

Misura di campi magnetici a bassa frequenza con forma d'onda semi-rettangolare

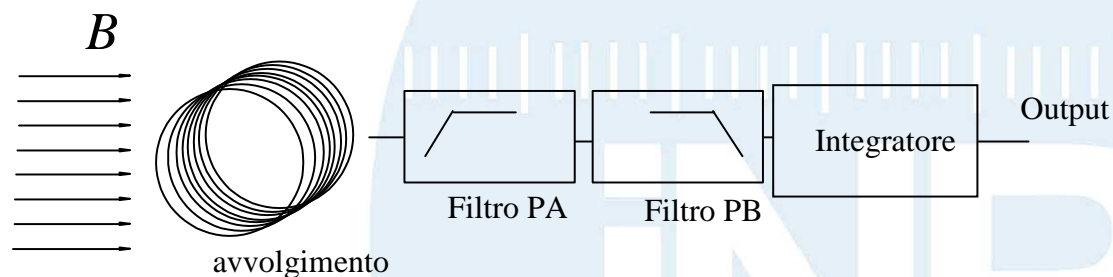
D. Giordano, G. Crotti

Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM), Torino
d.giodano@inrim.it

MISURATORI DI INDUZIONE MAGNETICA A BASSA FREQUENZA

- Misuratori a induzione costituiti da tre avvolgimenti disposti a 90° l'uno rispetto all'altro.
- Banda di frequenza tipica: da pochi hertz a centinaia di kilohertz
- Il segnale di tensione indotto viene integrato per ottenere un'informazione proporzionale all'induzione

Schema di principio di un misuratore ad induzione uniassiale



Alcuni misuratori, a differenza di altri, forniscono gli andamenti temporali dei tre segnali integrati

COME VERIFICARE LA CONFORMITA' AI LIVELLI DI RIFERIMENTO

Scopo delle misure ambientali è la verifica dell'esposizione umana a limiti che garantiscono l'assenza di effetti acuti.

In prima istanza le norme permettono una stima dell'indice di esposizione confrontando le grandezze di campo ambientali con opportuni limiti detti livelli di riferimento.

Se l'andamento di induzione è sinusoidale è possibile una immediata verifica della conformità ai livelli di riferimento mediante il valore efficace o di picco registrato e il limite alla data frequenza definito dalla norma.

Per forme d'onda distorte prodotte da sorgenti coerenti la norma suggerisce di pesare la forma d'onda acquisita mediante una opportuna funzione filtrante del primo ordine.

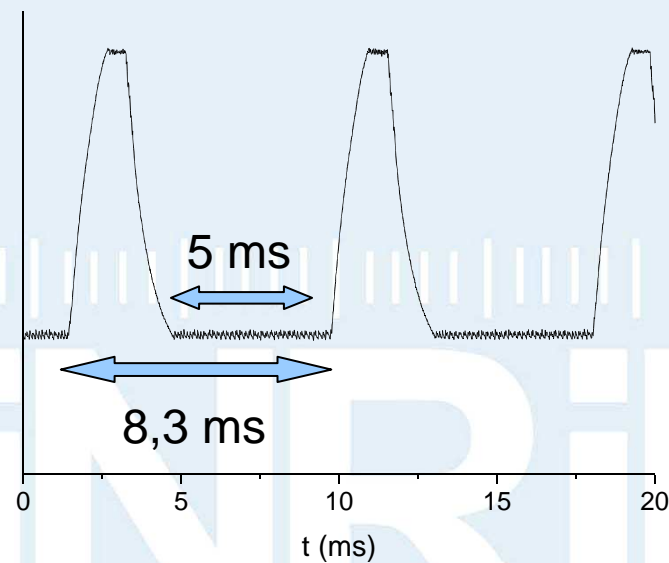
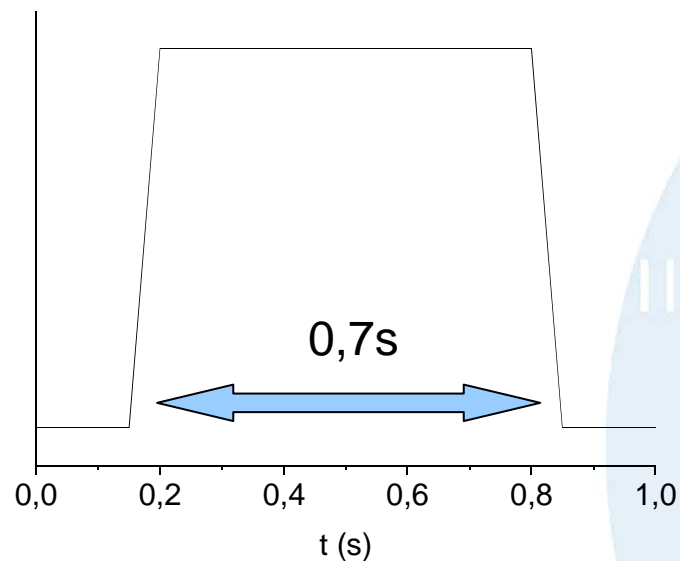
- Introduzione ai misuratori di campo magnetico per bassa frequenza.
- Criticità riscontrate nel rilevamento di forme d'onda particolari e conseguenti problematiche nella valutazione dell'indice di esposizione.
- Descrizione di modelli con complessità crescente volti a spiegare il fenomeno riscontrato.
- Algoritmi suggeriti per il superamento delle criticità riscontrate.

