

www.fisiokinesiterapia.biz

Cosa e' la risonanza magnetica nucleare (NMR)?

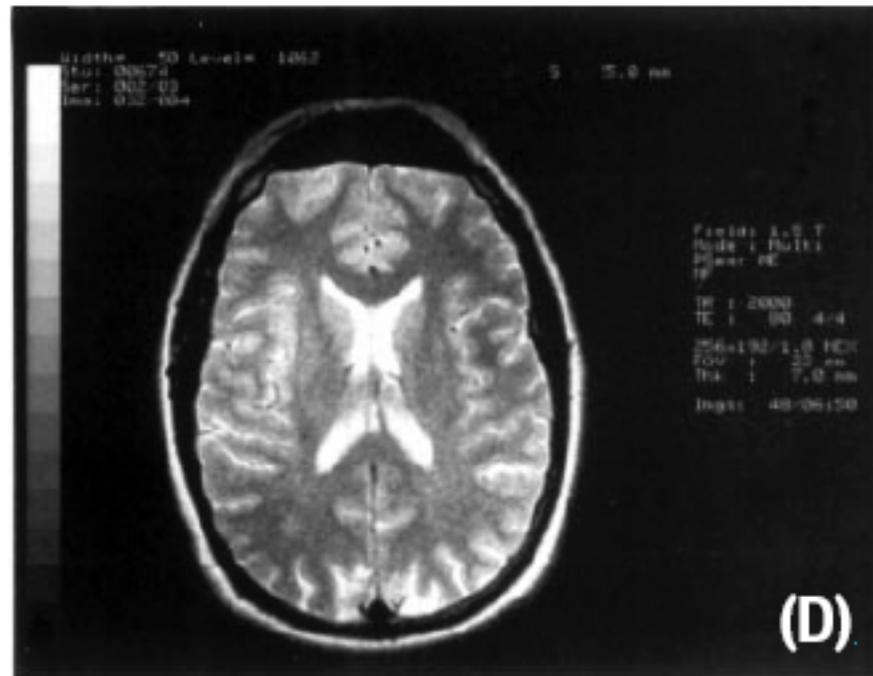
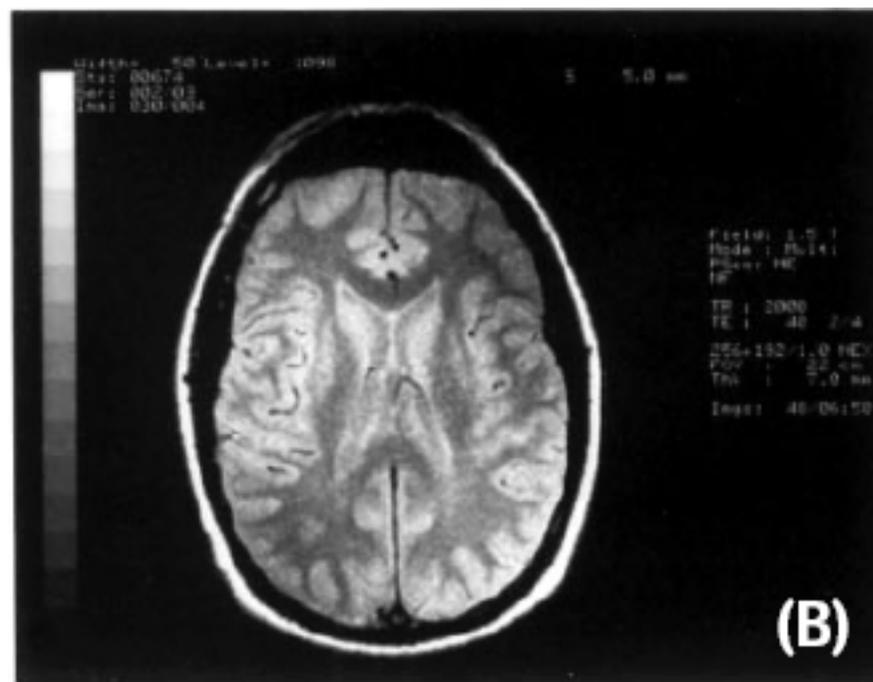
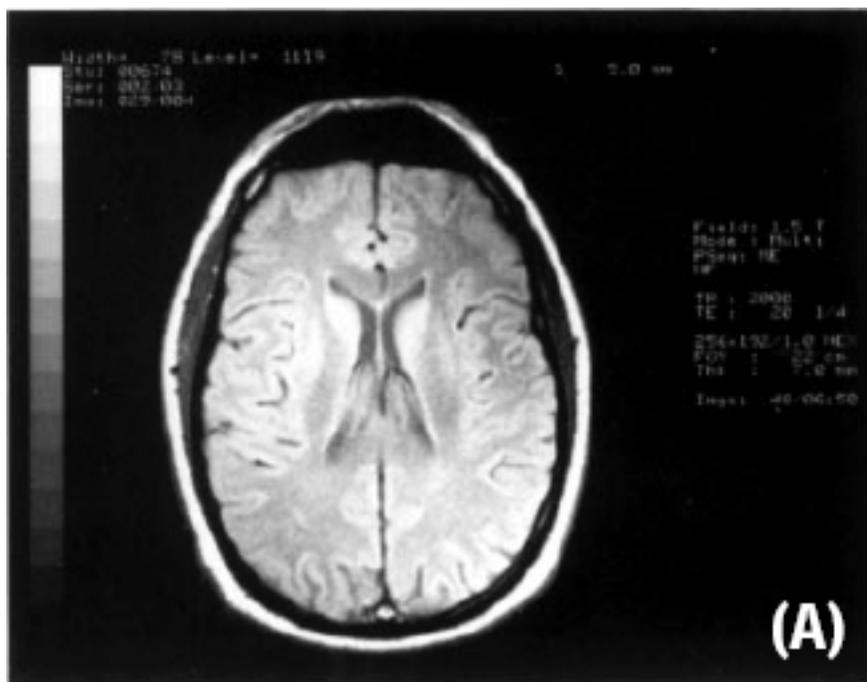
E' un fenomeno fisico che coinvolge i nuclei atomici e fornisce informazioni alle scale nucleare – atomica – molecolare - macroscopica.

