

Università degli Studi di Torino

Facoltà di Scienze M.F.N.  
Corso di Laurea in Fisica

Tesi di Laurea

***Filtraggio Digitale di Segnali Generati  
da Rivelatori di Particelle Nucleari***

Relatore:  
Prof. Antonino GRASSO

Candidato:  
Diego ALBERTO

Aprile 2007

***Indice***

- Introduzione
  - Acquisizione dati
  - Baseline Shift
  - Pulse Pile-Up
  - Ballistic Deficit
  - Noise
- Catena di trasmissione del segnale
  - ADC (Analog to Digital Converter)
  - I.I.R. (Infinite Impulse Response Filter)
- ADC
  - Campionatore
  - Quantizzatore ed Encoder
  - Errore di Quantizzazione → Rumore di Quantizzazione
- Riduzione del rumore con filtri I.I.R.
  - Trasformata Z
  - Trasformazione Bilineare → Rumore di Arrotondamento
- Esempio: Butterworth II ordine e tabelle comparative
- Possibili sviluppi

## Indice

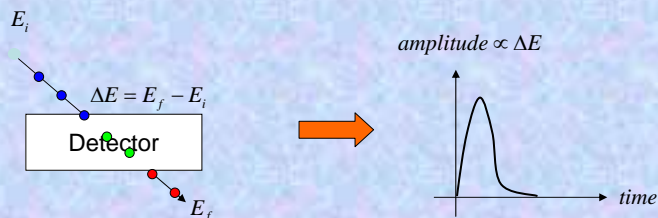


- **Introduzione**
  - **Acquisizione dati**
  - **Baseline Shift**
  - **Pulse Pile-Up**
  - **Ballistic Deficit**
  - **Noise**
- Catena di trasmissione del segnale
  - ADC (Analog to Digital Converter)
  - I.I.R. (Infinite Impulse Response Filter)
- ADC
  - Campionatore
  - Quantizzatore ed Encoder
  - Errore di Quantizzazione → Rumore di Quantizzazione
- Riduzione del rumore con filtri I.I.R.
  - Trasformata Z
  - Trasformazione Bilineare → Rumore di Arrotondamento
- Esempio: Butterworth II ordine e tabelle comparative
- Possibili sviluppi

## Introduzione



- Nei rivelatori utilizzati negli esperimenti di fisica nucleare il segnale generato dal passaggio di una particella ionizzante appare come un impulso in tensione o in corrente
- l'ampiezza di tale impulso è proporzionale all'energia rilasciata dalla particella dentro il rivelatore



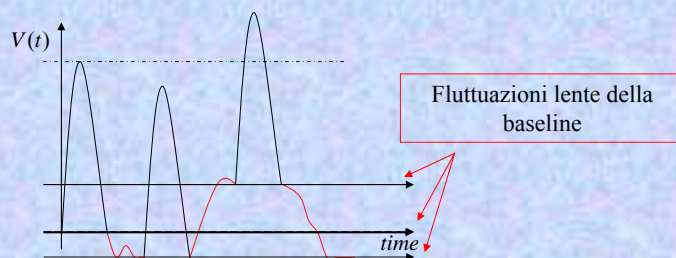
- durante l'analisi del segnale si deve prestare attenzione a tutti quei fenomeni che possono modificare la misura dell'ampiezza e del tempo:

“Baseline Shift”, “Pulse Pile-Up”, “Ballistic Deficit”, “Noise”

## Noise & Baseline Shift



- **Effetto:** Distorsione del segnale e spostamento della linea di base  $V(t)=0$  con conseguente variazione del valore vero dell'ampiezza e dell'informazione temporale contenuta nel segnale

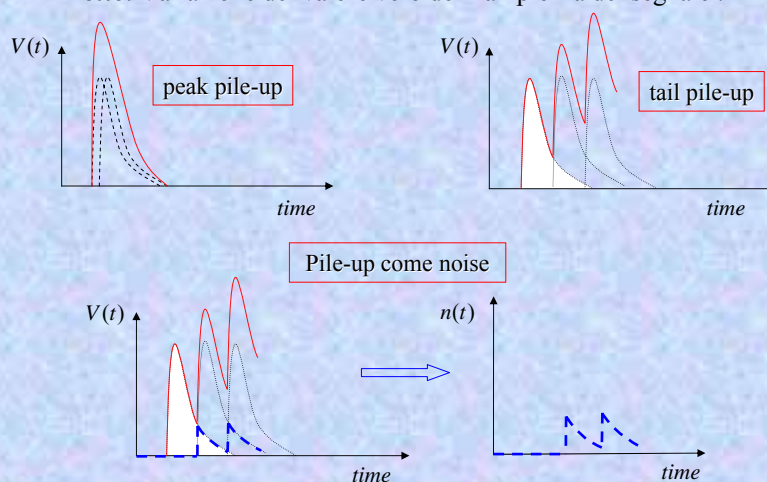


2

## Pulse Pile-Up



- Sovrapposizione dei segnali di due eventi in rapida successione.
- **Cause:** Sequenza di segnali con durata superiore al periodo.
- **Effetto:** Variazione del valore vero dell'ampiezza del segnale .

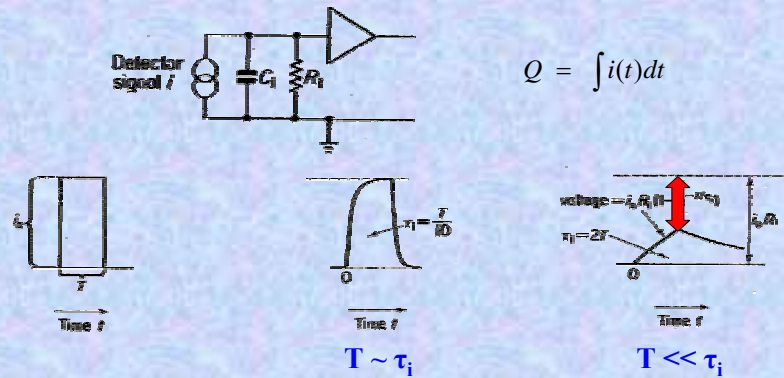


3

## Ballistic Deficit



- Quando una particella ionizzante viene rivelata si ha un momentaneo aumento di corrente di una certa ampiezza  $i$



- $\tau_i = R_i C_i$  (costante di tempo)
- Il **Ballistic Deficit** è una misura di questa inefficienza di integrazione

4

## Noise



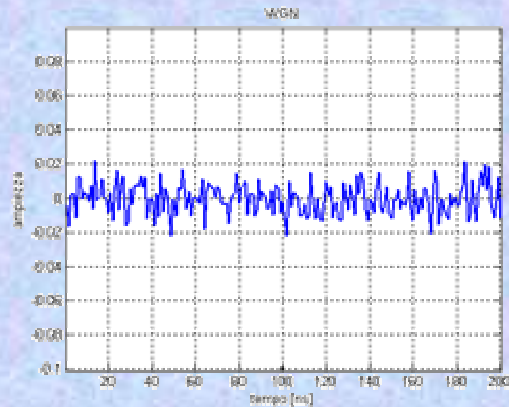
- Fluttuazioni casuali in serie o in parallelo all' input.
- Cause:
  - Thermal noise:** rumore termico causato dall'agitazione dei portatori di carica in un conduttore;
  - Shot noise:** rumore causato dal passaggio di cariche elettriche attraverso una barriera di potenziale (es : giunzioni p-n);
  - Flicker noise:** rumore a bassa frequenza, tipico dei dispositivi attivi in cui vi è passaggio di corrente. E' legato a processi di generazione e ricombinazione che hanno luogo sulla superficie del materiale;
  - Noise di granularità:** legato all'iniezione di portatori di carica e al loro prelievo sotto l'effetto di un campo elettrico;
  - Noise di generazione e ricombinazione:** legato alla generazione-ricombinazione dei portatori.