Forme d'onda quasi rettangolari

Dove si possono riscontrare:

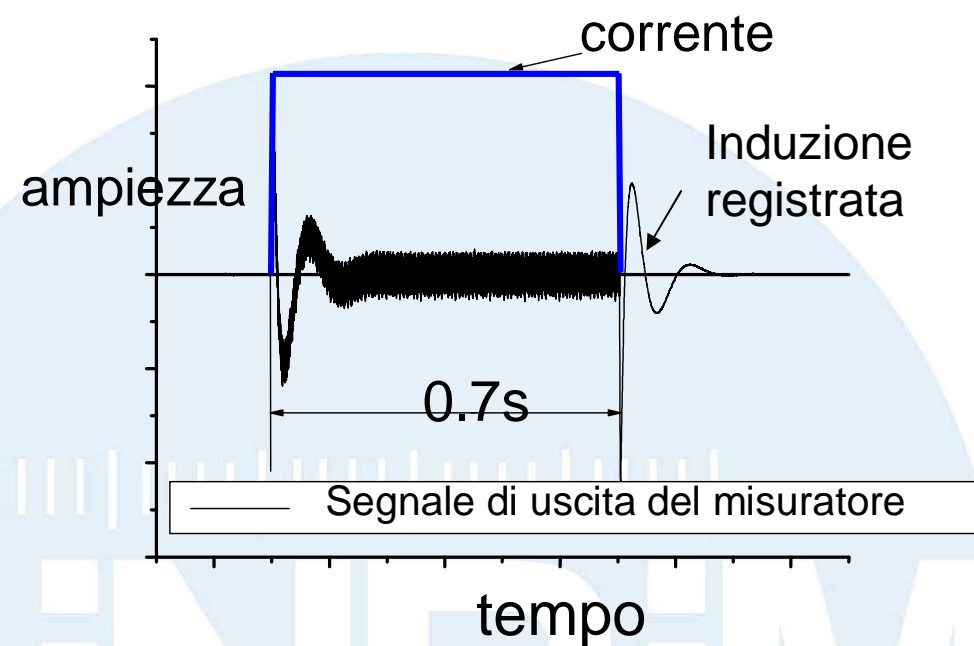
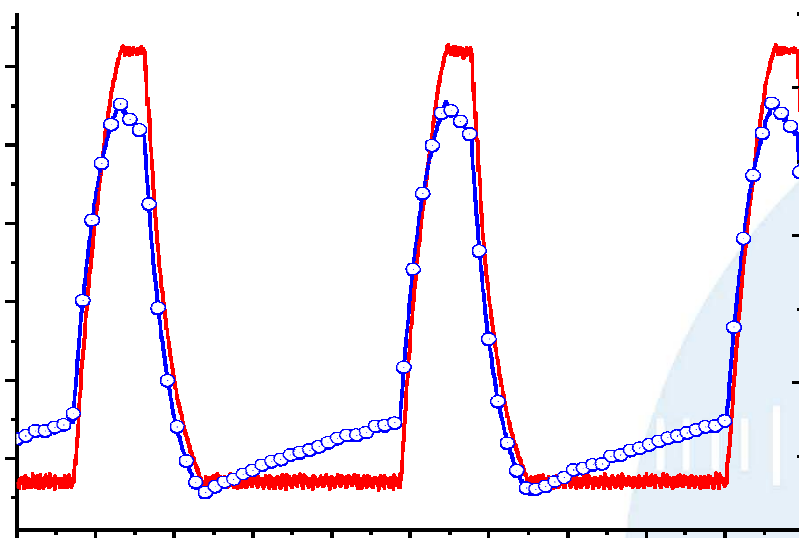
- Saldatrici a resistenza
- dispositivi MRI di diagnostica

In prossimità di cavi alimentanti dispositivi di saldatura



Distorsioni introdotte dal misuratore

— corrente
—○ induzione magnetica misurata

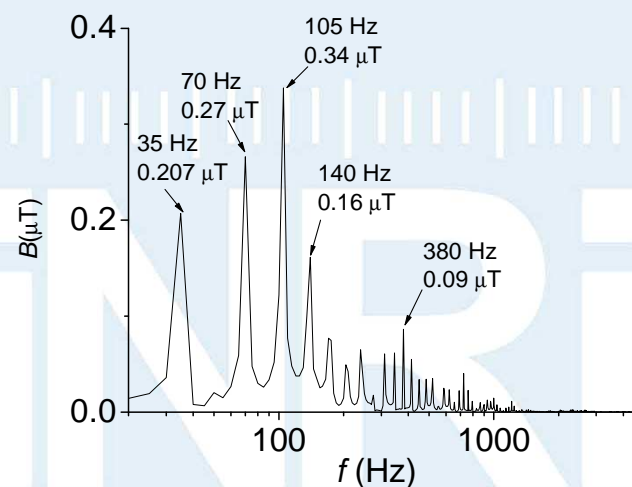
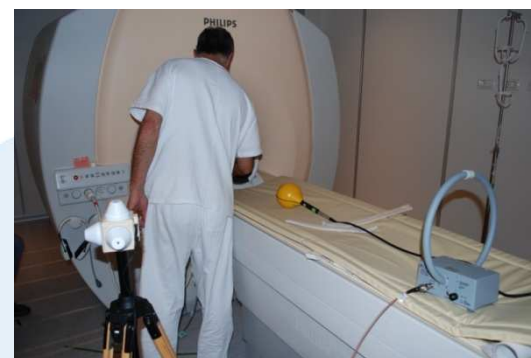
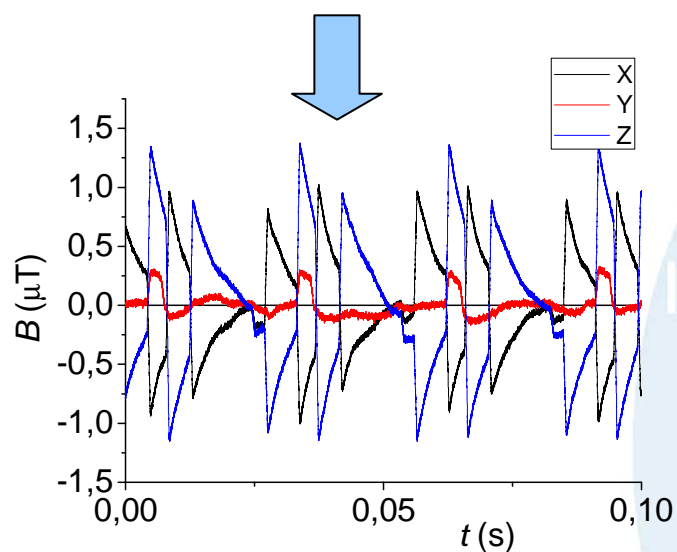