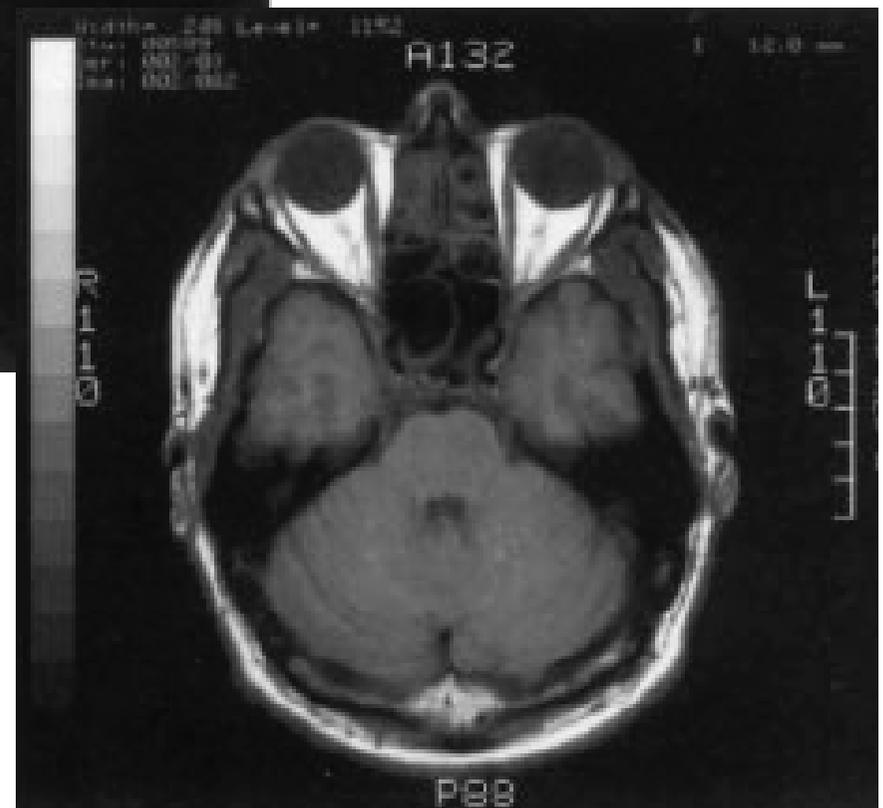
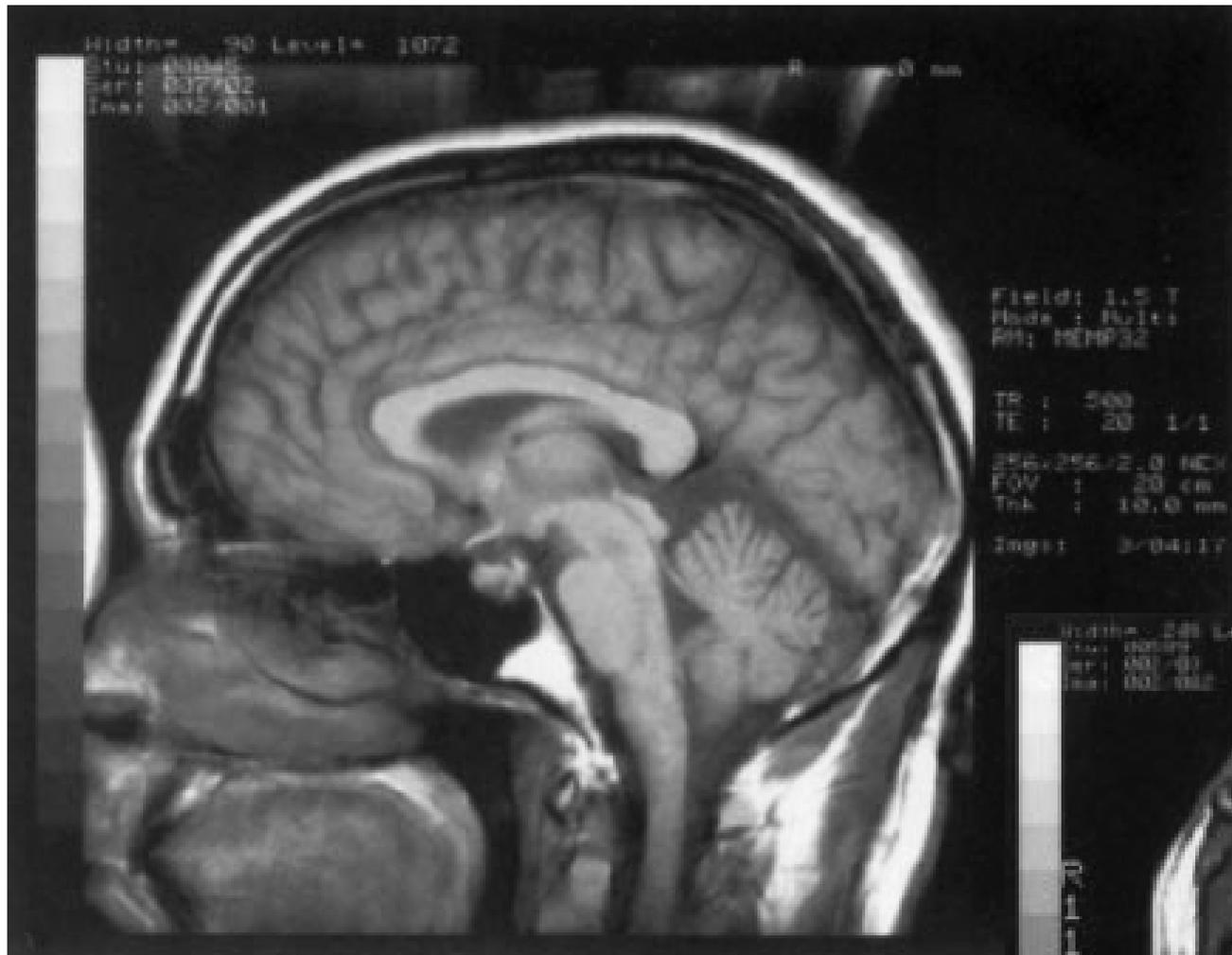
A seconda di come viene realizzato può avere applicazioni diverse.