5

## WGN: White Gaussian Noise



- Abbiamo rappresentato il disturbo introdotto da tutti questi generi di rumore con un Rumore Gaussiano Bianco additivo al segnale in ingresso



- L'obiettivo del nostro lavoro è stato la riduzione di questo rumore mediante filtri standard digitali IIR

6

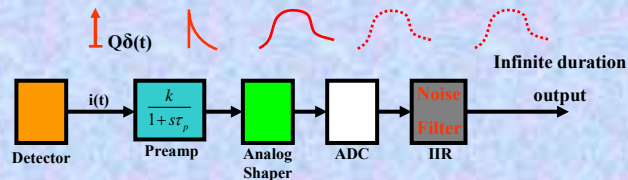
## Indice



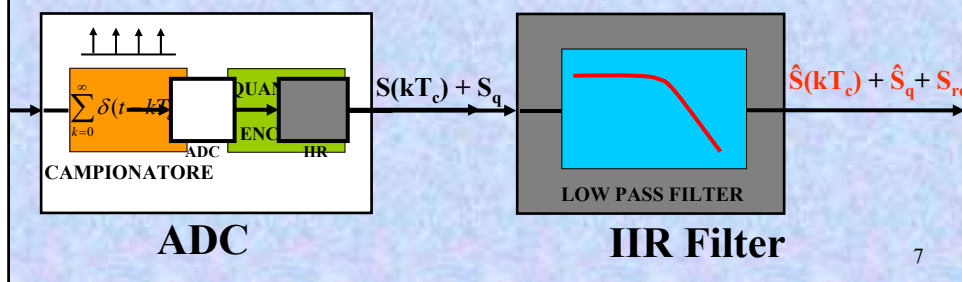
- Introduzione
  - Acquisizione dati
  - Baseline Shift
  - Pulse Pile-Up
  - Ballistic Deficit
  - Noise
- **Catena di trasmissione del segnale**
  - **ADC (Analog to Digital Converter)**
  - **I.I.R. (Infinite Impulse Response Filter)**
- ADC
  - Campionatore
  - Quantizzatore ed Encoder
  - Errore di Quantizzazione → Rumore di Quantizzazione
- Riduzione del rumore con filtri I.I.R.
  - Trasformata Z
  - Trasformazione Bilineare → Rumore di Arrotondamento
- Esempio: Butterworth II ordine e tabelle comparative
- Possibili sviluppi

## Catena di trasmissione

- Il rivelatore nel suo complesso è formato da diversi componenti:



Catena di acquisizione semplificata:  
non abbiamo considerato P.U., B.D., B.L.S



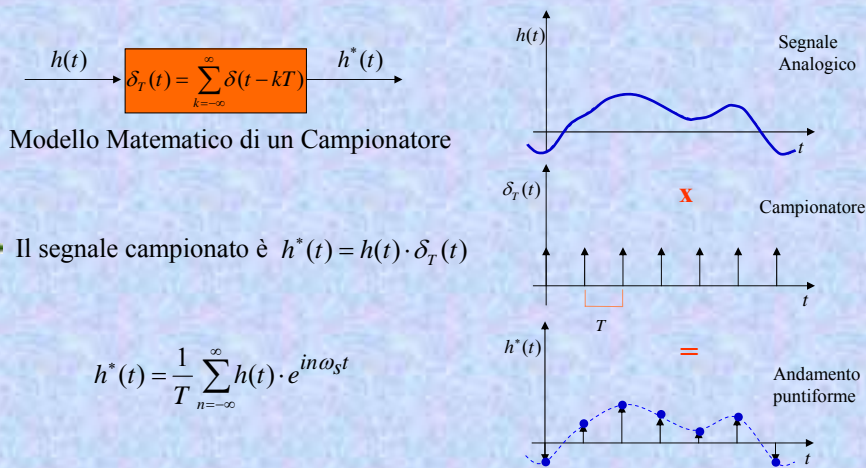
## Indice

- Introduzione
  - Acquisizione dati
  - Baseline Shift
  - Pulse Pile-Up
  - Ballistic Deficit
  - Noise
- Catena di trasmissione del segnale
  - ADC (Analog to Digital Converter)
  - I.I.R. (Infinite Impulse Response Filter)
- **ADC**
  - **Campionatore**
  - **Quantizzatore ed Encoder**
  - **Errore di Quantizzazione → Rumore di Quantizzazione**
- Riduzione del rumore con filtri I.I.R.
  - Trasformata Z
  - Trasformazione Bilineare → Rumore di Arrotondamento
- Esempio: Butterworth II ordine e tabelle comparative
- Possibili sviluppi

## Campionatore



- Il modello matematico di un campionatore è rappresentato nello schema a blocchi seguente:



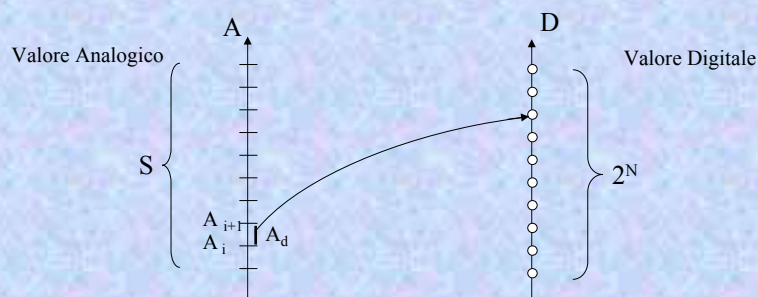
- La sua trasformazione nel dominio Z verrà ricavata in seguito

8

## Errore di Quantizzazione



- una grandezza analogica A, variabile con continuità nell'intervallo S viene convertita in una digitale D costituita da N bit ( $2^N$  intervalli)



Conversione A/D di una grandezza

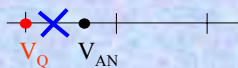
- L'errore di quantizzazione è **irreversibile** a differenza dell'errore di campionamento se è rispettato il criterio di Nyquist

9

## Errore di Quantizzazione

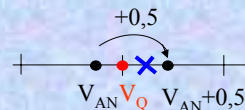


### Troncamento

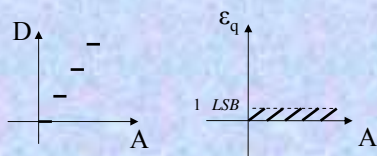


$$V_Q = \text{INT}(V_{AN})$$

### Arrotondamento per eccesso

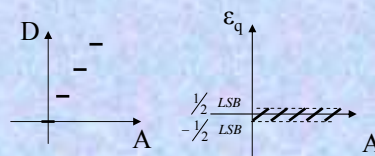


$$V_Q = \text{INT}(V_{AN} + 0,5)$$



Funzione di trasferimento della conversione A/D per troncamento

Andamento dell'errore di quantizzazione



Funzione di trasferimento della conversione A/D per arrotondamento per eccesso

Andamento dell'errore di quantizzazione

10

## Rumore di Quantizzazione



- il segnale numerico  $D$  può essere considerato come somma del segnale analogico  $A$  e del rumore di quantizzazione  $\varepsilon_q$
- possiamo definire un rapporto segnale/rumore di quantizzazione  $SNR_q$

$$SNR_q = \frac{\text{potenza del segnale } A}{\text{potenza del rumore } \varepsilon_q} = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_{\varepsilon_q}^2}$$

- dove  $\sigma_A^2$  e  $\sigma_{\varepsilon_q}^2$  sono le varianze del segnale e del rumore

$$\sigma_A^2 = \frac{S^2}{12}$$

$$\sigma_{\varepsilon_q}^2 = \frac{A_d^2}{12} = \frac{S^2}{12 \cdot 2^{2N}}$$

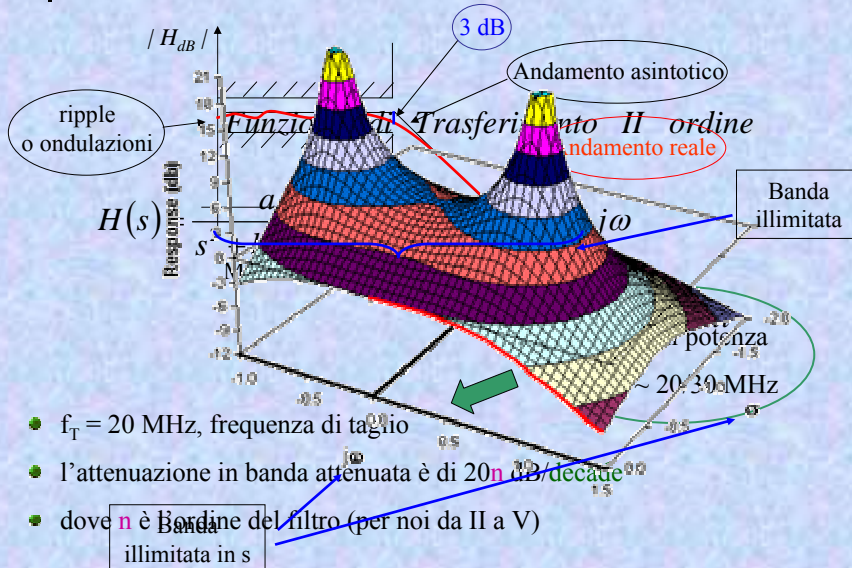
$$SNR_q = \frac{S^2}{12} \cdot \frac{12 \cdot 2^{2N}}{S^2} = 2^{2N} \quad \rightarrow \quad SNR_{q\_dB} = 10 \log_{10} SNR_q = 6N \text{ dB}$$