**il campo magnetico misurato differire in modo significativo
dall'andamento di corrente**

INDUZIONE IN PROSSIMITA' DI MRI (MAGNETIC RESONANCE IMAGING)

In questa circostanza non è possibile
rilevare l'andamento di corrente

E' CORRETTA QUESTA FORMA
D'ONDA?

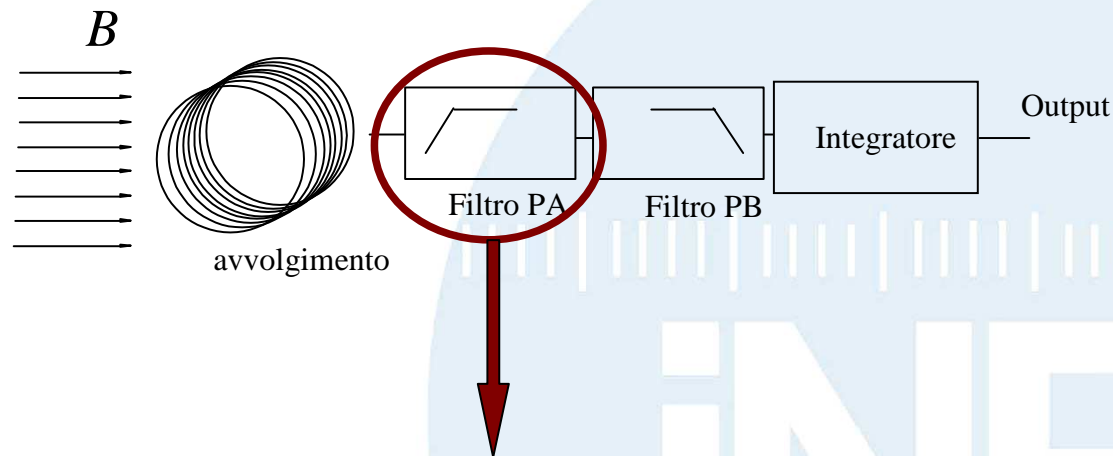


Modello fisico del filtro passa-alto (FPA)

La riproduzione incorretta della forma d'onda può essere attribuita alla presenza del filtro passa alto (PA) nella catena di trattamento del segnale.

Frequenza di taglio filtro PA: da 1 Hz a 30 Hz

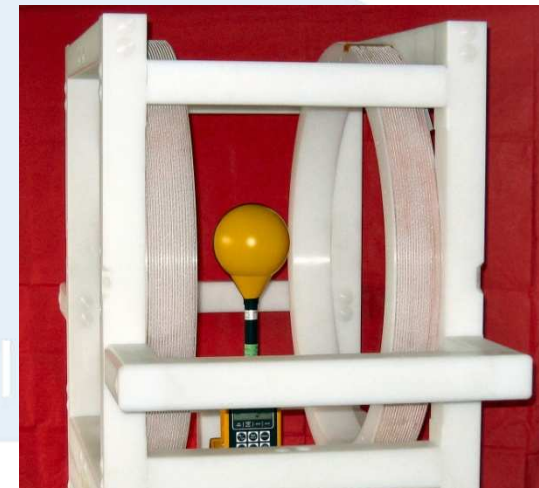
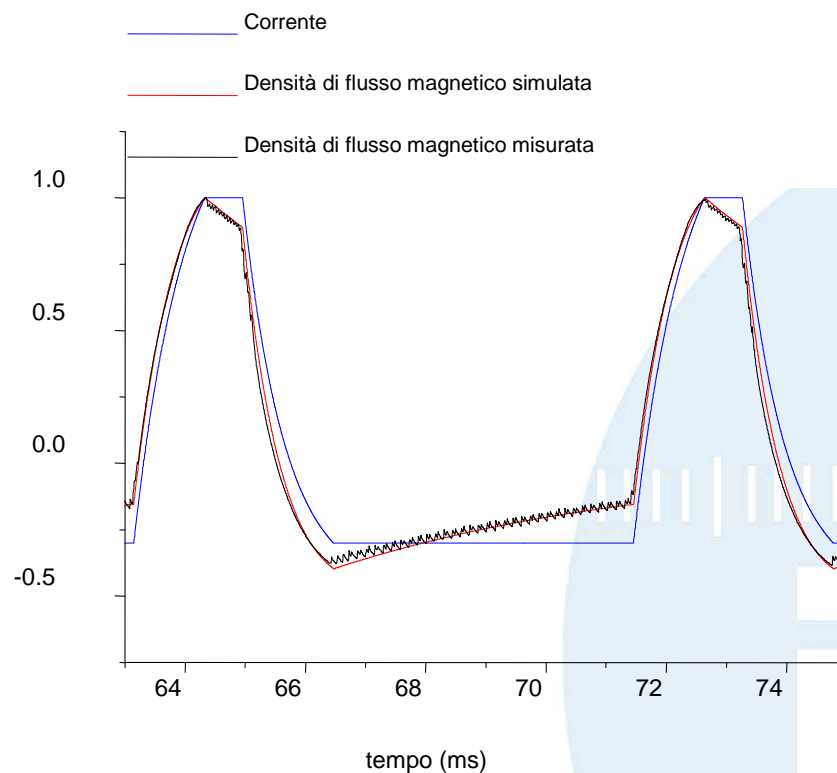
Frequenza di taglio filtro PB 400 kHz.



