



SERVIZIO SANITARIO REGIONALE  
EMILIA-ROMAGNA  
Azienda USL di Bologna

26 - 27 settembre 2008

2° CORSO DI RISONANZA MAGNETICA: PRINCIPI FISICI E SUE APPLICAZIONI IN AMBITO NEURORADIOLOGICO\*

# La localizzazione spaziale del segnale RM

Dott. Osvaldo Rampado, Azienda Ospedaliera S. Giovanni Battista, Torino  
Servizio di Fisica Sanitaria, sede Molinette

T.S.R.M. Mario Coriasco, Università degli Studi di Torino  
Dipartimento di Scienze Neurologiche, sezione Neuroradiologia

## Sommario

- Ricostruzione 2D dell'immagine:
  - Gradiente di selezione della sezione
  - Gradiente di codifica di fase
  - Gradiente di codifica di frequenza
- Acquisizione multislice
- Spazio K e sue proprietà
- Acquisizione 3D

## Sequenze e Ricostruzione Delle Immagini

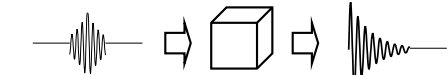
- Una SEQUENZA in RM è data da una serie ordinata di eventi, al termine dei quali è possibile produrre un'immagine.

- 1) Applicazione di ...
- 2) Variazione di ....
- 3) Accensione di ....
- 4) Ricezione di .....
- 5) Elaborazione di ...



## Sequenze e Ricostruzione Delle Immagini

- Nella lezione precedente abbiamo visto come l'applicazione di uno o più impulsi RF ad un elemento di tessuto è in grado di produrre un segnale di risposta.

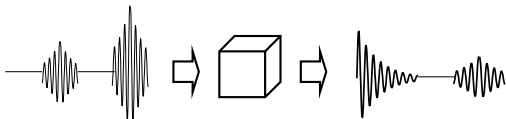


Applicazione di un impulso a 90°

Ricezione di un segnale FID

## Sequenze e Ricostruzione Delle Immagini

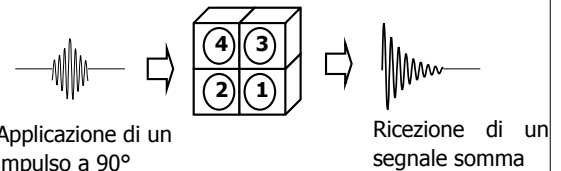
- Nella lezione precedente abbiamo visto come l'applicazione di uno o più impulsi RF ad un elemento di tessuto è in grado di produrre un segnale di risposta.



Applicazione di un impulso a 90° e di un impulso a 180°

Ricezione di un segnale FID e di un segnale di eco

## Sequenze e Ricostruzione Delle Immagini



Applicazione di un impulso a 90°

Ricezione di un segnale somma

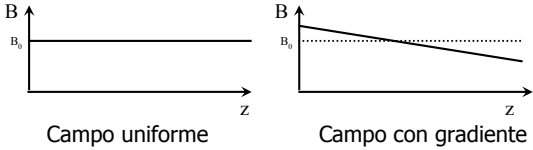
In presenza di un volume composto da diversi tessuti, il segnale ricevuto è dato dalla somma dei segnali prodotti da essi.

Non sono in grado di distinguere la provenienza dei segnali e quindi di ricostruire un'immagine

## I Gradienti

Per permettere la localizzazione della provenienza dei segnali e quindi la ricostruzione di un'immagine vengono utilizzati gradienti di campo magnetico.

Un gradiente è una variazione lineare dell'intensità del campo in una data direzione.



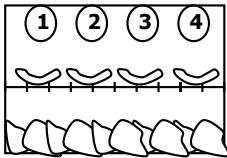
## Gradienti e Localizzazione

Un Esempio ...



