

Laboratorio di Risonanza Magnetica Nucleare (NMR)

Vedere "dentro" ad un mezzo poroso affettandolo virtualmente

Paola Fantazzini, Carla Garavaglia

<http://www.mrpm.org>

La recente assegnazione del Premio Nobel per la Medicina ad un Fisico (Sir Peter Mansfield) per aver ideato e sviluppato la Tomografia a Risonanza Magnetica Nucleare (MRI) ha focalizzato l'interesse su questa tecnica, che permette di ottenere immagini dell'interno del corpo umano in modo non invasivo. Al tempo stesso, questo ambito riconoscimento ha posto l'accento sull'importanza del lavoro del Fisico nel campo della Fisica Applicata (alla medicina, alla biologia, all'ambiente, ai Beni Culturali...).

La realizzazione di semplici esperimenti di laboratorio permetterà agli studenti:

- 1) di farsi una idea del principio fisico che sta alla base dell'ottenimento di immagini MRI di sezioni interne di un materiale poroso qualunque (anche un pezzo di roccia) purchè contenga fluidi idrogenati;
- 2) di toccare con mano alcune applicazioni pratiche nell'ambito della caratterizzazione di prodotti alimentari.

Una ampia e divertente panoramica delle applicazioni a prodotti alimentari si può trovare nel sito: <http://www.hslmc.cam.ac.uk/epsrc/>

Il Principio Fisico

RISONANZA

Un sistema fisico risonante è un sistema in grado di assorbire energia e si dice che è in **condizione di risonanza** quando le condizioni sono tali da determinare il massimo trasferimento di potenza (energia/unità di tempo) al sistema stesso.

Esempi classici fanno riferimento a **situazioni catastrofiche** quali:

- l'azione delle onde sismiche o del vento su edifici;
- il passaggio di veicoli (o di militari in marcia) su di un ponte;
- l'effetto della voce di un soprano su di un lampadario.

Ma esistono svariate **applicazioni positive** della RISONANZA, e di sistemi che funzionano in condizioni di risonanza. Nel nostro caso ci interessa la *RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE*.

RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE

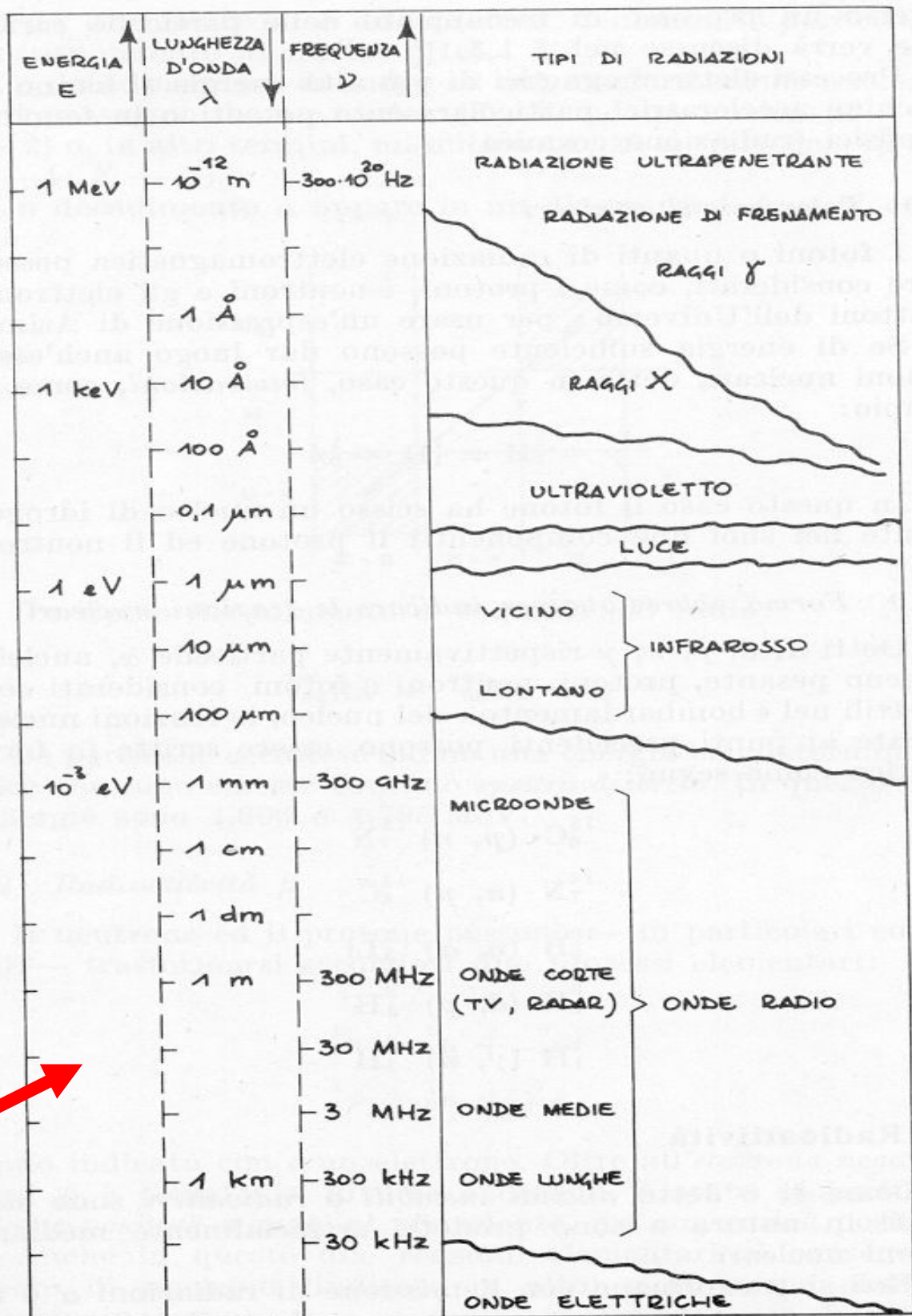
Il sistema risonante:

NUCLEI ATOMICI (quali i nuclei ^1H dell'acqua) immersi in un **CAMPO MAGNETICO B_0** .
L'energia scambiata è sotto forma di **ONDE ELETTROMAGNETICHE**.

La **condizione di risonanza** lega la frequenza ν dell'onda elettromagnetica al tipo di **nuclei** interessati (contraddistinti dal valore della costante caratteristica γ) ed al valore di **B_0**

$$2 \pi \nu = \gamma B_0$$

SPETTRO DELLE ONDE ELETTROMAGNETICHE



PRINCIPIO FISICO PER OTTENERE IMMAGINI MRI

- 1 - assegnare ad ogni punto dello spazio una diversa e nota frequenza di risonanza;
- 2 - l'ampiezza del segnale a quella data frequenza (ottenuta mediante trasformata di Fourier del segnale acquisito) risulterà proporzionale alla densità di nuclei ^1H in quel dato punto.

La “mappatura” dello spazio mediante diverse frequenze di risonanza si può realizzare imponendo un campo magnetico B non più spazialmente uniforme, bensì variabile da punto a punto. Nella sua prima realizzazione il metodo consisteva nel sovrapporre al campo magnetico B_0 un gradiente di campo magnetico costante in una direzione dello spazio e nel ripetere poi l'operazione per diverse direzioni. Questo metodo si chiama di Proiezione e Ricostruzione. Il principio è concettualmente semplice, anche se la realizzazione pratica non lo è affatto e le varianti sono innumerevoli.

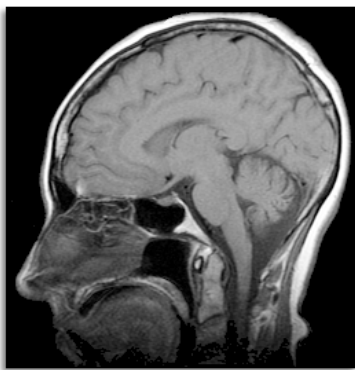
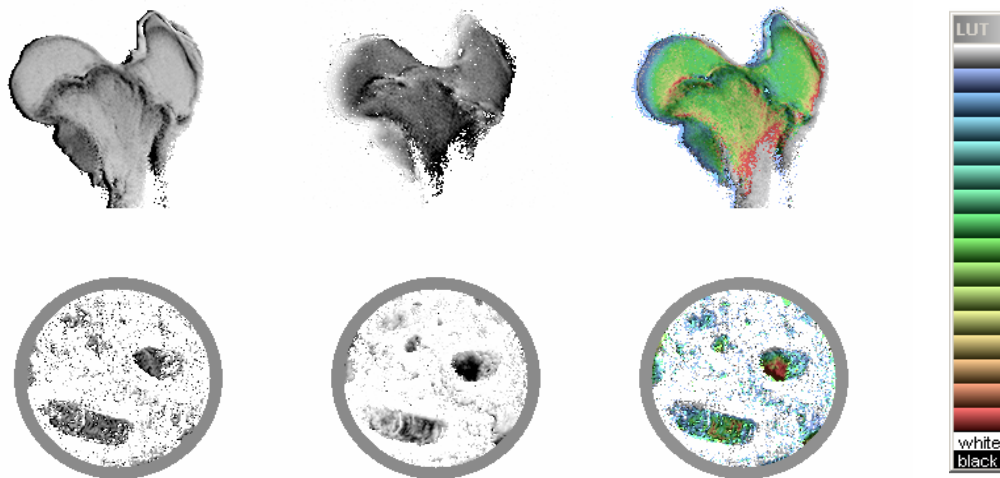