Simulato con filtro del primo ordine $\tau=6.5$ ms

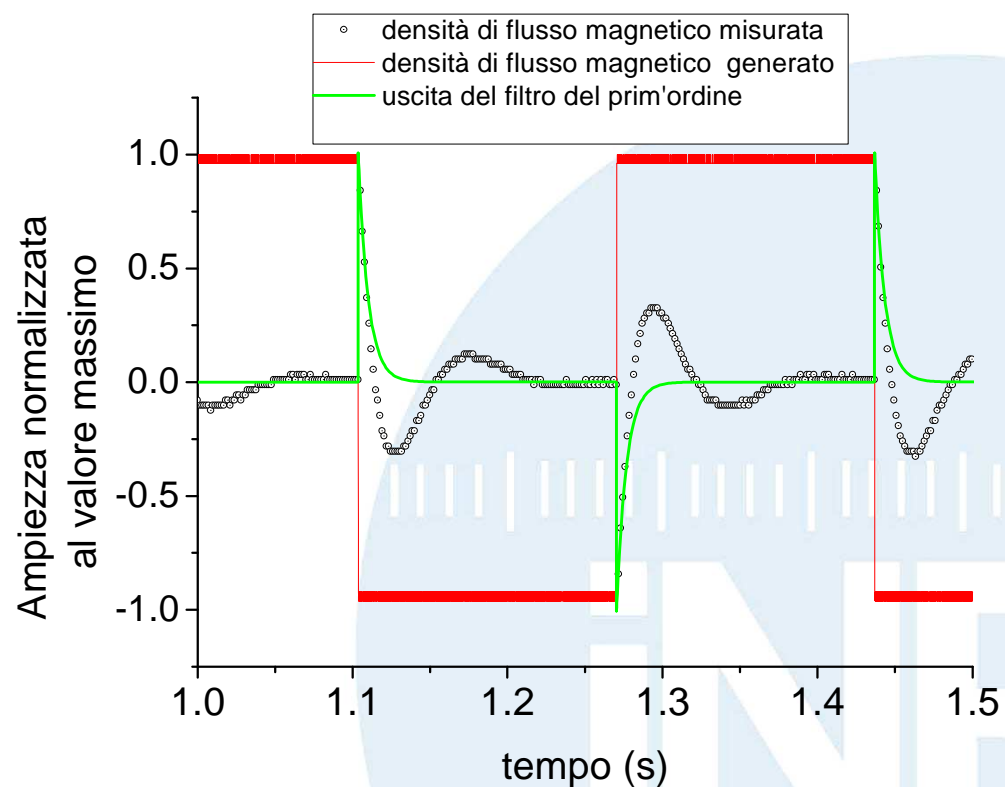
Validazione in laboratorio

Induzione simulata e andamento generato dalle bobine di Helmholtz alimentate da una corrente semi-rettangolare (valori normalizzati al picco).



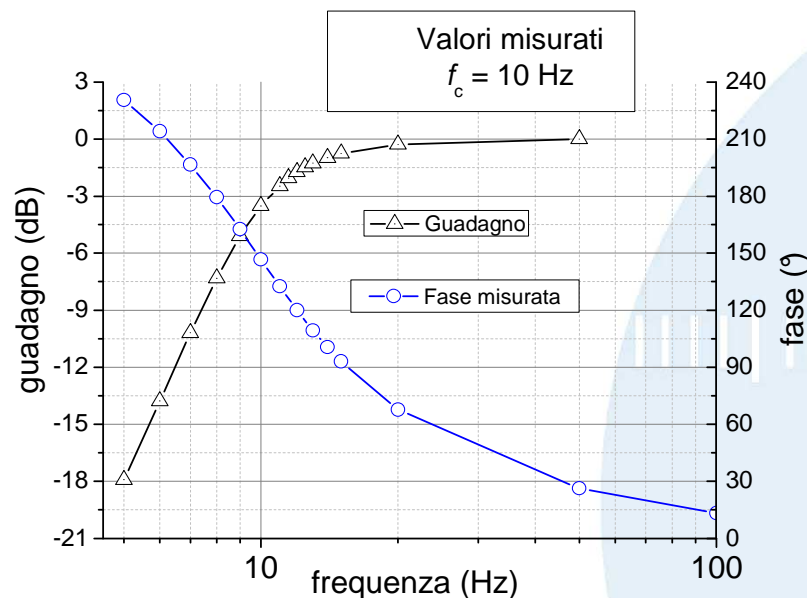
Limiti del filtro del primo ordine

Con una corrente ad onda quadra avente tratto a corrente costante più lungo della costante di tempo del filtro PA



Determinazione della risposta in frequenza del misuratore

Al fine di implementare un modello circuitale del filtro FPA si effettua un'analisi della risposta dello strumento in frequenza nella gamma 5 Hz- 100 Hz.