11



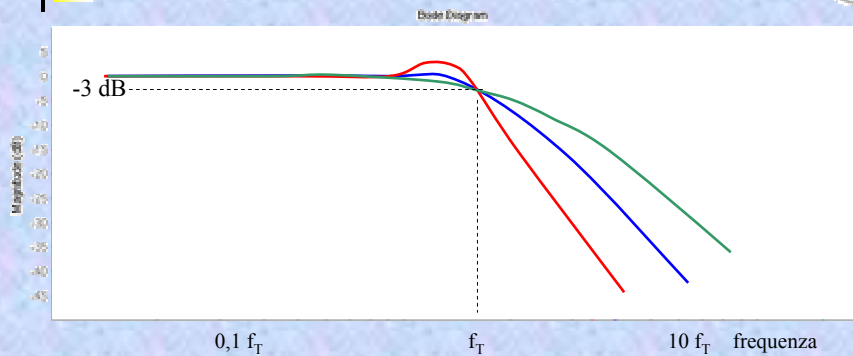


## Filtri passa basso



13

## Filtri passa basso



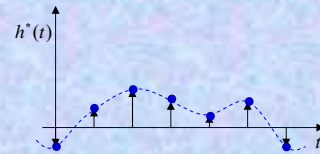
- **Butterworth**: non ha ripple in banda passante (massimamente piatto)
- **Bessel**: introduce un ritardo di fase lineare
- **Chebyshev** 0,1dB ripple: ripple in banda passante ma più ripida transizione alla banda attenuata

13

## Trasformata Z



- consideriamo il segnale  $h^*(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} h(t) \cdot \delta(t - nT)$



- Effettuando la trasformata di Laplace si avrà:

$$L[h^*(t)] = H^*(s) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} h(nT) e^{-snT}$$

- Ponendo  $z = e^{sT}$  si ottiene la trasformata Z, dove T è il periodo di campionamento:

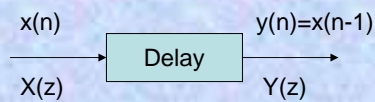
$$H^*(s) \Big|_{z=e^{sT}} = H(z) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} h(n) z^{-n}$$

13

## Relazione linee di ritardo e tr. Z



Nella realizzazione dei filtri digitali è importante l'elemento di ritardo:



Dalla definizione di trasformata Z si avrà  $Y(z) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} y(n) z^{-n} = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x(n-1) z^{-n}$

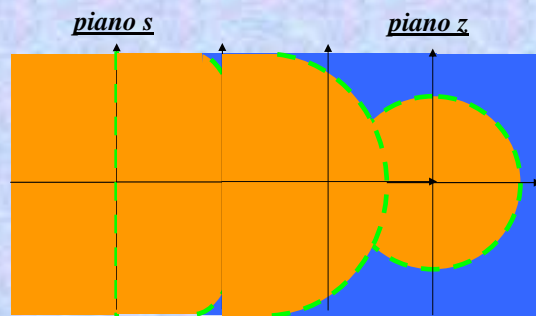
$$Y(z) = z^{-1} X(z)$$

14

## Trasformazione Bilineare



- Ogni funzione di trasferimento  $F(s)$  può essere trasformata in  $F(z)$
- Una delle possibili trasformazioni è quella Bilineare.
- Si tratta di una trasformazione (“mappatura”) del *piano complesso*  $s$  nel *piano complesso*  $z$  in modo tale che:



Trasformazione

$$s \rightarrow \frac{2}{T_c} \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}$$

- Sistemi *analogici* lineari che siano causali e stabili sono trasformati in sistemi lineari *digitali* causali e stabili

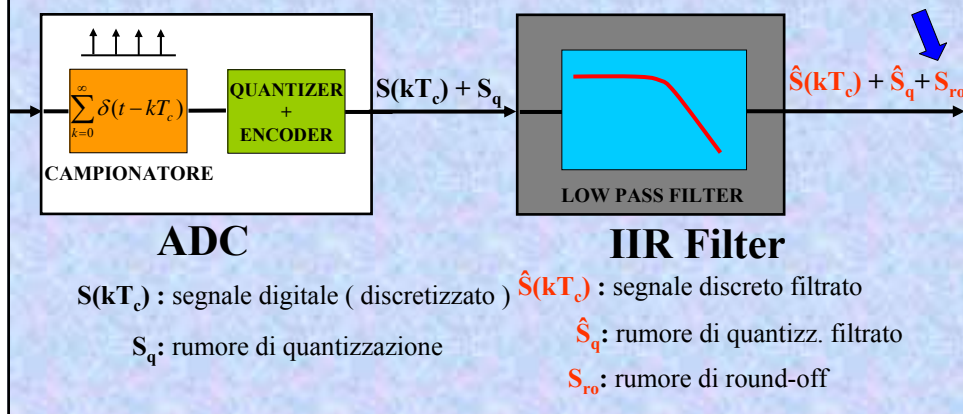
15

## Catena di trasmissione



In questo lavoro si sono sviluppati gli argomenti relativi a:

- **ADC:** Analog to Digital Converter
- **IIR:** Infinite Impulse Response Filter

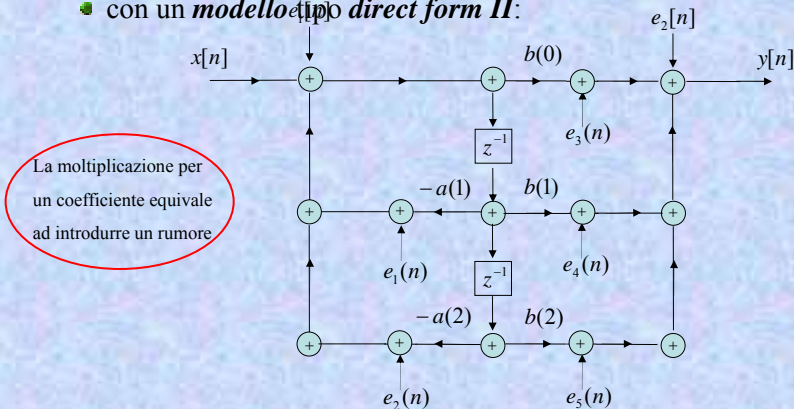


## Rumore di Arrotondamento



Funzione di Trasferimento Digitale:  $H(z) = \frac{b(0) + b(1) \cdot z^{-1} + b(2) \cdot z^{-2}}{1 + a(1) \cdot z^{-1} + a(2) \cdot z^{-2}}$

con un modello tipo **direct form II**:



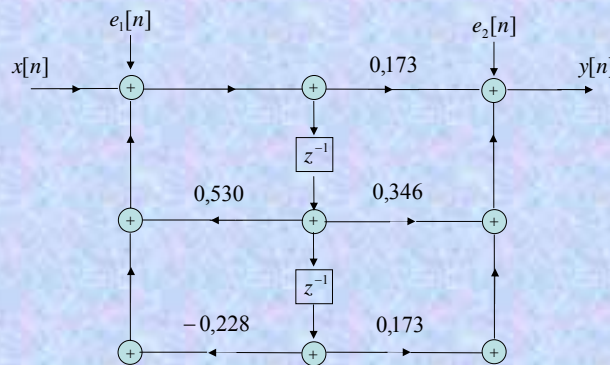
ogni sorgente di rumore rappresenta il round-off introdotto da una moltiplicazione