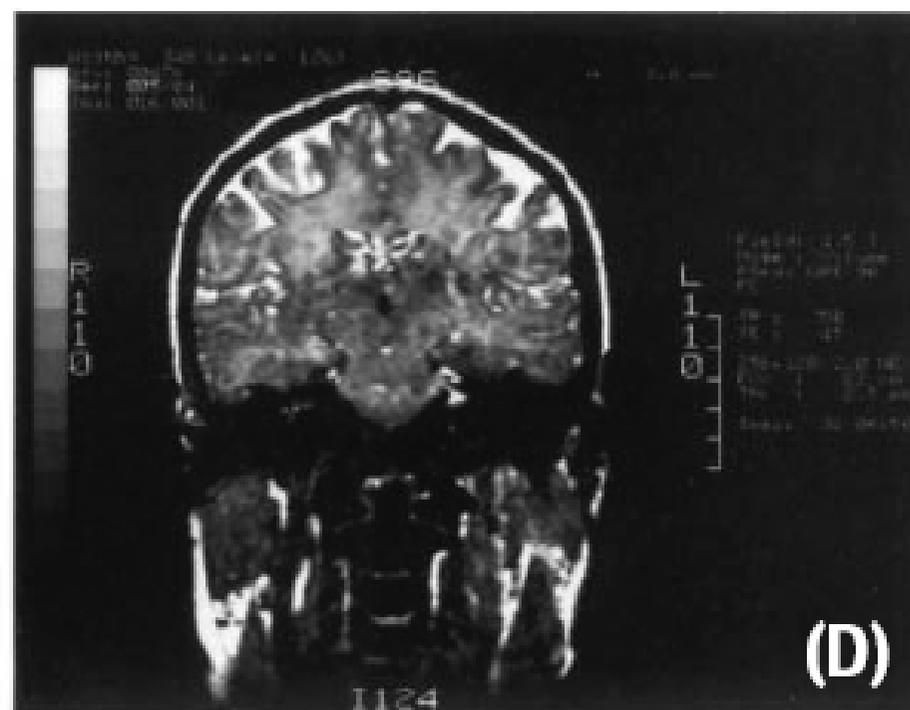
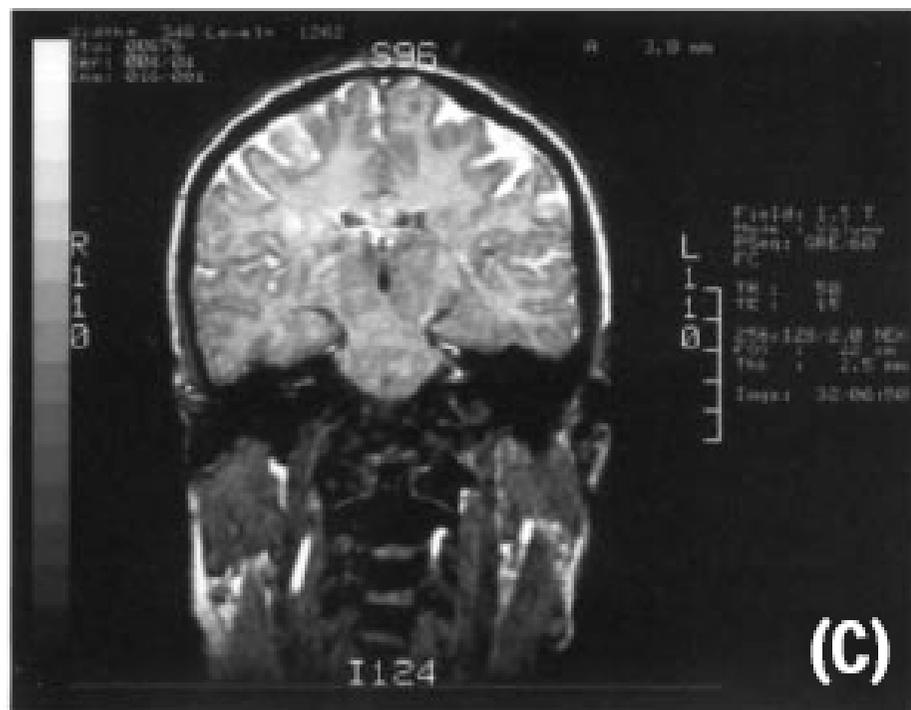
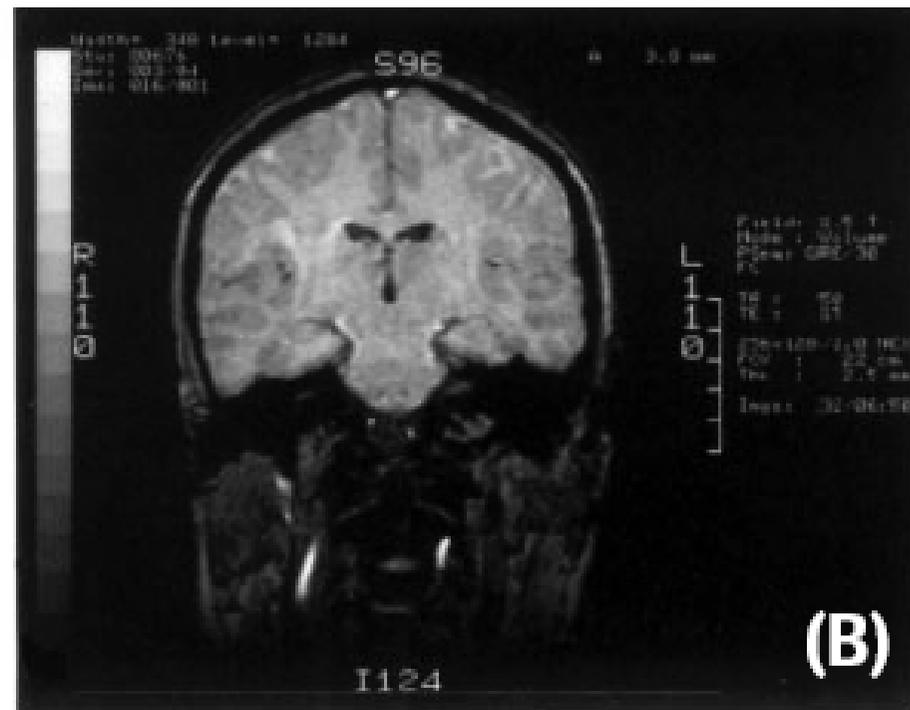
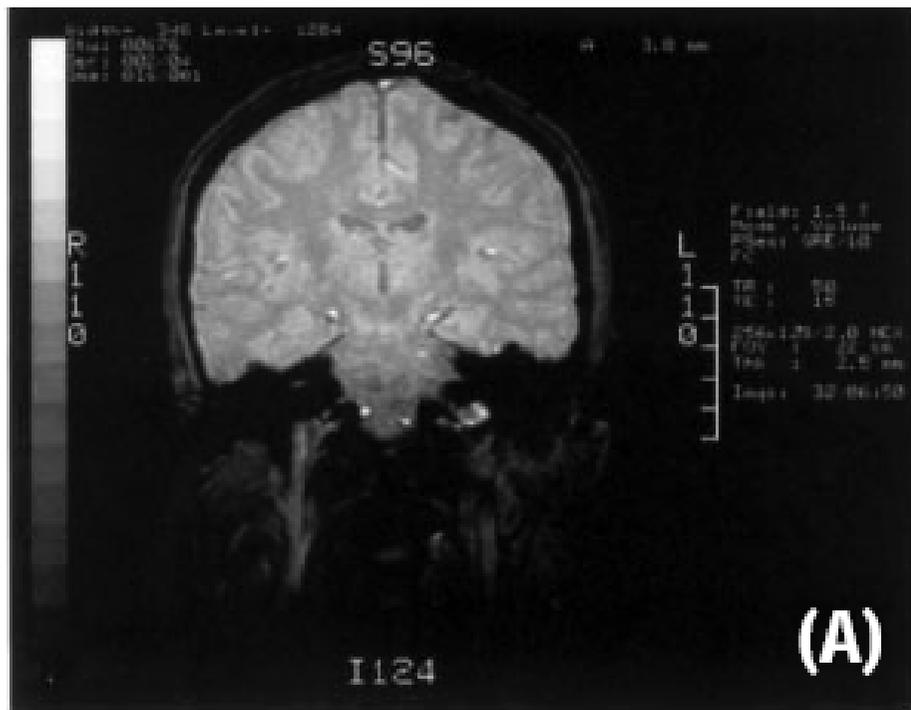
La più nota al grande pubblico è la possibilità di ottenere immagini dell'interno del corpo umano (tomografia).

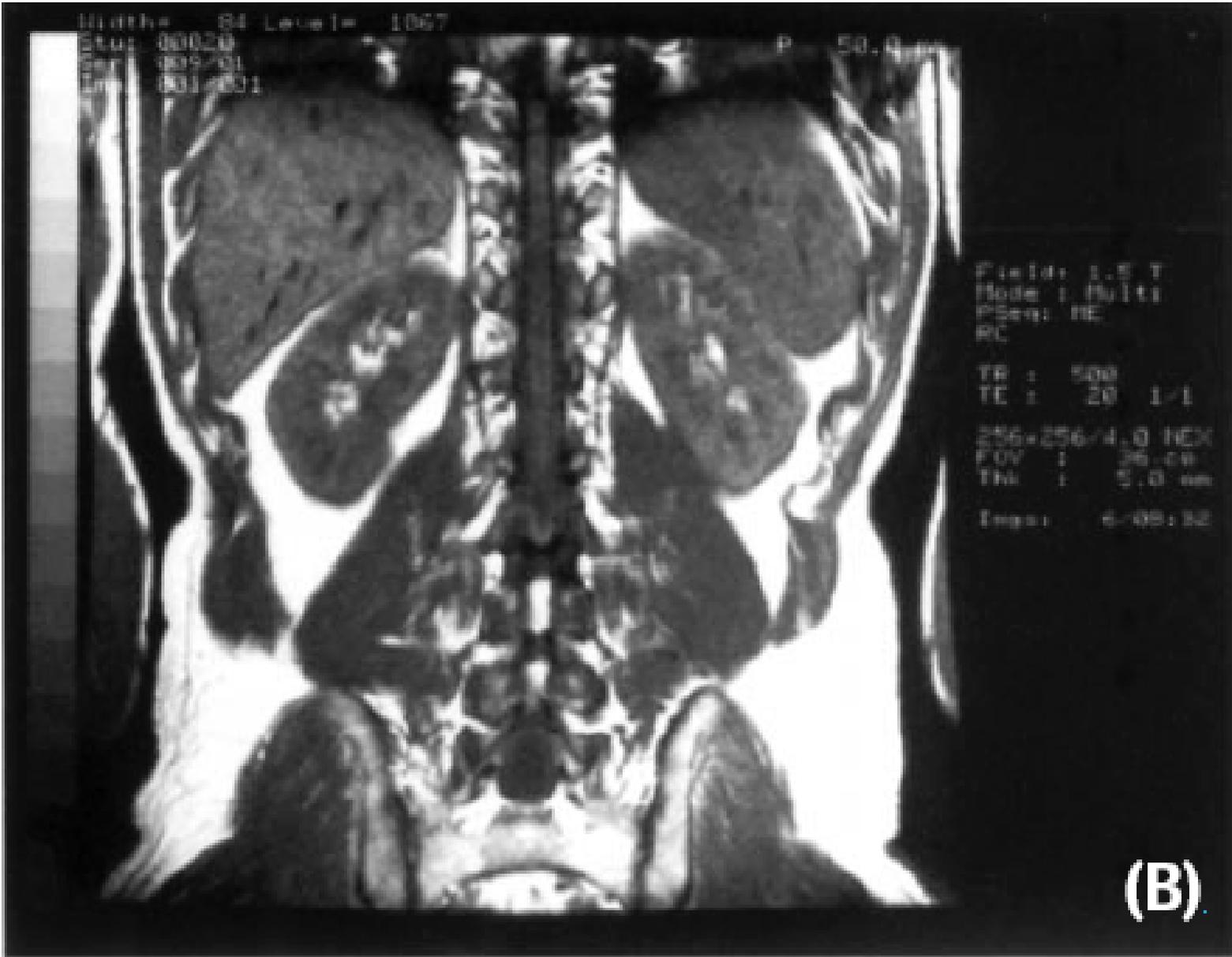
Tomografia NMR (MRI)