Si impiega il sistema di generazione a bobine di Helmholtz utilizzato nella fase precedente

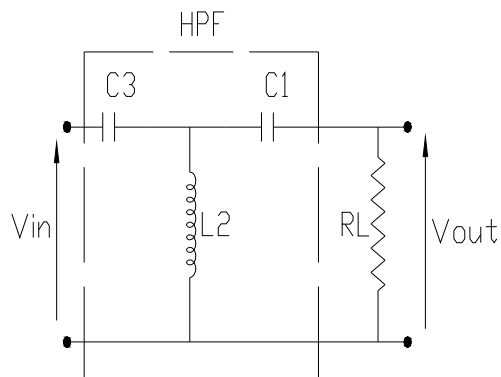
Poiché l'effetto derivativo dell'avvolgimento viene compensato dall'integratore e il FPB agisce a frequenze più elevate la funzione di trasferimento ottenuta è quella del filtro FPA

Definizione del modello del filtro

La costanza dell'ampiezza della funzione di trasferimento a partire dal centinaio di hertz porta ad escludere l'impiego di un filtro Cauer o Chebyshev

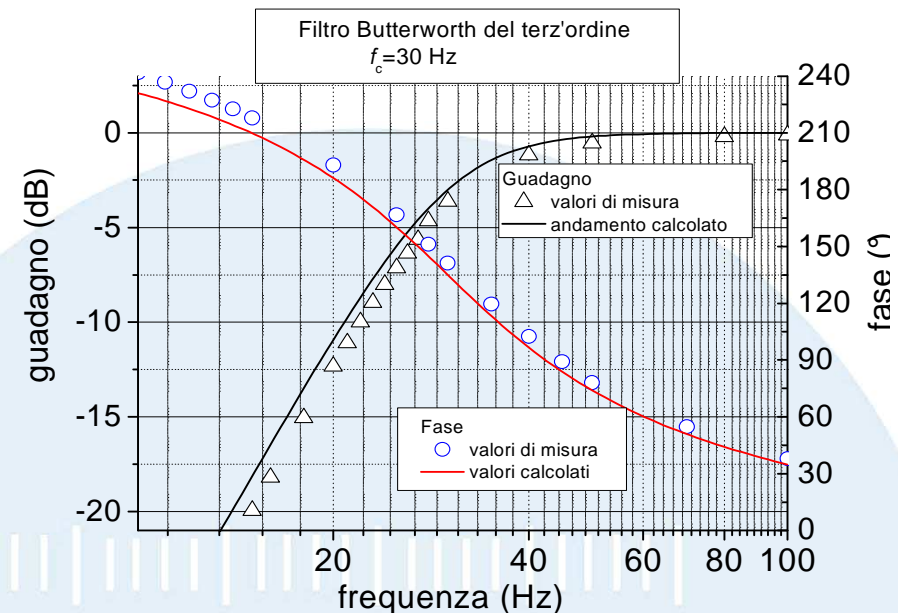
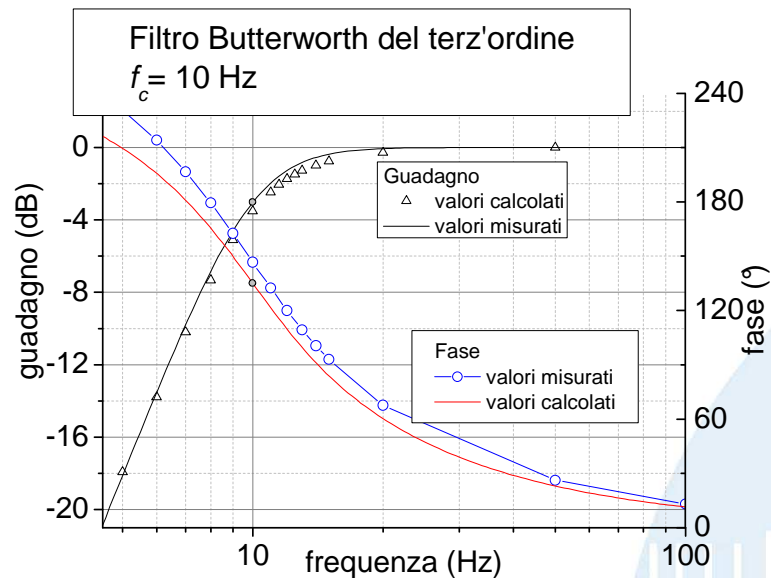
La variazione totale della fase di 270° presuppone un filtro del terzo ordine