16

## Rumore di Arrotondamento



**Butterworth del II ordine con la direct form II**  $H(z) = \frac{0.173 + 0.346 \cdot z^{-1} + 0.173 \cdot z^{-2}}{1 - 0.530 \cdot z^{-1} + 0.228 \cdot z^{-2}}$



anche i coefficienti del filtro sono soggetti all'errore di arrotondamento

17

## Rumore di Arrotondamento



- rapporto segnale/rumore di quantizzazione  $SNR_{q_{ro}}$  dovuto al round-off in uscita dal filtro

$$SNR_{q_{ro}} = \frac{\text{potenza del segnale } A}{\text{potenza del rumore di round-off}} = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_f^2} \rightarrow \sigma_A^2 = \frac{S^2}{12}$$

$$\sigma_f^2 = 3,61 \cdot \sigma_e^2 = 3,61 \cdot \frac{S^2}{12 \cdot 2^{2N}}$$

$$SNR_{q_{ro}} = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_f^2} = \frac{1}{3,61} \cdot 2^{2N} \rightarrow SNR_{q_{ro\_dB}} = (-5,58 + 6N) \text{ dB}$$

- anche in questo caso l'SNR migliora aumentando il numero di bit

- con un quantizzatore a 10 bit  $SNR_{q_{ro\_dB}} = 54,42 \text{ dB}$
- con un quantizzatore a 20 bit  $SNR_{q_{ro\_dB}} = 114,42 \text{ dB}$

18

## Indice



- Introduzione
  - Acquisizione dati
  - Baseline Shift
  - Pulse Pile-Up
  - Ballistic Deficit
  - Noise
- Catena di trasmissione del segnale
  - ADC (Analog to Digital Converter)
  - I.I.R. (Infinite Impulse Response Filter)
- ADC
  - Campionatore
  - Quantizzatore ed Encoder
  - Errore di Quantizzazione → Rumore di Quantizzazione
- Riduzione del rumore con filtri I.I.R.
  - Trasformata Z
  - Trasformazione Bilineare → Rumore di Arrotondamento
- **Esempio: Butterworth II ordine e tabelle comparative**
- Possibili sviluppi

## Filtro IIR: Butterworth II ordine



Butterworth 2° ordine denorm  $H\left(\frac{s}{\omega}\right) = \frac{1.58 \cdot 10^{16}}{s^2 + 1.78 \cdot 10^8 s + 1.58 \cdot 10^{16}}$

↓  
Trasformazione  
Bilineare

Butterworth 2° ordine DGT  $H(z) = \frac{0.173 + 0.346 \cdot z^{-1} + 0.173 \cdot z^{-2}}{1 - 0.530 \cdot z^{-1} + 0.228 \cdot z^{-2}}$

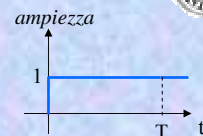
- Valutiamo i parametri caratteristici
  - per l'impulso unitario
  - per il gradino
- Ricaviamo il rapporto SNR per il gradino

19

## SNR per il gradino



- il gradino è un segnale ad energia infinita
- lo si può considerare come un segnale periodico dove il periodo coincide con il tempo di simulazione T
- la potenza del segnale su tale periodo è finita



$$P(x) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} |x(t)|^2 dt = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} |x(t)|^2 dt < \infty$$

- nota o calcolata la potenza di rumore, si può passare all'SNR

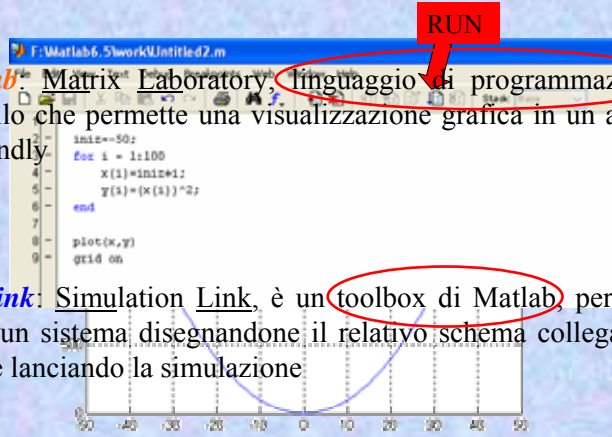
$$SNR = \frac{\text{potenza\_segnale}}{\text{potenza\_rumore}} \quad SNR_{dB} = 10 \cdot \log_{10} SNR$$

20

## Tools utilizzati



• **Matlab**: Matrix Laboratory, linguaggio di programmazione ad alto livello che permette una visualizzazione grafica in un ambiente user-friendly

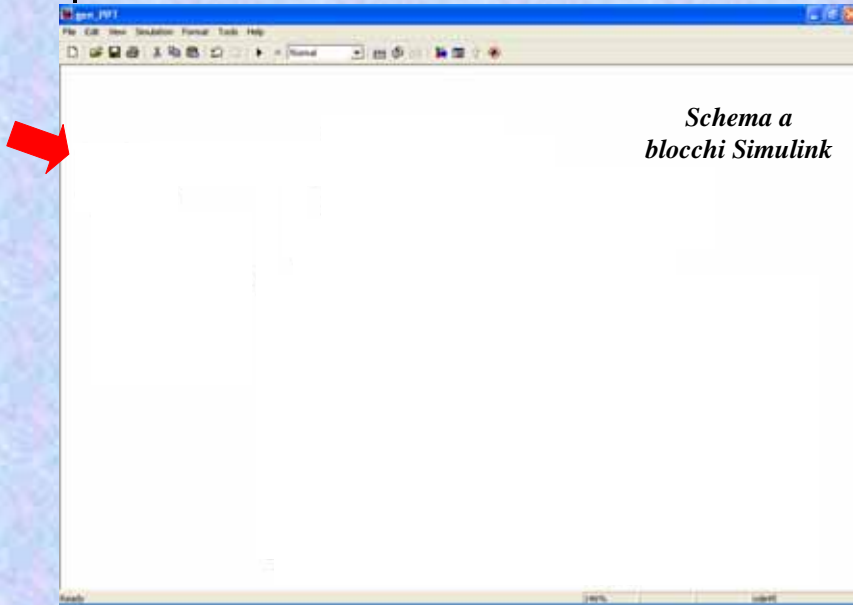


• **Simulink**: Simulation Link, è un toolbox di Matlab, permette di studiare un sistema disegnandone il relativo schema collegandone i blocchi e lanciando la simulazione

• L'analisi complessiva è stata condotta separatamente con entrambi i programmi ed i risultati si sono dimostrati coerenti