(C)

(B)

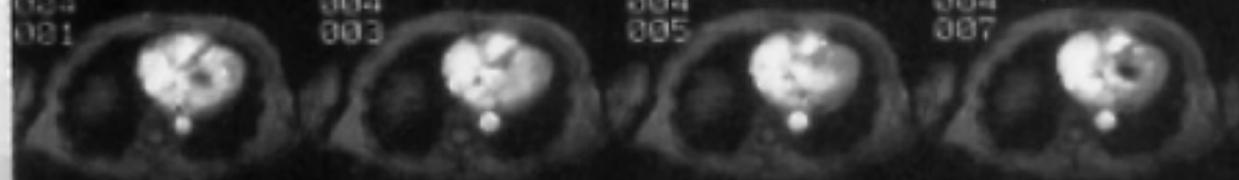
Width= 630 Level= 1324

S 70.0
01276
004
001

S 70.0
01276
004
003

S 70.0
01276
004
005

S 70.0
01276
004
007



S 70.0
01276
004
009

S 70.0
01276
004
011

S 70.0
01276
004
013

S 70.0
01276
004
015



Field: 1.5 T
Mode: Multi
RM: CINE
EG

TR: 23
TE: 12

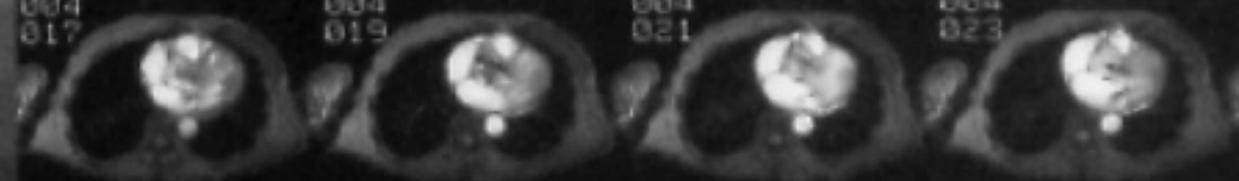
256x128/2.0 NE
FOV: 40 cm
Thk: 10.0 mm

S 85.0
01276
004
017

S 85.0
01276
004
019

S 85.0
01276
004
021

S 85.0
01276
004
023



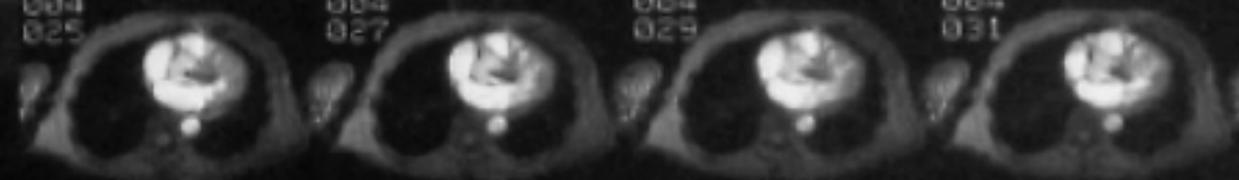
Imgs: 32/04:50
BODY
H Rate: 52 bpm
Tsg D1: 87 ms

S 85.0
01276
004
025

S 85.0
01276
004
027

S 85.0
01276
004
029

S 85.0
01276
004
031



01276/004/031

Signa 1.5T SYS#MRNF000

Ex:23163

Se:5/1

Im:1/1

COL Ax 12.2

TR:46

TE:5.8/Fr

EC:1/1 16kHz

HEAD

FOV:18x18

60.0thk/0.0sp

64/12:34

512x256/1 NEX

FC

770 442



Cosa e' NMR?

Ci sono tre protagonisti:

- **Un campo magnetico**
- **Una specie nucleare
con particolari proprietà
(ad esempio nuclei ^1H)**
- **Onde elm a rf**

Analizziamo il nome

Risonanza???

Magnetica (c'è un magnete)

**Nucleare (particolari nuclei sono
parte attiva del fenomeno e
risentono del campo magnetico)**

RISONANZA

Un sistema fisico è in condizione di risonanza quando le condizioni sono tali da determinare il massimo trasferimento di potenza (energia/unità di tempo) al sistema stesso.

ENERGIA 



In un sistema caratterizzato da una velocità angolare propria ω_0 , sollecitato alla velocità angolare ω , si parla di risonanza quando l'ampiezza dell'oscillazione presenta un picco molto pronunciato per $\omega = \omega_0$.

MAGNETICA

magnete



NUCLEARE

Molti nuclei possiedono una proprietà detta *spin*; lo spin **I** è **un operatore quantomeccanico**.

Se hanno spin, sono dotati anche di **momento magnetico**, che è proporzionale allo spin **I** del nucleo

$$\mu = \gamma (h/2\pi) \mathbf{I}$$

γ è il rapporto giromagnetico, che **caratterizza** il nucleo

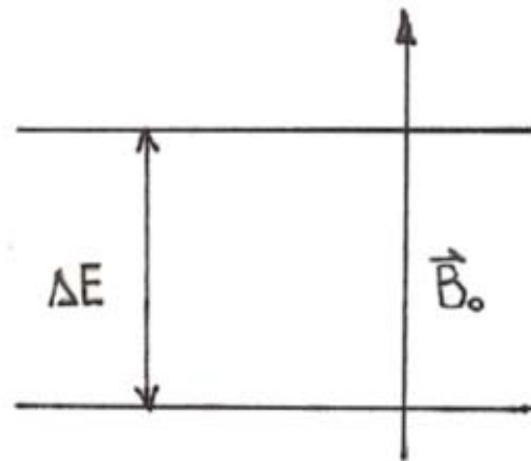
Nuclei che possono essere impiegati

Nuclei	Unpaired Protons	Unpaired Neutrons	Spin	$\gamma/2\pi$ (MHz/T)
^1H	1	0	1/2	42.58
^2H	1	1	1	6.54
^{31}P	0	1	1/2	17.25
^{23}Na	0	1	3/2	11.27
^{14}N	1	1	1	3.08
^{13}C	0	1	1/2	10.71
^{19}F	0	1	1/2	40.08