Filtro buttherworth normalizzato



f_c	C1	L2	C3
10 Hz	32 mF	12 mH	10.6 mF
30 Hz	10.6 mF	3.98 mH	3.54 mF

Confronto tra la risposta in frequenza calcolata e misurata



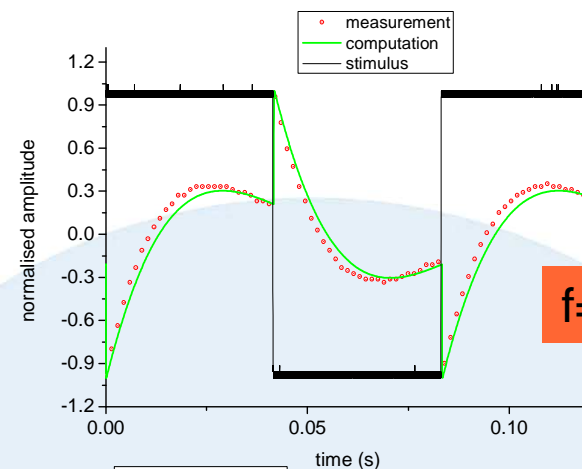
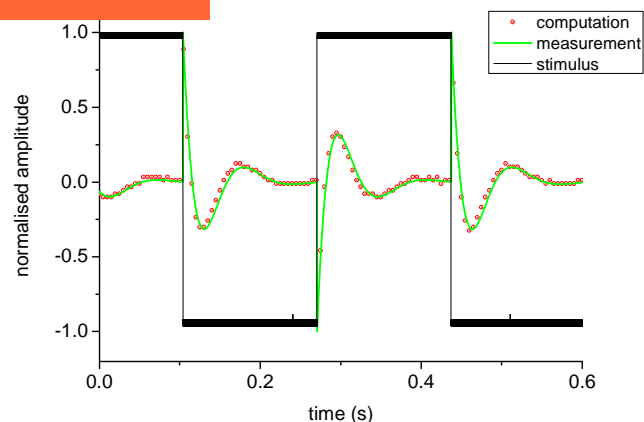
Andamenti misurati e calcolati in accordo anche se vi sono piccole discrepanze nella frequenza di taglio. Scostamenti maggiori a frequenze basse.

I parametri del filtro possono differire da quelli effettivi

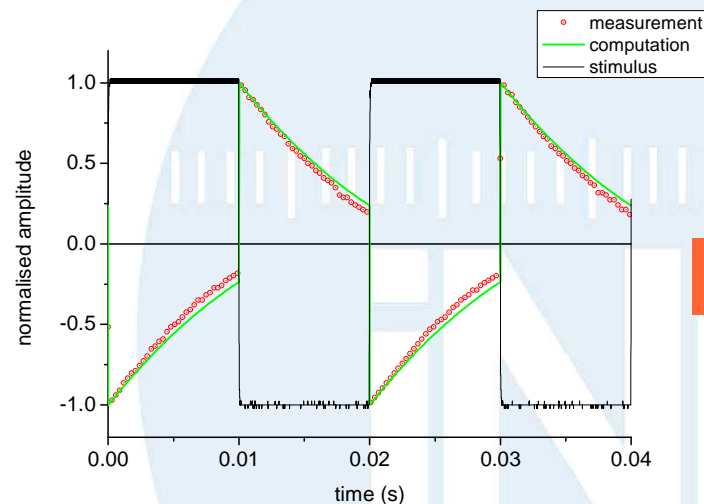
Verifica dell'efficacia del filtro (1)

Confronto tra la tensione fornita in uscita dal misuratore e quella stimata col modello in presenza di una induzione quasi rettangolare

f=3 Hz

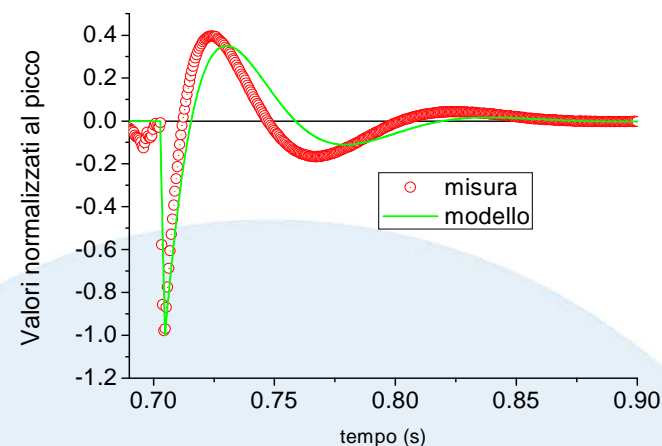
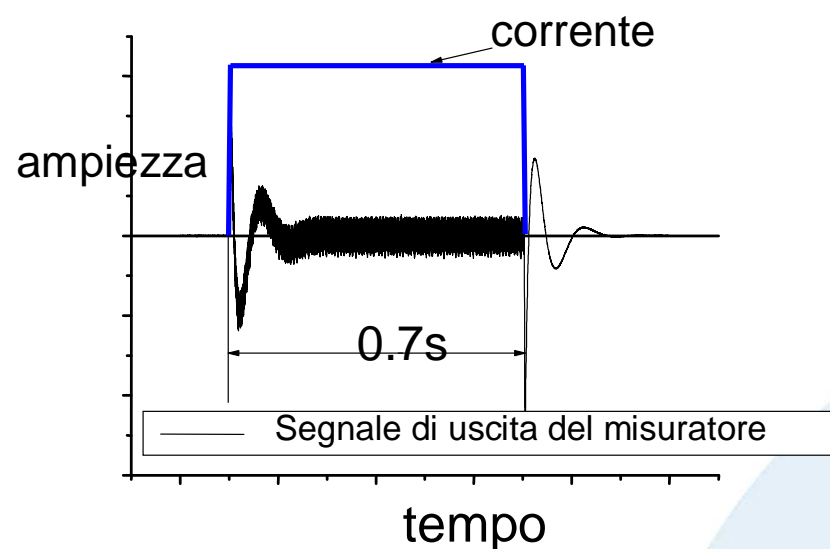


f= 12 Hz



f=50 Hz

Verifica dell'efficacia del filtro (2)