Gradiente di temperatura e cottura della salsiccia con barbecue

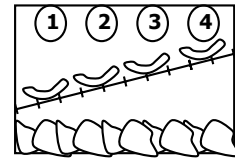
## Gradienti e Localizzazione



Se la griglia è perfettamente orizzontale:

- La temperatura è uniforme su tutta la griglia
- La cottura dei salsicciotti è indipendente dalla loro posizione

## Gradienti e Localizzazione



Se la griglia è inclinata:

- La temperatura non è più uniforme e si ha un gradiente di temperatura
- La cottura dei salsicciotti dipenderà dalla loro posizione

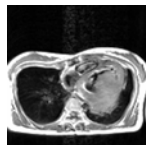
## Sequenze e Ricostruzione Delle Immagini

Applicazione di impulsi RF (eccitazione)

Azione dei gradienti (localizzazione)

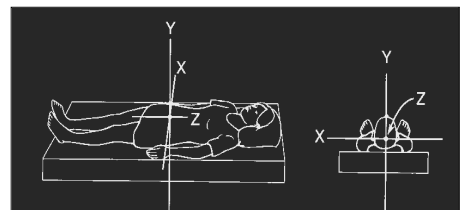
R  
I  
C  
E  
Z  
I  
O  
N  
E

E  
L  
A  
B  
O  
R  
A  
Z  
I  
O  
N  
E



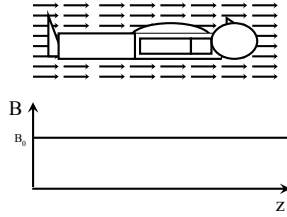
## Direzione del campo statico esterno

Per la maggior parte delle attuali apparecchiature con magneti a superconduttore il campo esterno è orientato secondo l'asse  $z$



### Localizzazione Spaziale

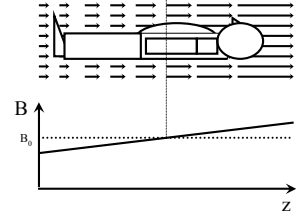
Impulso RF



Campo uniforme

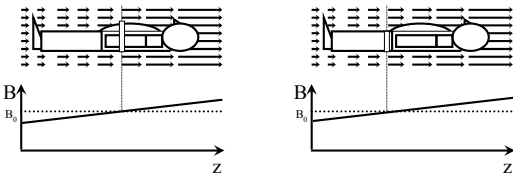
### Localizzazione Della Sezione

Impulso RF



Campo con gradiente

### Posizione Della Sezione



**Il punto nullo del gradiente (in cui  $B = B_0$ ) può essere spostato ed è quello che determina la posizione della sezione**

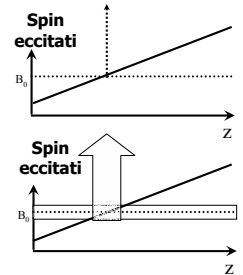
### Spessore Della Sezione

**In realtà l'impulso a radiofrequenza non ha una sola frequenza, ma una banda, per cui si ha uno spessore della sezione non nullo.**

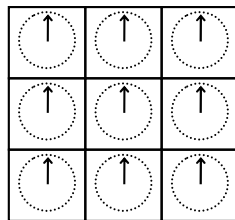
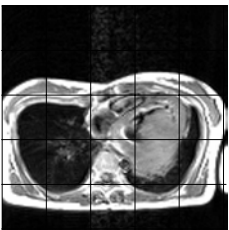
$$\omega_0 = \gamma B_0$$

$$\omega_0 \pm \Delta\omega =$$

$$\gamma(B_0 \pm \Delta B)$$



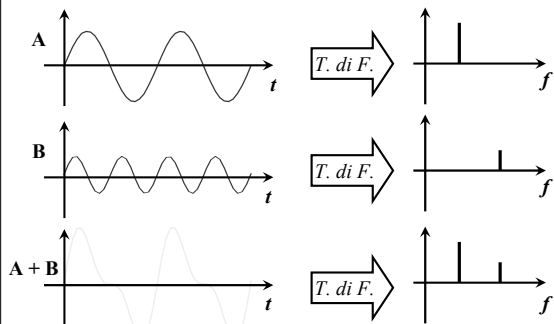
### Localizzazione Del Pixel Sulla Sezione