Energia degli spin in campo magnetico B_0

$$E_{-1/2} = +\frac{1}{2} \hbar \gamma B_0$$

$$E_{+1/2} = -\frac{1}{2} \hbar \gamma B_0$$



$$\mu_z = -\frac{1}{2} \hbar \gamma$$

Spin antiparalelo

$$\mu_z = +\frac{1}{2} \hbar \gamma$$

Spin parallelo

$$\Delta E = \gamma \hbar B_0 = \hbar \omega_0$$

RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE

ENERGIA 

**l' energia viene fornita
sotto forma di onde elm**



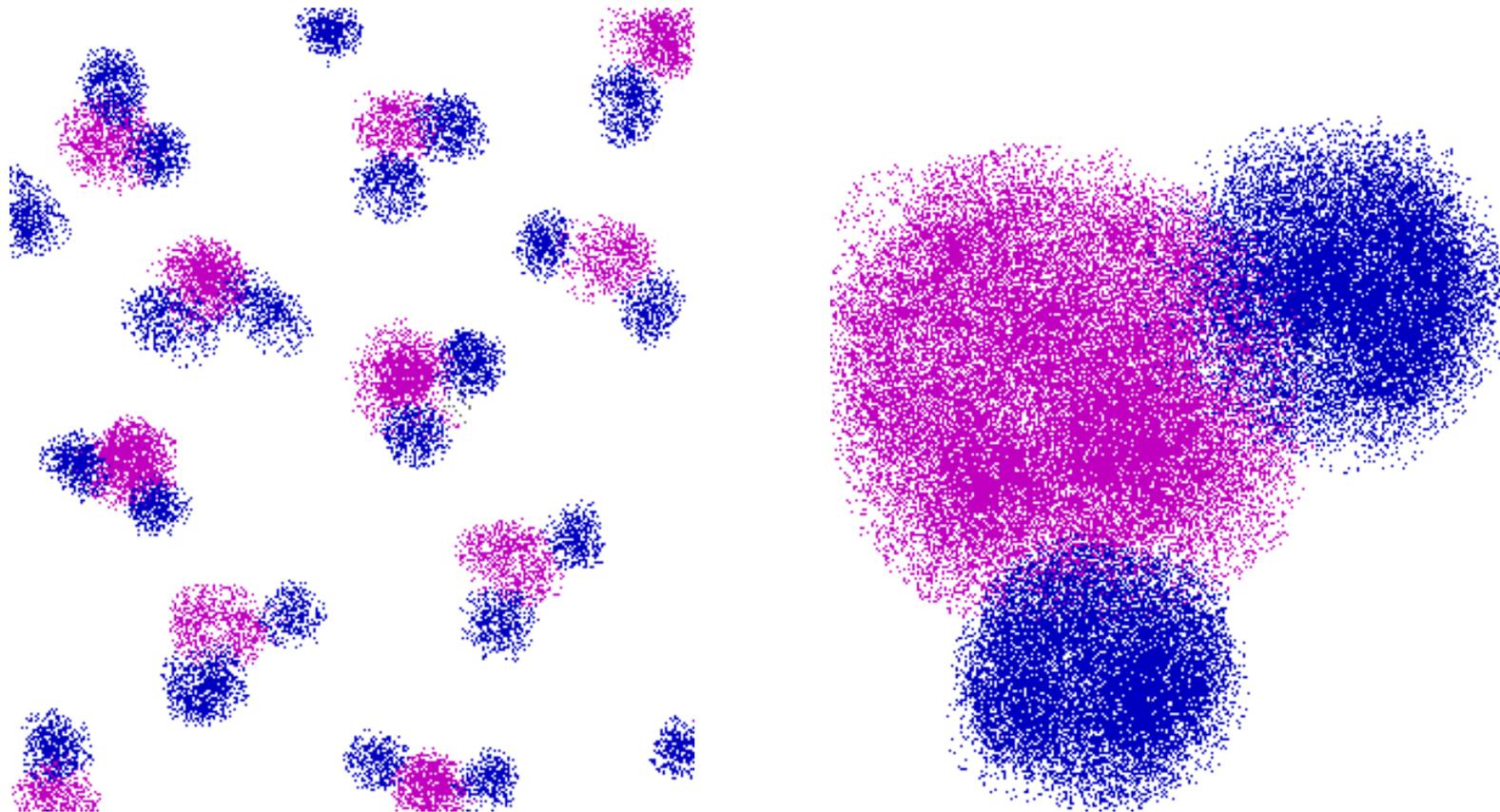
**Nuclei atomici
dotati di momento
magnetico
immersi in campo
magnetico**

La condizione di risonanza è:

$$\omega_0 = \gamma B_0$$

energia tipo di campo
onda elm nucleo magnetico

Il nucleo ^1H della molecola di H_2O

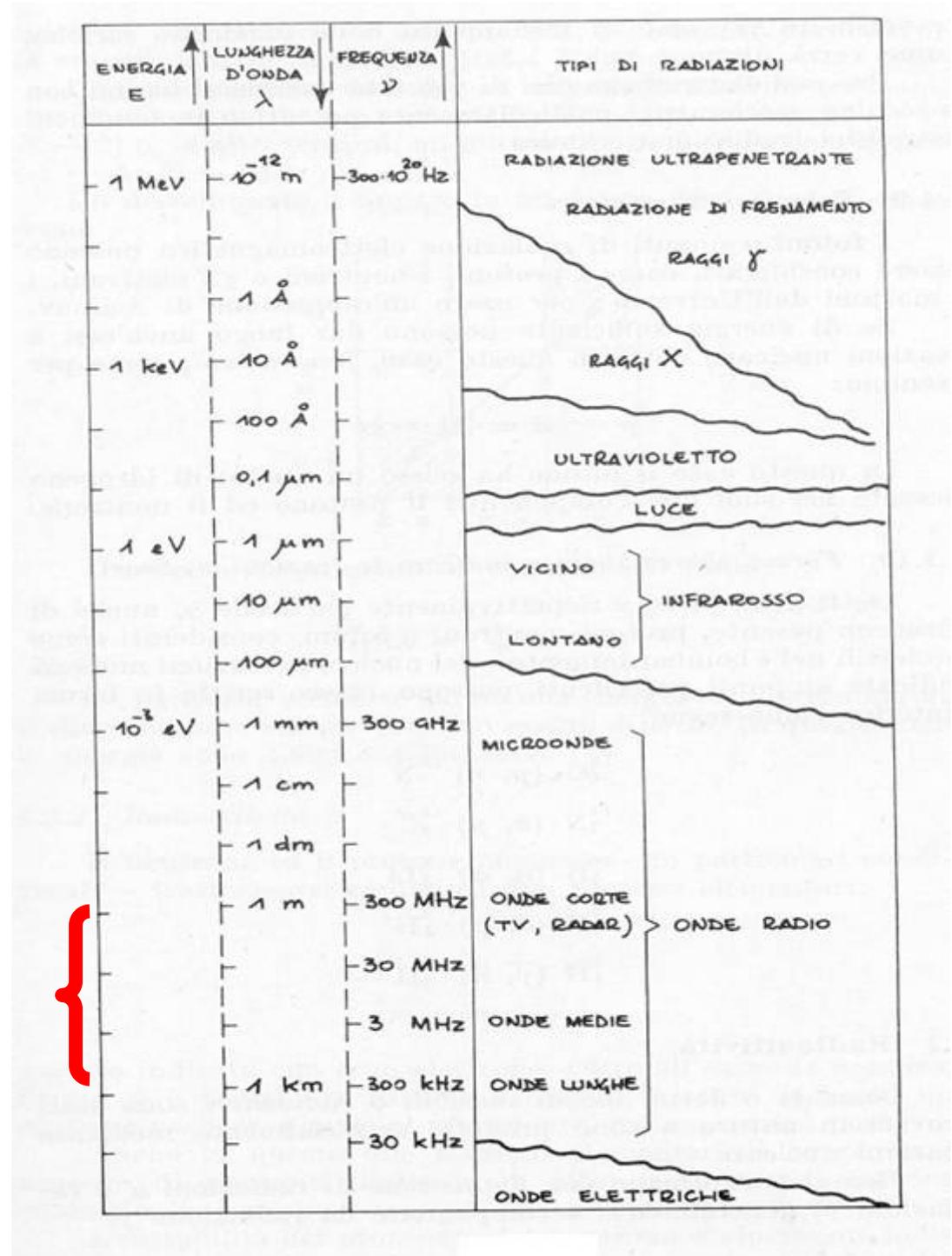


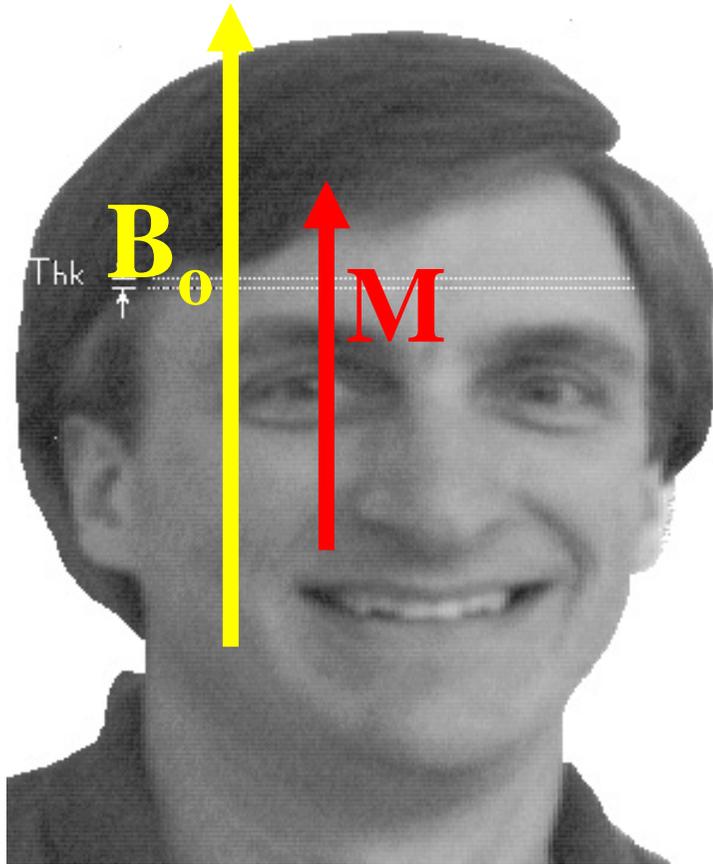
$$\omega = \gamma B$$

$$B = 1\text{T}, \nu = \omega / 2\pi = (\gamma / 2\pi) B = 42.6 \text{ MHz}$$

Spettro delle onde elettromagnetiche

$$E = h \nu = (h/2\pi) \omega$$



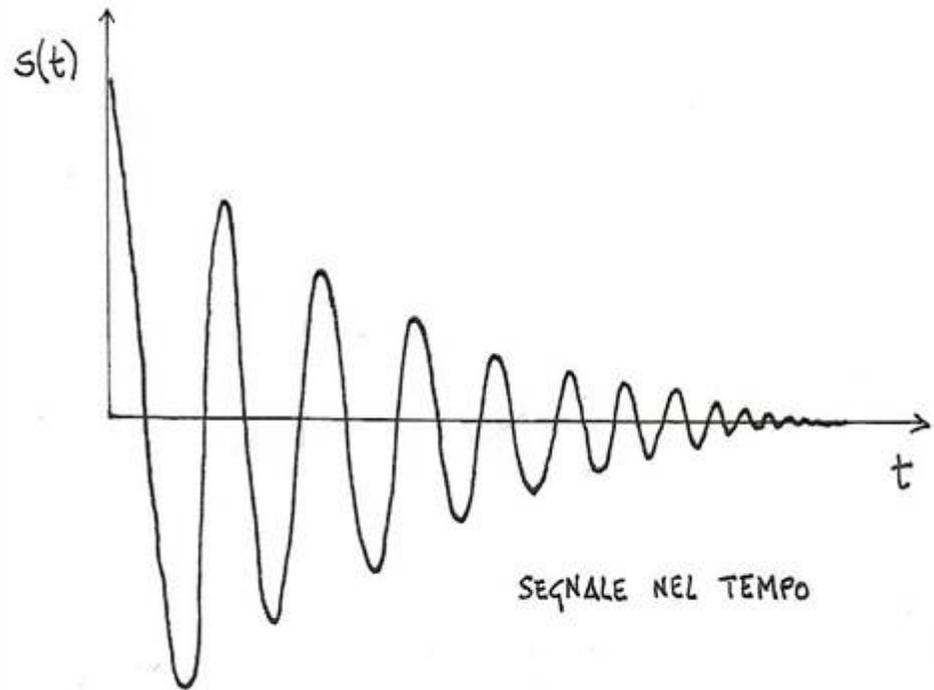
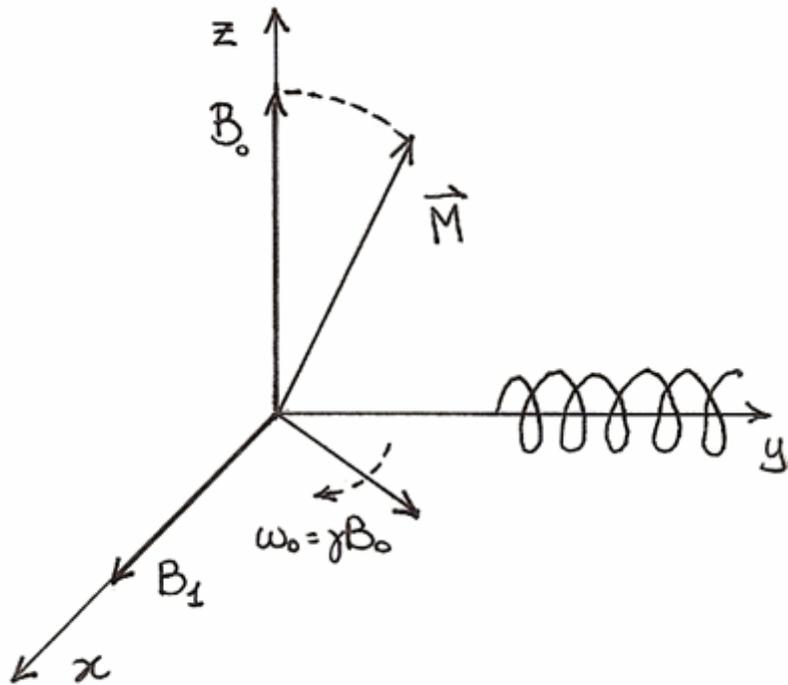


I nuclei ^1H si orientano dando luogo ad una magnetizzazione netta nella direzione e verso di B_0

I nuclei sono in grado di assorbire energia se si inviano onde elm di frequenza

$$\omega = \omega_0 = \gamma B_0 \text{ (frequenza di Larmor)}$$

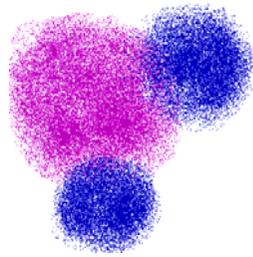
$$M = N \frac{\gamma \hbar I(I+1)}{3kT} B_0$$





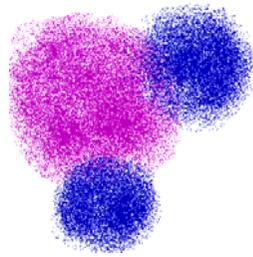
In sintesi: Che fortuna !!!

- L'acqua, principale costituente del corpo umano, nonché molto abbondante in natura, è ricca di idrogeno.
- Il nucleo degli atomi di idrogeno è proprio quello che più facilmente si presta ad essere usato nelle analisi a risonanza magnetica nucleare (NMR).
- Quando poniamo una bottiglia d'acqua dentro il magnete di un apparato NMR, i nuclei di idrogeno risentono del campo magnetico assumendo una configurazione “ordinata” e dando luogo ad una **magnetizzazione nucleare**.



Che fortuna !!!

- Se, a questo punto, si crea in modo opportuno un secondo campo magnetico, associato ad un impulso di onde elettromagnetiche di lunghezza d'onda opportuna, l'ordine viene perturbato.
- Al termine della perturbazione, i nuclei tendono a tornare nella configurazione iniziale impiegando un certo tempo.
- Analizzando un qualunque mezzo poroso contenente nuclei di idrogeno, dalla distribuzione dei tempi di “rilassamento” possiamo ottenere informazioni relative alle caratteristiche del campione senza in alcun modo distruggerlo o danneggiarlo.