Immagine MRI di una testa umana

Immagine MRI di una bacca di caffè



Immagini MRI di un uovo sodo (a sinistra) e di uno fresco (a destra)



Diverse immagini MRI di un femore di maiale e di una roccia satura di acqua

Attività prevista in laboratorio

Ci si propone di mostrare qualche applicazione dell’NMR in campo alimentare, ai fini di illustrare agli studenti una delle nostre aree di ricerca. Nel corso di questi anni abbiamo sviluppato una tecnica NMR non invasiva, la rilassotomografia, che combina l’analisi in vitro rilassometrica con tecniche di immagine. In pratica, utilizzando le informazioni rilassometriche relative ai tempi di rilassamento T_1 e T_2 (costanti di tempo del processo esponenziale di ritorno all’equilibrio della magnetizzazione dei nuclei idrogeno), si riescono a realizzare mappe anatomico-funzionali degli stessi. Mentre le immagini consentono di ottenere informazioni sulla eterogeneità spaziale, è la rilassometria che fornisce le informazioni su composizione, mobilità molecolare, ambienti chimico-fisici a livello molecolare. In campo alimentare l’NMR consente di individuare le componenti di vari alimenti e "seguirne" la storia in modo da avere chiare indicazioni sull’origine, sulla qualità e sullo stato di conservazione dell’alimento.

MODALITA’ DI ESECUZIONE DELLE ESPERIENZE

Verrà dapprima illustrato il principio fisico dell’NMR nel caso del nucleo ^1H , e discusso come sia possibile ottenere immagini di sezioni interne non solo del corpo umano, ma anche di un materiale poroso qualunque (anche un pezzo di roccia) purchè contenga fluidi idrogenati. Verranno quindi mostrate applicazioni in campo medico (osteoporosi) e nell’ambito dei Beni Culturali. Gli studenti verranno poi guidati nella realizzazione di semplici esperimenti di “manipolazione degli spin” con i quali potranno: 1 - verificare l’ esistenza della condizione di “risonanza”; 2 - valutare il grado di mobilità delle molecole cui i nuclei ^1H appartengono; 3 - quantificare la presenza di nuclei ^1H all’interno di un prodotto alimentare; 4 – distinguere i nuclei ^1H appartenenti a molecole diverse e seguire processi di alterazione del prodotto in base all’analisi dei tempi di rilassamento.

Il prodotto alimentare oggetto degli esperimenti sarà uno dei cinque di seguito elencati. All’inizio della prova ciascun gruppo di studenti verrà invitato a scegliere tra le cinque possibilità.

PARTE I della esperienza di laboratorio: Il principio fisico

1 - Osserviamo il fenomeno e verificiamo la condizione di risonanza:

Disponiamo di un elettromagnete che attualmente fornisce un campo di induzione magnetica $B_0 = 0.474 \text{ T}$ (ricordiamo che $1 \text{ Tesla (1 T)} = 10^4 \text{ gauss}$, e il campo magnetico terrestre è 0.5 gauss). Abbiamo quindi davanti a noi un magnete che produce un campo magnetico che è 10^4 volte quello terrestre.

- a- trasmettiamo all'interno del magnete onde elm di frequenza $\nu = 20.2 \text{ MHz}$
- inseriamo nel magnete *acqua* osserviamo segnale
- inseriamo nel magnete *niente* non osserviamo segnale
- inseriamo nel magnete *olio* osserviamo segnale
- inseriamo nel magnete *un pezzo di ceramica secca* non osserviamo segnale
- inseriamo nel magnete *un pezzo di ceramica satura d'acqua* ... osserviamo segnale
- inseriamo nel magnete *plastica* osserviamo segnale

COSA hanno in comune acqua, olio, plastica?