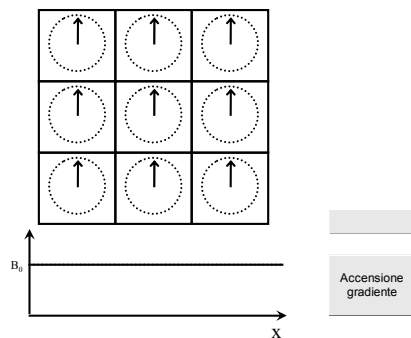
### La Trasformata Di Fourier

- è uno strumento matematico
- individua le componenti di diversa frequenza di un segnale periodico
- permette di valutare le intensità delle diverse componenti spettrali

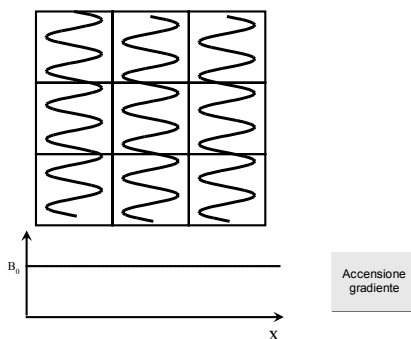
### Esempi



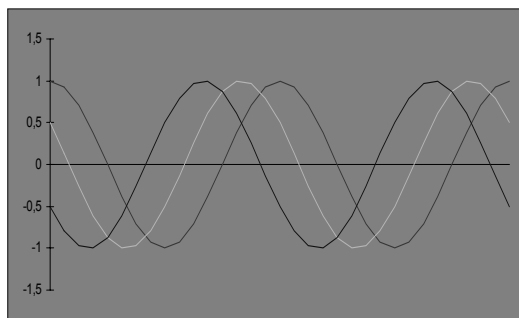
### Gradiente a Codifica Di Frequenza



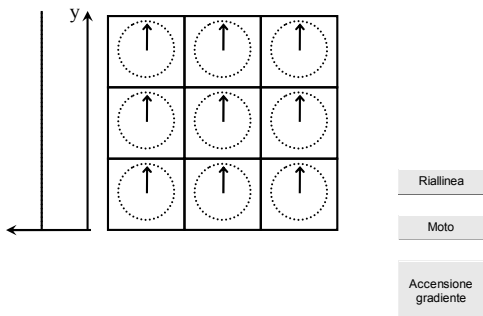
### Gradiente a Codifica Di Frequenza



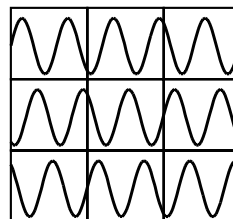
### Segnali di fase diversa



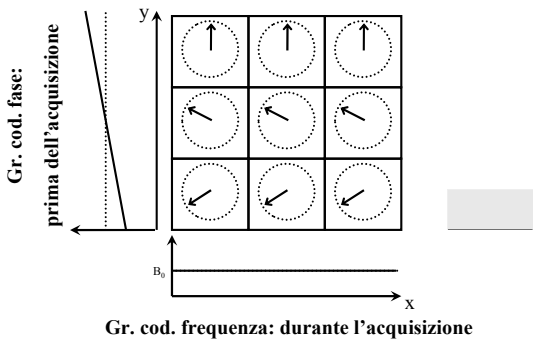
### Gradiente a Codifica Di Fase



### Gradiente a Codifica Di Fase

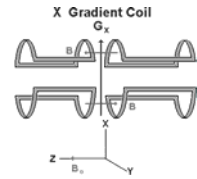


## Gradienti a Codifica Di Frequenza e di Fase

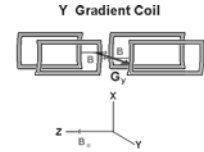


## Bobine di gradiente

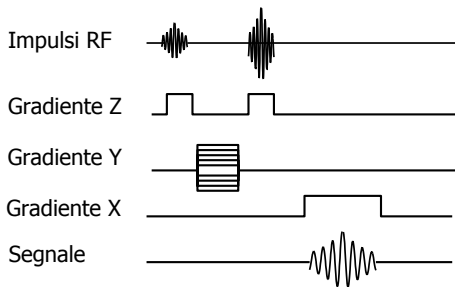
- I gradienti di campo  $B_0$  lungo X e Y sono creati da una coppia di bobine a forma di 8; quella dell'asse X crea un gradiente di  $B_0$  nella direzione X in accordo alla direzione della corrente che circola nelle bobine