20

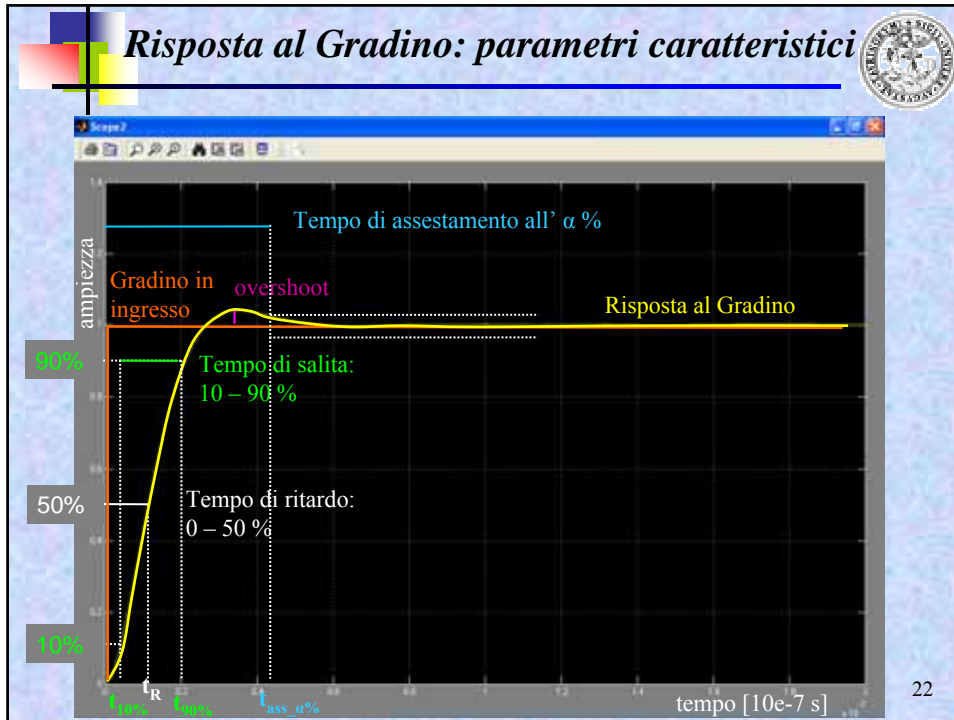
## Butterworth II: ingresso gradino



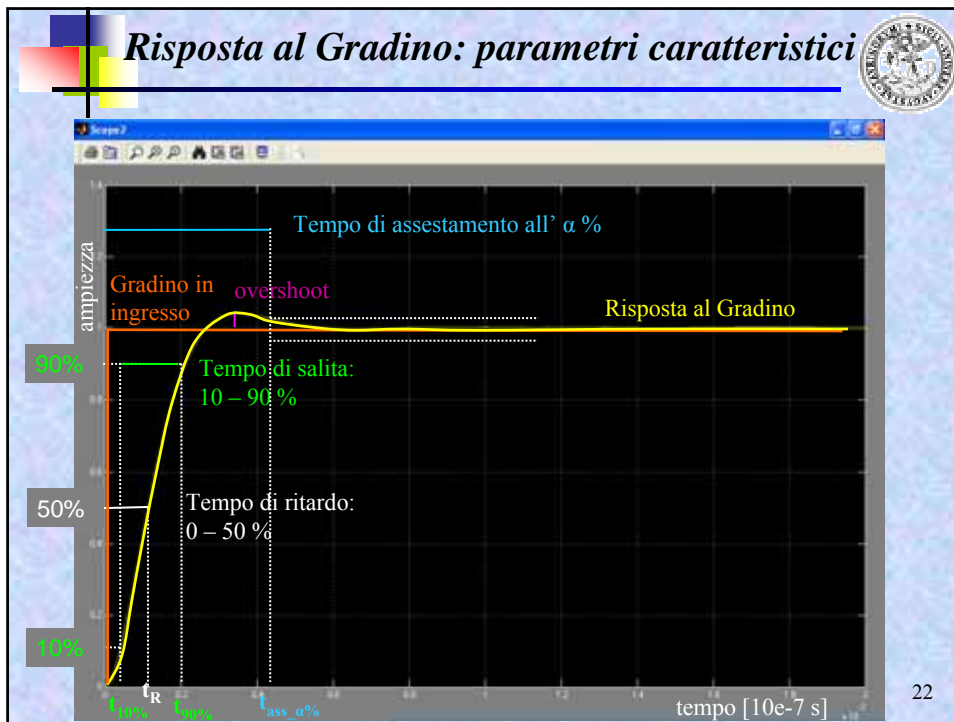
21



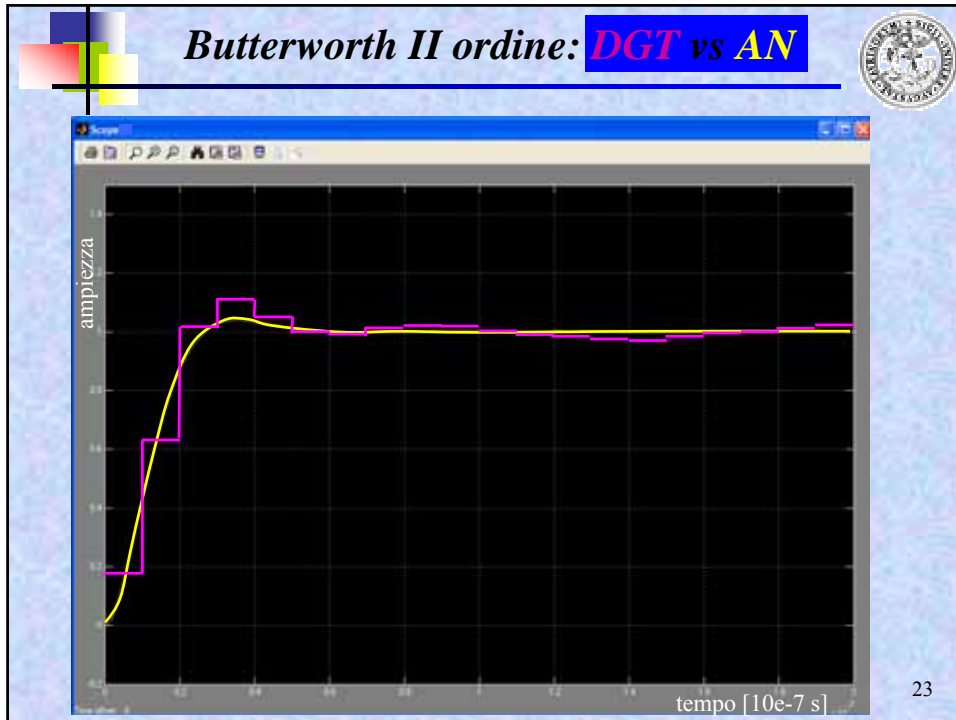
## Risposta al Gradino: parametri caratteristici



## Risposta al Gradino: parametri caratteristici

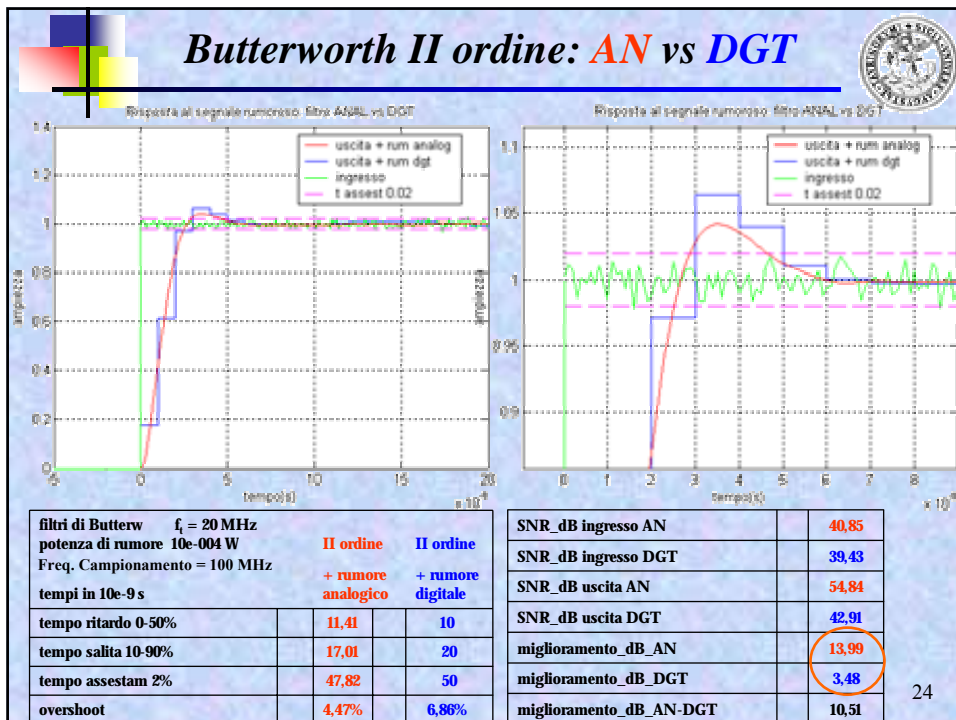


## Butterworth II ordine: **DGT vs AN**



23

## Butterworth II ordine: **AN vs DGT**



24

## Tabelle Comparative Analogiche 1



Butterw	tempo ns	II ordine	III ordine	IV ordine	V ordine
f = 20 MHz					
tempo ritardo 0-50%		11,40	16,98	22,45	27,82
tempo salita 10-90%		17,17	18,24	19,42	20,39
tempo assestam 2%		47,46	52,82	78,56	86,27
overshoot		4,30%	8,10%	10,82%	12,77%

Bessel	tempo ns	II ordine	III ordine	IV ordine	V ordine
f = 20 MHz					
tempo ritardo 0-50%		7,17	7,62	7,79	7,87
tempo salita 10-90%		12,60	9,91	8,38	7,22
tempo assestam 2%		19,98	16,34	14,82	13,57
overshoot		0,43%	0,75%	0,83%	0,77%