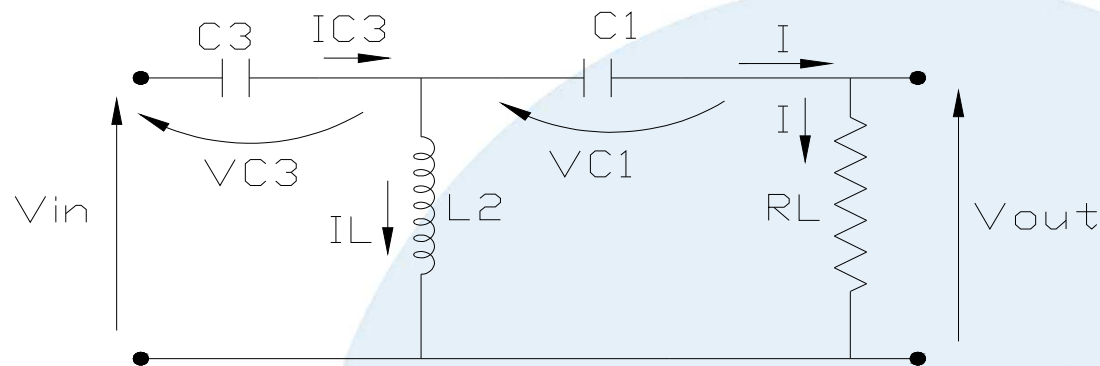
Le discrepanze tra calcolo e misura sottolineano una diversa frequenza di oscillazione.

Questo può essere spiegato ipotizzando una non linearità dell'elemento induttivo provocata dall'elevato valore di induzione riscontrato durante la prova in prossimità della stazione saldante.

Procedura di ricostruzione del segnale applicato

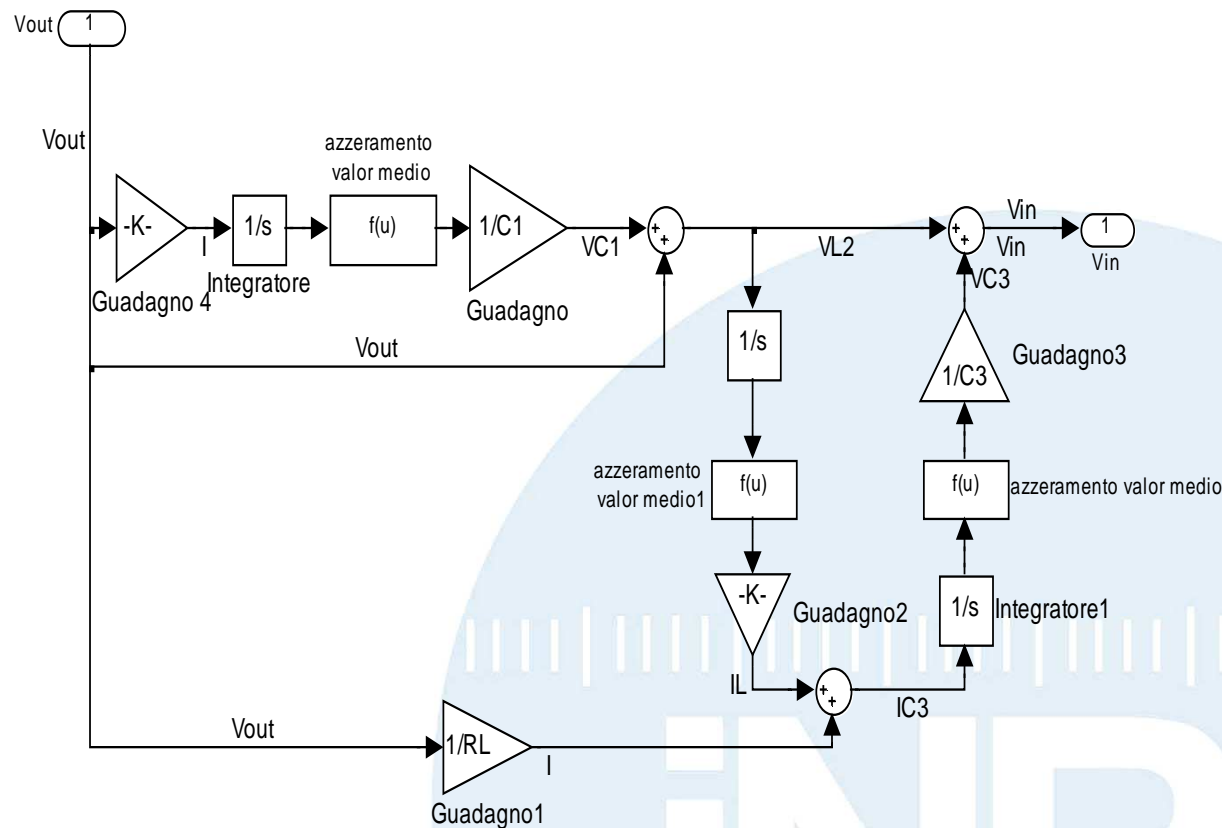
Grandezza nota: tensione d'uscita V_{out} misurata ai capi della resistenza unitaria di carico R_L

Grandezza incognita: tensione di ingresso V_{in}

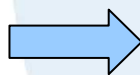


La procedura di ricostruzione comporta la soluzione di equazioni che coinvolgono l'integrale della corrente che fluisce in R_L , l'induttanza $L2$ e la capacità $C3$