- quella dell'asse Y crea un gradiente di  $B_0$  lungo l'asse Y



## Sequenza Spin Echo Con Acquisizione 2D



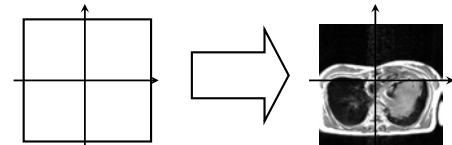
## Ricostruzione dell'immagine



- I dati grezzi vengono raccolti in una matrice bidimensionale

## LO SPAZIO K

- L'immagine associata viene prodotta tramite trasformata di Fourier bidimensionale



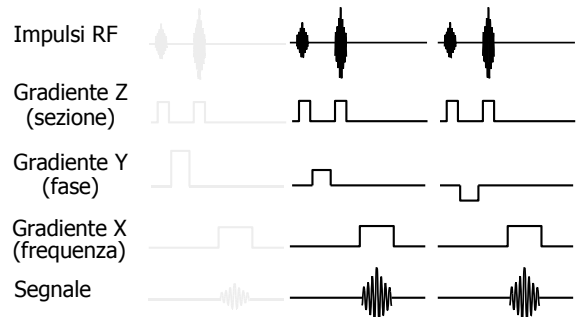
## Codifica Di Fase

Per raccogliere tutti i dati grezzi e "riempire" lo spazio k il gradiente di fase deve essere ripetuto con diverse intensità per ognuna delle linee della matrice.

Ad ogni ripetizione si ha una codifica di fase.

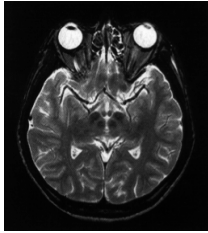
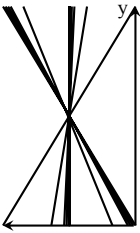
Per esempio, per una matrice quadrata  $128 \times 128$  si devono realizzare 128 codifiche di fase per ogni immagine.

## Codifica Di Fase e Spin Echo



### Valori Del Gradiente Di Codifica Di Fase

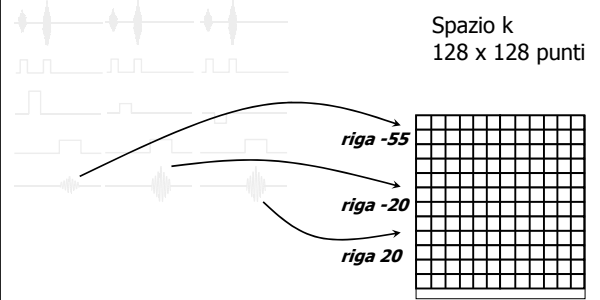
Il gradiente di codifica di fase varia "a step" e la sua intensità assumerà successivamente i 128 valori diversi.



STEP

~~128~~

### Raccolta Dati Dello Spazio K Nella Spin Echo



### Tempo Di Acquisizione Dell'Immagine

Con questo metodo di raccolta dei dati il tempo di acquisizione di una immagine è dato da:

$$T_{acq} = Tr \times M$$

dove M è la dimensione della matrice nella direzione della codifica di fase.

Se il segnale è dato da più eccitazioni (il cui numero è indicato con NEX (GE), o ACQ (Siemens), o NSA (Philips) si ha:

$$T_{acq} = Tr \times M \times NEX$$

### Tempo Di Acquisizione Dell'Immagine

Un esempio .....