Cheby	tempo ns	II ordine	III ordine	IV ordine	V ordine
f = 20 MHz					
tempo ritardo 0-50%		6,09	13,60	21,55	29,87
tempo salita 10-90%		8,73	13,69	17,02	19,90
tempo assestam 2%		26,27	56,64	90,35	125,01
overshoot		6,70%	10,19%	14,50%	15,20%

25

## Tabelle Comparative Analogiche 2



II ordine	tempo ns	Bessel	Butterw	Cheby	III ordine	tempo ns	Bessel	Butterw	Cheby
f = 20 MHz					f = 20 MHz				
tempo ritardo 0-50%		7,17	11,4	6,09	tempo ritardo 0-50%		7,62	16,99	13,60
tempo salita 10-90%		12,6	17,17	8,73	tempo salita 10-90%		9,91	18,24	13,69
tempo assestam 2%		19,98	47,46	26,27	tempo assestam 2%		16,34	52,82	56,64
overshoot		0,43%	4,30%	6,70%	overshoot		0,75%	8,10%	10,19%

IV ordine	tempo ns	Bessel	Butterw	Cheby	V ordine	tempo ns	Bessel	Butterw	Cheby
f = 20 MHz					f = 20 MHz				
tempo ritardo 0-50%		7,79	22,45	21,55	tempo ritardo 0-50%		7,87	27,82	29,87
tempo salita 10-90%		8,38	19,42	17,02	tempo salita 10-90%		7,22	20,39	19,90
tempo assestam 2%		14,82	78,56	90,35	tempo assestam 2%		13,57	86,27	125,01
overshoot		0,83%	10,82%	14,50%	overshoot		0,77%	12,77%	15,20%

26

## Tabelle Comparative DGT 1



Butterw	tempo ns	II ordine	III ordine	IV ordine	V ordine
f = 20 MHz					
tempo ritardo 0-50%		10	20	20	30
tempo salita 10-90%		30	20	20	30
tempo assestam 2%		50	80	90	120
overshoot		7,41%	11,45%	13,85%	16,92%

Bessel	tempo ns	II ordine	III ordine	IV ordine	V ordine
f = 20 MHz					
tempo ritardo 0-50%		10	10	10	10
tempo salita 10-90%		20	20	20	20
tempo assestam 2%		30	50	60	70
overshoot		6,60%	12,02%	14,95%	16,63%

Cheby	tempo ns	II ordine	III ordine	IV ordine	V ordine
f = 20 MHz					
tempo ritardo 0-50%		10	10	20	30
tempo salita 10-90%		10	30	30	30
tempo assestam 2%		50	90	130	170
overshoot		14,45%	15,85%	18,76%	18,46%

27

## Tabelle Comparative DGT 2



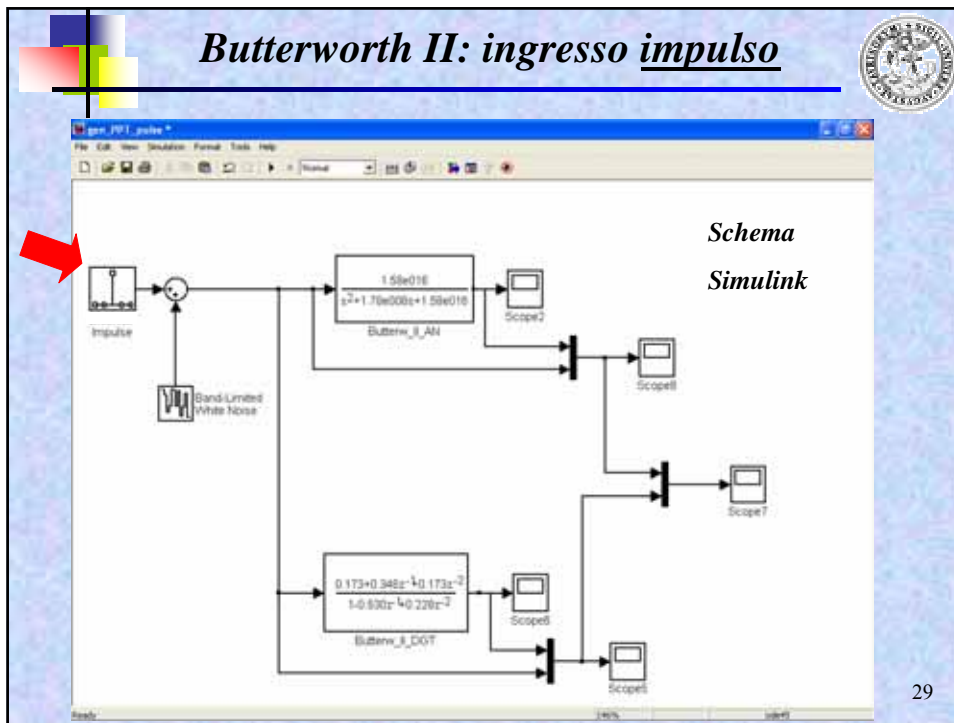
II ordine	tempo ns	Bessel	Butterw	Cheby	III ordine	tempo ns	Bessel	Butterw	Cheby
f = 20 MHz					f = 20 MHz				
tempo ritardo 0-50%		10	10	10	tempo ritardo 0-50%		10	20	10
tempo salita 10-90%		20	30	10	tempo salita 10-90%		20	20	30
tempo assestam 2%		30	50	50	tempo assestam 2%		50	80	90
overshoot		6,60%	7,41%	14,45%	overshoot		12,02%	11,45%	15,85%

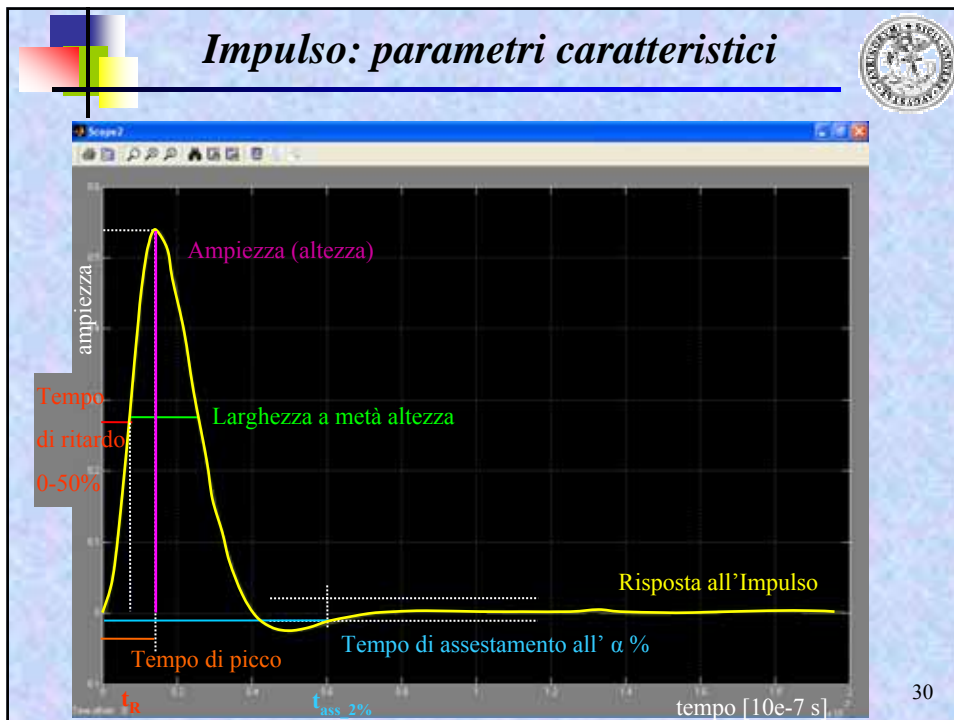
IV ordine	tempo ns	Bessel	Butterw	Cheby	V ordine	tempo ns	Bessel	Butterw	Cheby
f = 20 MHz					f = 20 MHz				
tempo ritardo 0-50%		10	20	20	tempo ritardo 0-50%		10	30	30
tempo salita 10-90%		20	20	30	tempo salita 10-90%		20	30	30
tempo assestam 2%		60	90	130	tempo assestam 2%		70	120	170
overshoot		14,88%	13,85%	18,76%	overshoot		16,53%	16,92%	18,46%