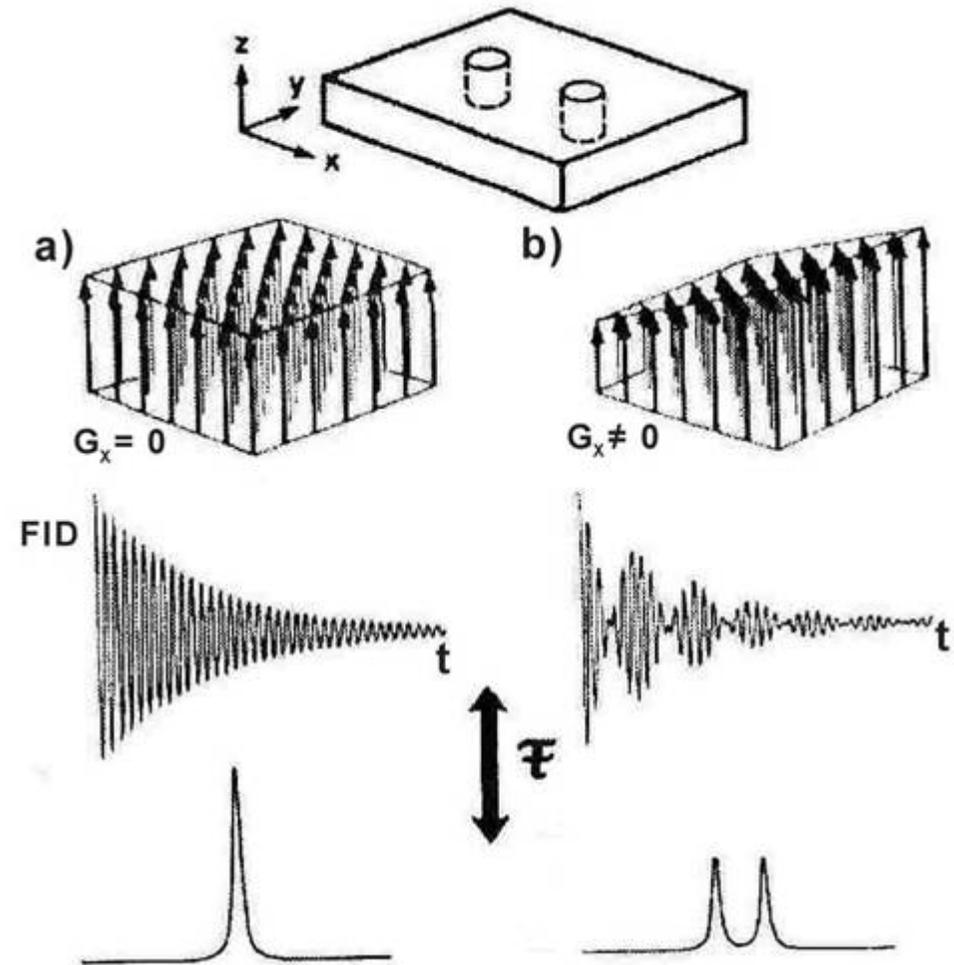
Che fortuna !!!

- Se la strumentazione è configurata in modo opportuno, possiamo anche “vedere” dentro al campione.
- La risonanza magnetica nucleare è quindi una tecnica:
 - **non invasiva e non distruttiva**
 - in grado di manipolare la **magnetizzazione nucleare** così da ottenere informazioni su proprietà:
 - **chimico-fisiche** e
 - **medico-biologiche** del campione.

Effetto dei gradienti. In alto sono indicate due provette d'acqua:

- a) la semplice applicazione dell'eccitazione a radiofrequenza genera un FID caratterizzato da una singola componente in frequenza;**
- b) l'applicazione di un gradiente introduce una dipendenza dalle coordinate della frequenza di Larmor che, mediante trasformata di Fourier F , permette di localizzare spazialmente i vari contributi al FID.**

MRI

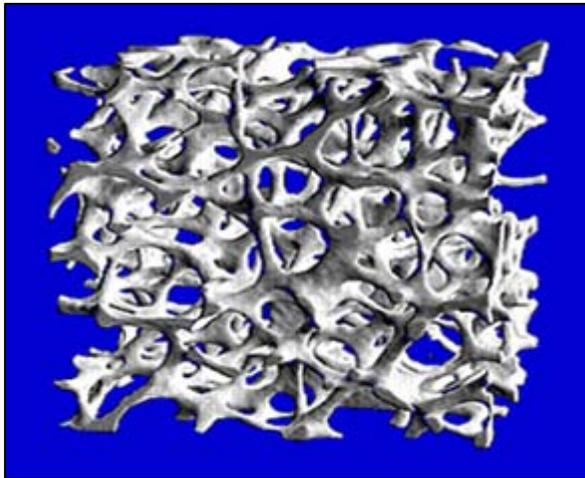


Il Tomografo NMR

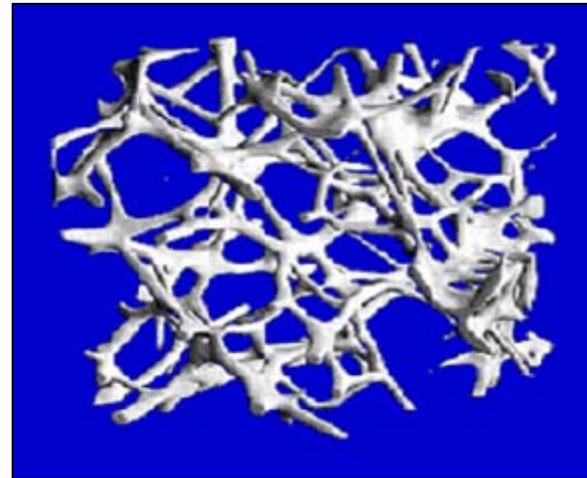


Studio del tessuto osseo e dell'osteoporosi mediante NMR

Osso normale



Osso osteoporotico



- L'osteoporosi porta ad una caduta delle trabecole con cambiamento dell'architettura.

Studio del tessuto osseo e dell'osteoporosi mediante NMR

- La valutazione del rischio di frattura e la relativa prevenzione sono aspetti importanti del trattamento dei pazienti osteoporotici in termini di prognosi e costi.
- L'osteoporosi è definita operativamente attraverso la misura della densità minerale dell'osso (BMD) ed è diagnosticata quando BMD é molto al di sotto di quella media delle giovani donne sane.
- Tuttavia questa condizione non è sufficiente per determinare il rischio di fratture che sembra essere legato anche ad altri parametri dipendenti dall'architettura della struttura delle trabecole.

Studio del tessuto osseo e dell'osteoporosi mediante NMR

- Con la risonanza magnetica per immagini ad alta risoluzione spaziale è possibile ottenere immagini di sezioni interne di strutture anatomiche.
- In figura è mostrata un'immagine mMRI di una vertebra di ratto. Il voxel ha dimensioni $20 \times 20 \times 20 \text{ mm}^3$.
- È evidente la diversa dimensione e spaziatura delle trabecole tra zona periferica e zona centrale.