**Tr = 1000 ms**

**Matrice 128 x 128**

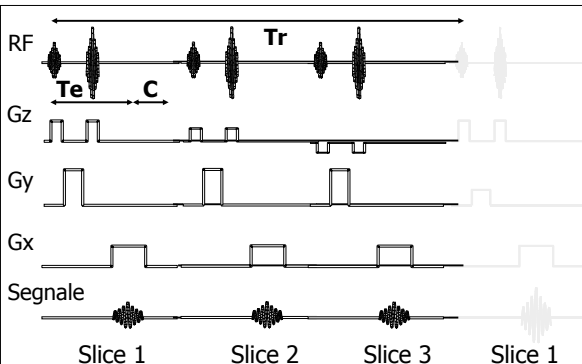
**NEX = 1**

Tempo per realizzare un'immagine  $\Rightarrow$  2.1 minuti

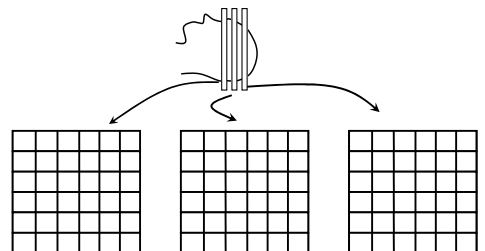
Tempo per realizzare un tipico studio con 20 immagini  $\Rightarrow$  42 minuti

Per ridurre i tempi di acquisizione  $\Rightarrow$  **TECNICA MULTISLICE**

### Tecnica Multislice

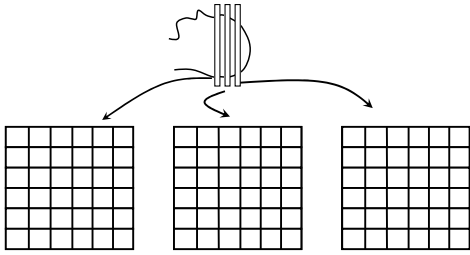


### Acquisizione singola slice



I dati di ogni immagine vengono raccolti tutti prima di passare alla successiva. Il tempo di attesa tra due codifiche di fase successive (due linee) viene perso.

### Acquisizione Multislice



I dati delle immagini successive vengono raccolti sfruttando i tempi di attesa tra linee successive.

### Tempo Di Acquisizione Con Tecnica Multislice

Con questo metodo di raccolta dei dati il tempo di acquisizione di una immagine è ancora dato da:

$$T_{acq} = Tr \times M \times NEX$$

Ma questa volta acquisisco contemporaneamente un numero di immagini pari a:

$$N = \frac{Tr}{Te + C}$$

Con C dell'ordine di 20-30 ms

### Tempo Di Acquisizione Con Tecnica Multislice

Un esempio .....

**Tr = 1000 ms**  
**Te = 30 ms**  
**C = 20 ms**  
**Matrice 128 x 128**  
**NEX = 1**

Tempo per realizzare un'immagine  $\Rightarrow$  2.1 minuti

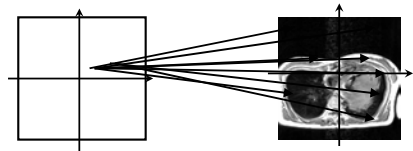
Numero di strati acquisiti contemporaneamente  $\Rightarrow$  20

Tempo per realizzare un tipico studio con 20 immagini  $\Rightarrow$  2.1 minuti

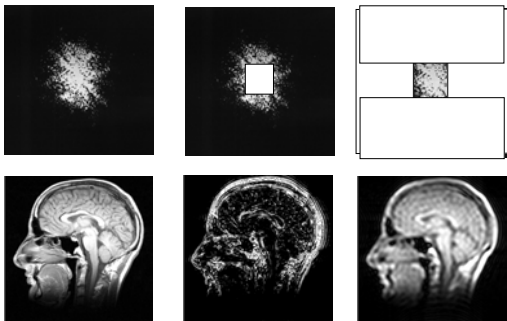
### Proprietà Dello Spazio K

Conoscere le proprietà dello spazio K permette di ridurre i tempi di acquisizione e di sfruttare in altre sequenze meccanismi diversi di raccolta dei dati.