28

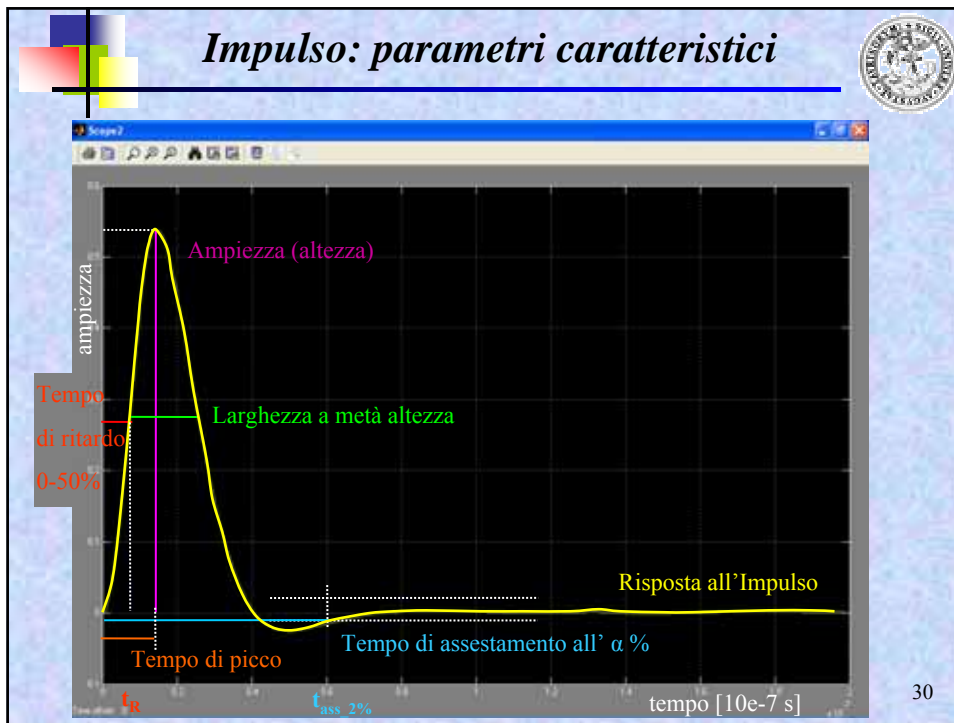
## Butterworth II: ingresso impulso



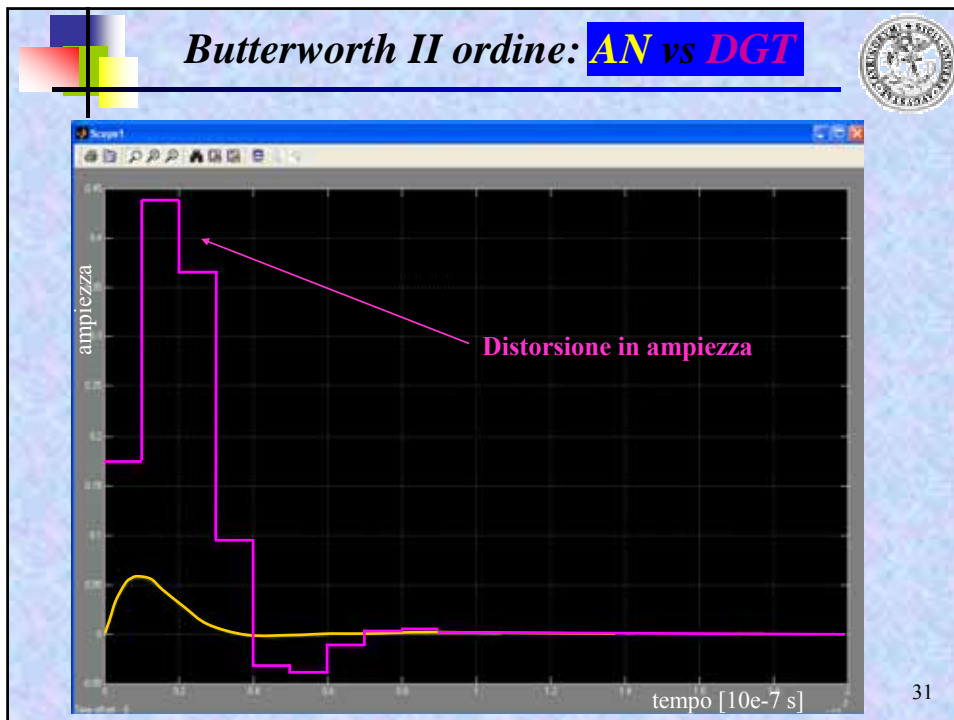
## Impulso: parametri caratteristici



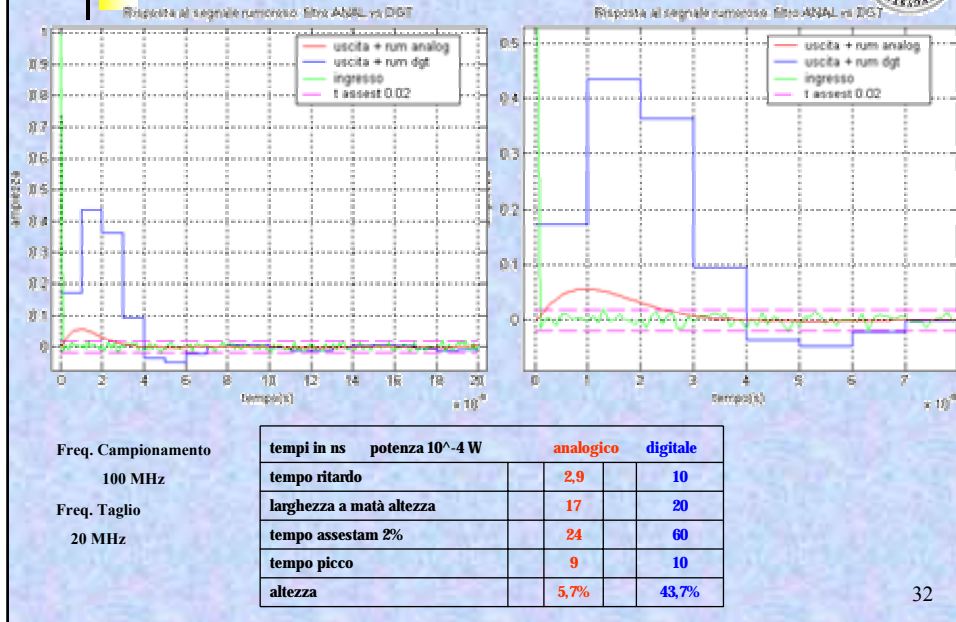
## Impulso: parametri caratteristici



## Butterworth II ordine: AN vs DGT



## Butterworth II ordine: AN vs DGT



## Tabelle Comparative Analogiche 1



Butterw	tempo ns	II ordine	III ordine	IV ordine	V ordine
ritardo		2,9	8,0	12,0	17,0
larghezza		17	20	23	25
tempo assestam 2%		24	31	36	44
tempo picco		9	17	23	31
altezza		5,7%	5,1%	4,8%	4,6%

Bessel	tempo ns	II ordine	III ordine	IV ordine	V ordine
ritardo		1,6	3,1	4,0	4,7
larghezza		10,3	12,5	8,3	6,5
tempo assestam 2%		16,7	16,1	15,3	14,5
tempo picco		6	8	9	9
altezza		8,8%	10,2%	11,9%	13,6%

Cheby	tempo ns	II ordine	III ordine	IV ordine	V ordine
ritardo		1,8	6,5	13,0	21,0
larghezza		9,9	16,5	22,5	24
tempo assestam 2%		15	26	36	45,5
tempo picco		6	14	23	33
altezza		10,8%	6,7%	5,5%	4,8%

## Tabelle Comparative Analogiche 2



II ordine	tempo ns	Bessel	Butterw	Cheby	III ordine	tempo ns	Bessel	Butterw	Cheby
f = 20 MHz					f = 20 MHz				
tempo ritardo 0-50%		1,6	2,9	1,8	tempo ritardo 0-50%		3,1	8,0	6,5
larghezza		10,3	17	9,9	larghezza		12,5	20	16,5
tempo assestam 2%		16,7	24	15	tempo assestam 2%		16,1	31	26
tempo picco		6	9	6	tempo picco		8	17	14
Altezza		8,8%	5,7%	10,8%	altezza		10,2%	5,1%	6,7%