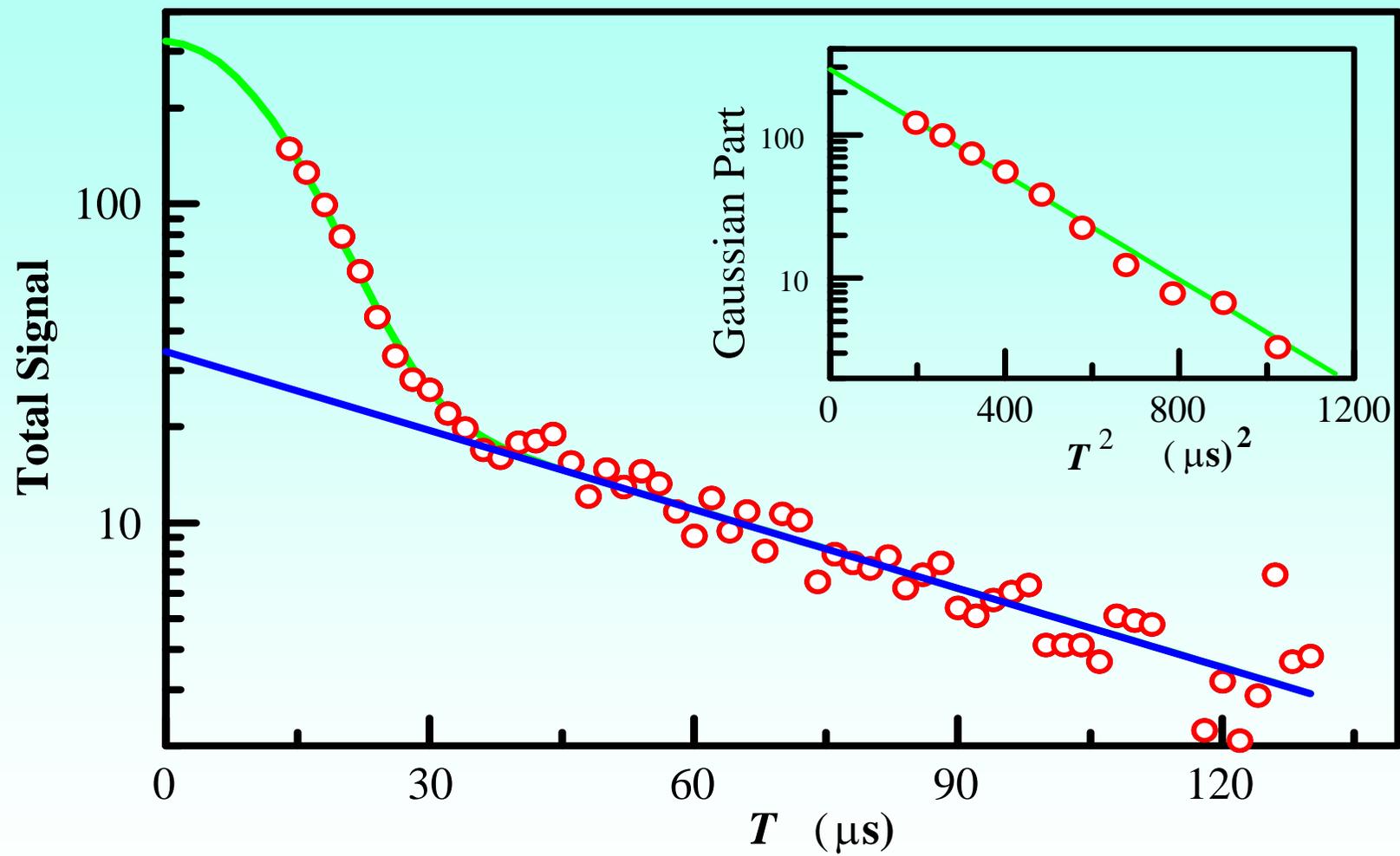
Rilassometro NMR del Dipartimento di Fisica: 5-60 MHz



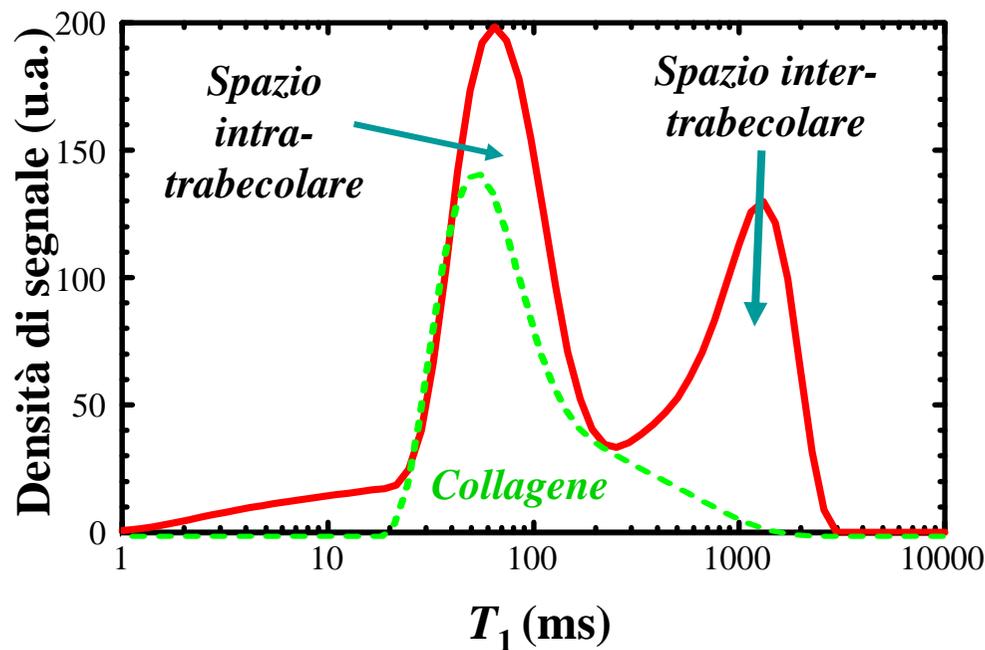
Nuclei a diversa mobilità

I nuclei risentono della presenza di altri nuclei e più precisamente dei campi magnetici locali da essi prodotti. E' proprio in virtù di questo che, una volta cessata la perturbazione, i nuclei possono tornare all'equilibrio, rilassare.

Se i nuclei hanno alta "mobilità" impiegano più tempo, i tempi di rilassamento sono più lunghi, Se invece la mobilità è ridotta, si vede sul FID un rilassamento molto veloce.



Separazione del segnale NMR proveniente dagli spazi inter- ed intra-trabecolari



- In base a questa considerazione ed ad altre conferme sperimentali abbiamo dedotto che il primo picco (tempi più corti) corrisponde

al segnale della porosità intra-trabecolare e l'altro a quello della porosità inter-trabecolare

Il tessuto osseo e le rocce porose: cosa hanno in comune?

- Intorno alla metà degli anni '80, presso l'Università di Bologna avviammo un progetto di ricerca innovativo che si basava sull'idea di **ricercare e sfruttare elementi unificanti nella risposta NMR di sistemi eterogenei di diversa natura ed origine**, aventi in comune il fatto di essere **Mezzi Porosi**.
- La disciplina che è andata via via sviluppandosi prende ora il nome di **Risonanza Magnetica nei Mezzi Porosi (MRPM)**: con le stesse tecniche NMR possiamo studiare sia la struttura del tessuto osseo, sia quella di una roccia.

NMR per lo studio delle rocce

- A partire da immagini acquisite tramite un tomografo a risonanza magnetica, è possibile ricostruire tridimensionalmente immagini interne della porosità di campioni di roccia, metterne in evidenza eventuali fratture oppure la porosità di matrice, come mostrato di seguito.

NMR per i Beni Culturali

- Si possono applicare le metodologie NMR per analizzare lo stato di degrado di materiali lapidei di edifici monumentali e per determinare procedure e materiali per la loro conservazione e il restauro.

NMR per i Beni Culturali

- Da esse abbiamo tratto alcuni campioni di mattoni e malta e su di essi è stata condotta l'analisi della struttura dello spazio poroso mediante curve di rilassamento NMR.
- Il confronto con la porosimetria a mercurio fornisce importanti informazioni sulla dimensione dei pori e sulla loro interconnettività.

Analisi *in situ*



- Gli studi si stanno ora indirizzando verso le analisi *in situ* su oggetti indisturbati mediante l'impiego di strumenti portatili come quello rappresentato in figura