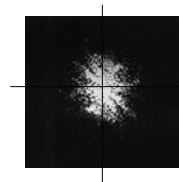
In ogni punto dello spazio K sono contenute informazioni relative a tutta l'immagine associata tramite T. F.



### Proprietà Dello Spazio K



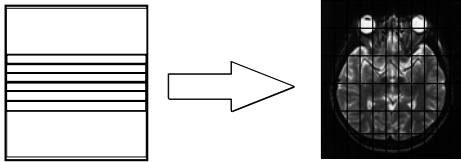
### Proprietà Dello Spazio K



In condizioni ideali lo spazio K si presenta simmetrico rispetto ai suoi assi

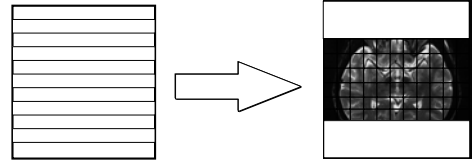
Le proprietà viste possono essere sfruttate per ridurre i tempi di acquisizione

### Matrice di fase ridotta



Riduzione dei tempi  
Riduzione della risoluzione  
Aumento rapporto segnale rumore

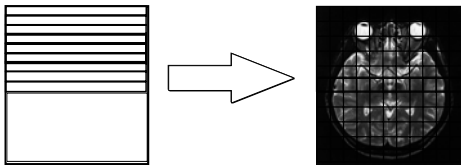
### Campo di vista rettangolare



Riduzione dei tempi  
Riduzione del campo di vista  
Mantenimento di risoluzione e rapporto segnale rumore

### Tecnica Half Fourier Imaging

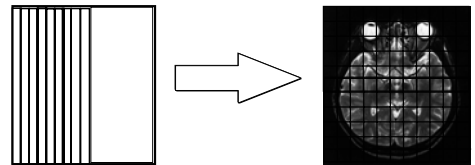
Nella direzione della codifica di fase.....



Tempi quasi dimezzati  
Mantenimento della risoluzione spaziale  
Riduzione del rapporto segnale rumore.

### Tecnica Half Fourier Imaging

Nella direzione della codifica di frequenza....

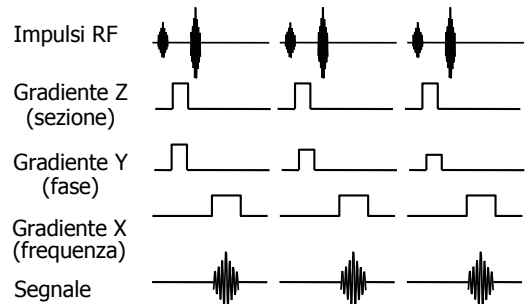


Riduzione dei tempi per acquisizione multislice  
Mantenimento della risoluzione spaziale  
Riduzione del rapporto segnale rumore.