IV ordine	tempo ns	Bessel	Butterw	Cheby	V ordine	tempo ns	Bessel	Butterw	Cheby
f = 20 MHz					f = 20 MHz				
tempo ritardo 0-50%		4,0	12,0	13,0	tempo ritardo 0-50%		4,7	17,0	21,0
larghezza		8,3	23	22,5	larghezza		6,5	25	24
tempo assestam 2%		15,3	36	36	tempo assestam 2%		14,5	44	45,5
Tempo picco		9	23	23	tempo picco		9	31	33
altezza		11,9%	4,8%	5,5%	altezza		13,6%	4,6%	4,8%

34

## Tabelle Comparative DGT 1



Butterw	tempo ns	II ordine	III ordine	IV ordine	V ordine
ritardo		10	10	20	20
larghezza		20	30	30	30
tempo assestam 2%		60	70	100	110
tempo picco		10	20	30	30
altezza		43,7%	42,5%	38,7%	37,8%

Bessel	tempo ns	II ordine	III ordine	IV ordine	V ordine
ritardo		0	10	10	10
larghezza		20	10	10	20
tempo assestam 2%		40	60	70	100
tempo picco		10	10	10	10
altezza		55,6%	59,0%	60,7%	61,7%

Cheby	tempo ns	II ordine	III ordine	IV ordine	V ordine
ritardo		0	10	20	20
larghezza		20	20	20	30
tempo assestam 2%		60	100	140	190
tempo picco		10	20	30	40
altezza		63,3%	48,3%	41,5%	36,6%

35



## Tabelle Comparative DGT 2



II ordine	tempo ns	Bessel	Butterw	Cheby	III ordine	tempo ns	Bessel	Butterw	Cheby
f = 20 MHz					f = 20 MHz				
tempo ritardo 0-50%		0	10	0	tempo ritardo 0-50%		10	10	10
larghezza		20	20	20	larghezza		10	30	20
tempo assestam 2%		40	60	60	tempo assestam 2%		60	70	100
tempo picco		10	10	10	tempo picco		10	20	20
altezza		55,6%	43,7%	63,3%	altezza		59,0%	42,5%	48,3%

IV ordine	tempo ns	Bessel	Butterw	Cheby	V ordine	tempo ns	Bessel	Butterw	Cheby
f = 20 MHz					f = 20 MHz				
tempo ritardo 0-50%		10	20	20	tempo ritardo 0-50%		10	20	20
larghezza		10	30	20	larghezza		20	30	30
tempo assestam 2%		70	100	140	tempo assestam 2%		100	110	190
tempo picco		10	30	30	tempo picco		10	30	40
altezza		60,7%	38,7%	41,5%	altezza		61,7%	37,8%	36,6%

36

## Tabelle gradino rumore 1



Bessel	II ordine	III ordine	IV ordine	V ordine
SNR_dB ingresso AN	40,85	40,85	40,85	40,85
SNR_dB ingresso DGT	39,43	39,43	39,43	39,43
SNR_dB uscita AN	53,51	52,99	52,45	51,92
SNR_dB uscita DGT	42,30	41,87	41,55	41,31
miglioramento_dB_AN	12,66	12,14	11,60	11,07
miglioramento_dB_DGT	2,87	2,44	2,12	1,88
miglioramento_dB_AN-DGT	9,79	9,70	9,48	9,19
Butterw	II ordine	III ordine	IV ordine	V ordine
SNR_dB ingresso AN	40,85	40,85	40,85	40,85
SNR_dB ingresso DGT	39,43	39,43	39,43	39,43
SNR_dB uscita AN	54,84	54,92	54,77	54,70
SNR_dB uscita DGT	42,91	42,74	42,69	42,88
miglioramento_dB_AN	13,99	14,07	13,92	13,85
miglioramento_dB_DGT	3,48	3,31	3,26	3,45
miglioramento_dB_AN-DGT	10,51	10,76	10,66	10,40

37

## Tabelle gradino rumore 1



Cheby	II ordine	III ordine	IV ordine	V ordine
SNR_dB ingresso AN	40,85	40,85	40,85	40,85
SNR_dB ingresso DGT	39,43	39,43	39,43	39,43
SNR_dB uscita AN	52,35	54,12	54,16	54,25
SNR_dB uscita DGT	41,41	41,82	41,79	42,23
miglioramento_dB_AN	11,50	13,27	13,31	13,40
miglioramento_dB_DGT	1,98	2,39	2,36	2,80
miglioramento_dB_AN-DGT	9,52	10,88	10,95	10,60

38

## Tabelle gradino rumore 2



II ordine	Bessel	Butterw	Cheby	IV ordine	Bessel	Butterw	Cheby
SNR_dB ingresso AN	40,85	40,85	40,85	SNR_dB ingresso AN	40,85	40,85	40,85
SNR_dB ingresso DGT	39,43	39,43	39,43	SNR_dB ingresso DGT	39,43	39,43	39,43
SNR_dB uscita AN	53,51	54,84	52,35	SNR_dB uscita AN	52,45	54,77	54,16
SNR_dB uscita DGT	42,30	42,91	41,41	SNR_dB uscita DGT	41,55	42,69	41,79
miglioramento_dB_AN	12,66	13,99	11,50	miglioramento_dB_AN	11,60	13,92	13,31
miglioramento_dB_DGT	2,87	3,48	1,98	miglioramento_dB_DGT	2,12	3,26	2,36
miglioramento_dB_AN-DGT	9,79	10,51	9,52	miglioramento_dB_AN-DGT	9,48	10,66	10,95

III ordine	Bessel	Butterw	Cheby	V ordine	Bessel	Butterw	Cheby
SNR_dB ingresso AN	40,85	40,85	40,85	SNR_dB ingresso AN	40,85	40,85	40,85
SNR_dB ingresso DGT	39,43	39,43	39,43	SNR_dB ingresso DGT	39,43	39,43	39,43
SNR_dB uscita AN	52,99	54,92	54,12	SNR_dB uscita AN	51,92	54,70	54,25
SNR_dB uscita DGT	41,87	42,74	41,82	SNR_dB uscita DGT	41,31	42,88	42,23
miglioramento_dB_AN	12,14	14,07	13,27	miglioramento_dB_AN	11,07	13,85	13,40
miglioramento_dB_DGT	2,44	3,31	2,39	miglioramento_dB_DGT	1,88	3,45	2,80
miglioramento_dB_AN-DGT	9,70	10,76	10,88	miglioramento_dB_AN-DGT	9,19	10,40	10,60

39

## Conclusioni



- Non esiste un filtro standard migliore di tutti
- Scegliamo il filtro in funzione delle misure che dobbiamo effettuare
  - per misure di tempo → Filtro di Chebyshev II ordine
  - per misure di ampiezza → Filtro di Bessel II ordine
  - per riduzione rumore → Filtro di Butterworth II ordine
- Ordine basso → più semplici da costruire gli analogici  
→ tempi di elaborazione inferiori per i digitali

40

## Indice



- Introduzione
  - Acquisizione dati
  - Baseline Shift
  - Pulse Pile-Up
  - Ballistic Deficit
  - Noise
- Catena di trasmissione del segnale
  - ADC (Analog to Digital Converter)
  - I.I.R. (Infinite Impulse Response Filter)
- ADC
  - Campionatore
  - Quantizzatore ed Encoder
  - Errore di Quantizzazione → Rumore di Quantizzazione
- Riduzione del rumore con filtri I.I.R.
  - Trasformata Z
  - Trasformazione Bilineare → Rumore di Arrotondamento
- Esempio: Butterworth II ordine e tabelle comparative
- **Possibili sviluppi**

## Possibili sviluppi



- I sopraelencati filtri hanno parametri costanti, indipendenti dalla natura del processo.
- **Filtri Ottimi**: i parametri del filtro vengono calcolati supponendo il processo stazionario (= indep. dal tempo).
- **Filtri Adattativi**: per processi non stazionari i parametri del filtro vengono ricalcolati (adattati) dinamicamente e continuamente nel tempo secondo algoritmi dedicati.

41

Università degli Studi di Torino

Facoltà di Scienze M.F.N.  
Corso di Laurea in Fisica

Tesi di Laurea

***Filtraggio Digitale di Segnali Generati  
da Rivelatori di Particelle Nucleari***

Relatore:  
prof. Antonino GRASSO

Candidato:  
Diego ALBERTO

Aprile 2007