Procedura di ricostruzione del segnale applicato



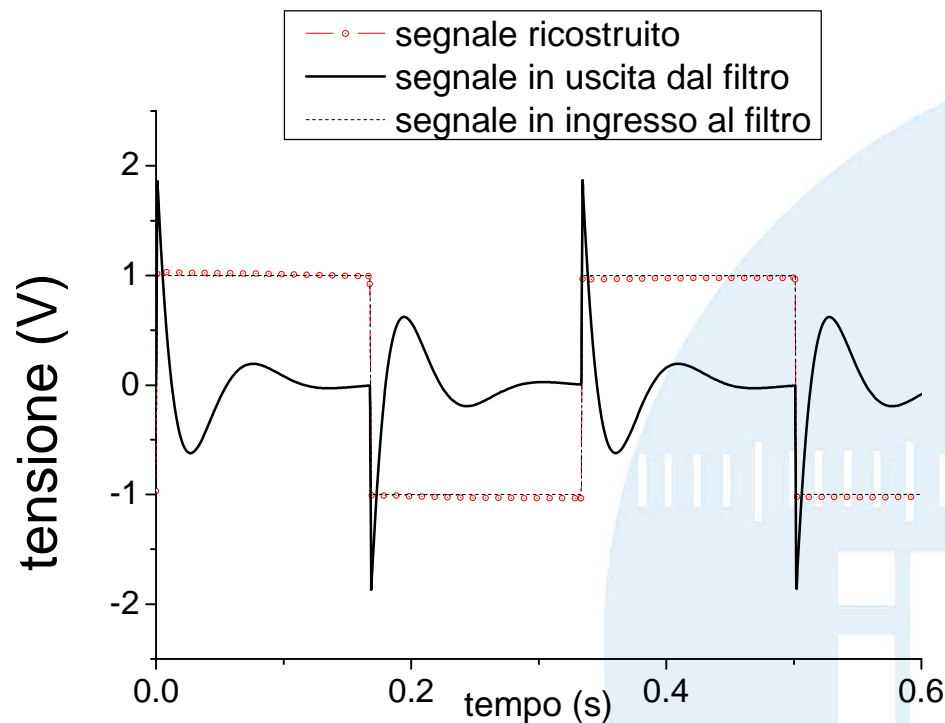
Le forme d'onda considerate
sono a valor medio nullo



Le costanti di integrazioni sono
implicitamente definite ponendo a zero la
componente continua dei segnali integrati

Primo test sulla procedura proposta

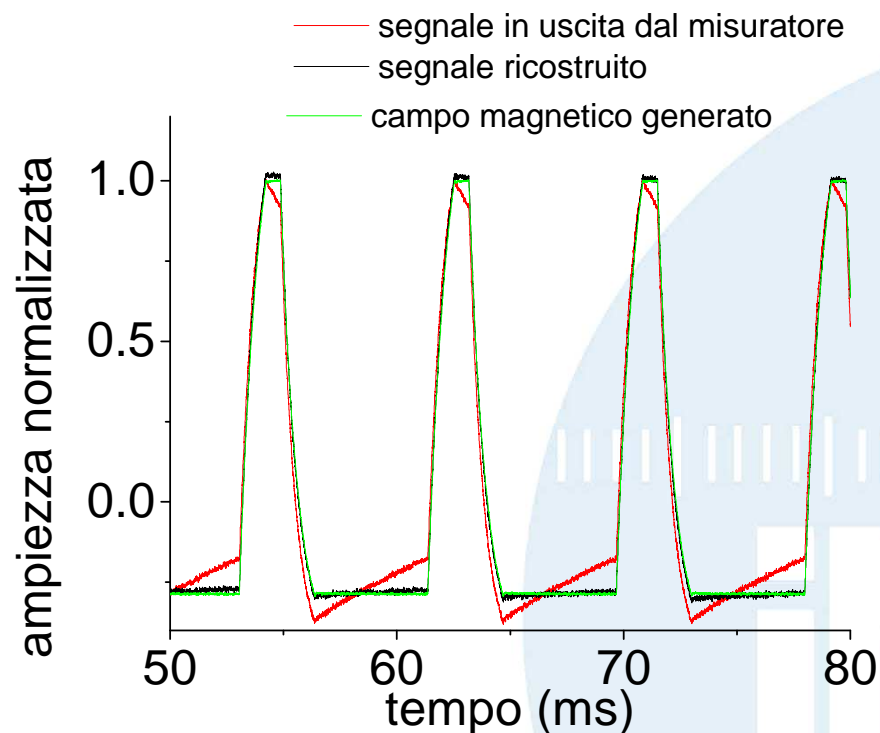
Avendo come dato in ingresso alla procedura il segnale calcolato in uscita al filtro si ricava l'onda quadra applicata inizialmente al filtro.



**Risultati
soddisfacenti**

Secondo test sulla procedura proposta

Segnale di ingresso alla procedura: registrazione dell'induzione generata con le bobine di Helmholtz da parte dello strumento in prova



**Risultati
soddisfacenti**

Conclusioni

- ✓ Criticità legate alla risposta del misuratore possono presentarsi nel rilievo di campi magnetici ambientali a bassa frequenza con forme d'onda semi-rettangolari.
- ✓ E' stata messa a punto e sperimentata una procedura di ricostruzione del segnale applicato ad un misuratore commerciale, basata sull'uso di un filtro Butterworth del terz'ordine, che consente di ricostruire la forma d'onda applicata a partire dal segnale effettivamente misurato.
- ✓ L'approccio proposto può essere esteso ad altri misuratori di campo con differenti tipi di filtro di ingresso, purché sia determinata la funzione di trasferimento complessa del misuratore.

Sviluppi

Il modello adottato per il filtro verrà completato introducendo una non-linearità del parametro induttivo, per meglio riprodurre il comportamento del misuratore in presenza di elevati valori di induzione magnetica.