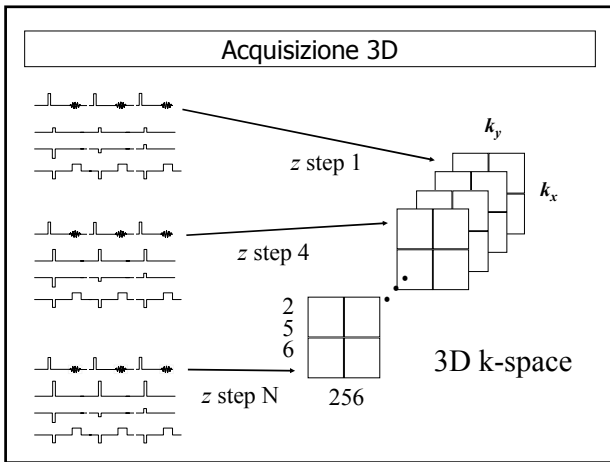
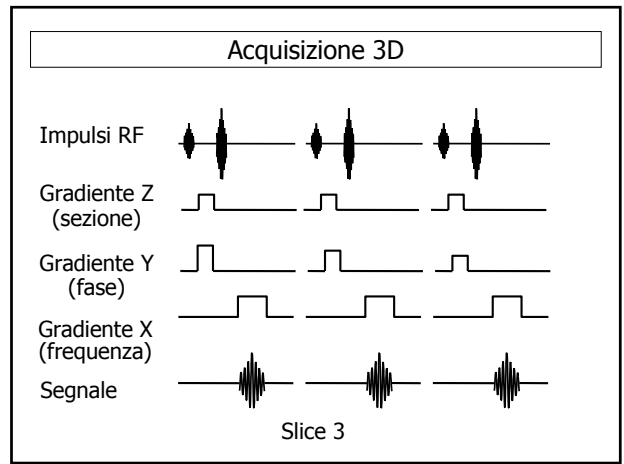
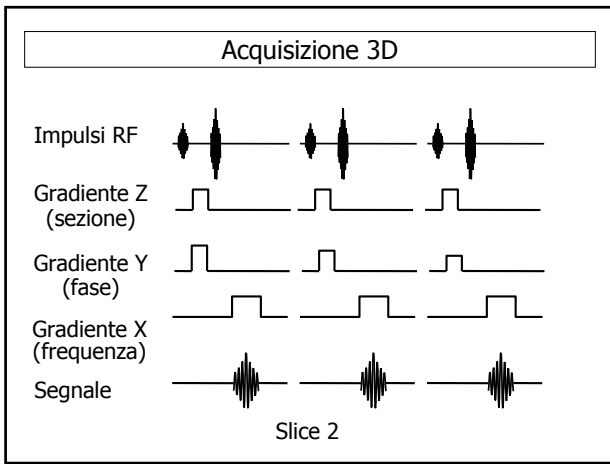
### Acquisizione 3D

- Assenza del gradiente di selezione della sezione
- Intero volume eccitato
- Un secondo gradiente di codifica di fase sostituisce il gradiente di selezione della slice
- Dopo l'impulso RF iniziale, vengono applicati entrambi i gradienti nelle direzioni y e z, seguiti dal gradiente di lettura durante l'eco del segnale.

### Acquisizione 3D







### Tempo Di Acquisizione Dell'Immagine

Con questo metodo di raccolta dei dati il tempo di acquisizione di una immagine è dato da:

$$T_{acq} = Tr \times M1 \times M2 \times NEX$$

dove M1 è la dimensione della matrice nella direzione della codifica di fase e M2 è in pratica il numero di sezioni.

### Tempo Di Acquisizione Dell'Immagine

Un esempio ....

**Tr = 1000 ms**

**Matrice 128 x 128**

**NEX = 1**

Tempo per realizzare un'immagine  $\Rightarrow$  2.1 minuti

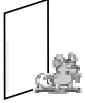
Tempo per realizzare un tipico studio con 20 immagini  $\Rightarrow$  42 minuti

Esattamente come nella tecnica 2 D singola slice!

- ### Acquisizione 3D
- Vantaggi:
- Sezioni veramente contigue
  - Sezioni molto sottili (< 1 mm)
  - Riduzione degli artefatti da volume parziale
  - Acquisizione volumetrica
- Svantaggi:
- Tempi lunghi
  - In pratica impiegabili solo con sequenze "rapide"
  - Sensibili al movimento

## Esercizio

Un esempio .....



**Tr = 800 ms**

**Te = 30 ms**

**Matrice 128 x 128**

**C = 20 ms**

**NEX = 1**

Calcolare il tempo necessario per realizzare uno studio con 20 sezioni con le seguenti tecniche:

2D Singola Slice  $\Rightarrow$  34,1 min

2D Multislice  $\Rightarrow$  3,4 min

2D Multislice con FOV al 80%  $\Rightarrow$  2,7 min

3D Multislice  $\Rightarrow$  34,1 min