TIB 3	430	540	4
4	TIB 4	520	648	4
5	TOB 1	610	1008	6 + 4 (double side)
6	TOB 2	696	1152	6 + 4 (double side)
7	TOB 3	782	648	4
8	TOB 4	868	720	4
9	TOB 5	965	792	6
10	TOB 6	1080	888	6



SST -Endcap

Anello	Nome	# anelli	# tot. moduli per anello
1	TID	3	24 - 24 - 40
2	TID	3	24 - 24 - 40
3	TID	3	24 - 24 - 40
4	TEC	7	24 - 24 - 40 - 56 - 40 - 56 - 80
5	TEC	7	24 - 24 - 40 - 56 - 40 - 56 - 80
6	TEC	7	24 - 24 - 40 - 56 - 40 - 56 - 80
7	TEC	6	24 - 40 - 56 - 40 - 56 - 80
8	TEC	6	24 - 40 - 56 - 40 - 56 - 80
9	TEC	6	24 - 40 - 56 - 40 - 56 - 80
10	TEC	5	40 - 56 - 40 - 56 - 80
11	TEC	5	40 - 56 - 40 - 56 - 80
12	TEC	4	56 - 40 - 56 - 80

N.B. In **grassetto** i moduli double-side