La presenza di nuclei ^1H

Per ^1H il rapporto giromagnetico $\gamma/2\pi = 42.58 \text{ MHz / T}$

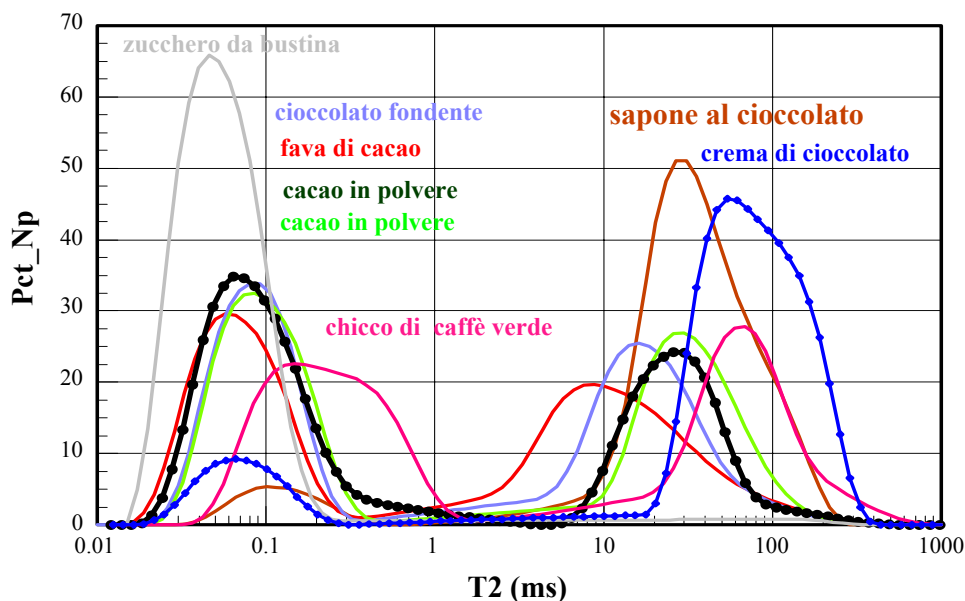
Controlliamo se la condizione di risonanza è soddisfatta: $\nu = \gamma/2\pi B_0$;

$\nu = 42.58 \times 0.474 = 20.2 \text{ MHz} \Rightarrow$ la condizione è soddisfatta

- b- Alternativamente possiamo osservare che se cambiamo frequenza, il segnale dei campioni contenenti nuclei ^1H scompare

2 – Anche la cioccolata da' segnale e possiamo distinguere diversi tipi di cioccolato:

- a- Osserviamo due componenti che distinguono i campioni: una componente, dal rilassamento alla “solido”, più veloce di quella con rilassamento alla “liquido”;
- b- ma si tratta di “solido” e “liquido” non a livello macroscopico, perché la gomma, macroscopicamente solida, ha un rilassamento alla “liquido”.



3 – L'intensità del segnale è proporzionale al contenuto di nuclei ^1H per unità di volume:

- a- Misuriamo l'ampiezza massima del segnale per tre campioni contenenti acqua normale ed acqua deuterata in tre diverse proporzioni: 40%, 60%, 80%
- b- Si osserva che le ampiezze massime dei segnali, rapportate all'unità di volume, stanno tra loro come 4:6:8

PARTE II della esperienza di laboratorio:

ANALISI DI UN PRODOTTO ALIMENTARE

Prima prova – PROSCIUTTO

Valutazione del processo di salagione del prosciutto sulla base del tempo di rilassamento T_1 .

Partendo da provette già confezionate contenenti campioni di prosciutto fresco e prosciutto a fine stagionatura, si determinano i tempi di rilassamento relativi ad una specifica posizione del muscolo indagato sia sul campione fresco, sia sul campione stagionato. I dati acquisiti verranno elaborati sia graficamente, sia mediante elaborazione al computer utilizzando programmi messi a punto presso il laboratorio. Si potrà così determinare la correlazione esistente tra T_1 e tempo di stagionatura del muscolo. Verrà mostrata una applicazione pratica di questo tipo di analisi.

Seconda prova – EMULSIONI

Leggere le etichette degli alimenti: determinazione della percentuale di grasso e acqua nel burro, nel latte, nella panna

Partendo da provette già confezionate contenenti campioni di burro, latte e panna, gli studenti effettueranno la messa in risonanza del campione e la misura del tempo di rilassamento T_2 .

Utilizzando sia un metodo grafico, sia i programmi di calcolo a disposizione del laboratorio, gli studenti constateranno la bi-esponenzialità esibita dalle distribuzioni del tempo di rilassamento T_2 . Ciò permetterà di valutare le percentuali dei nuclei ^1H appartenenti al grasso e di quelli dell'acqua all'interno del campione esaminato. Si potrà sperimentare che effettivamente il burro contiene l'82-83% di grasso, che il latte contiene il 3-4% di grasso, verificando la correttezza dell'etichetta.

Terza prova – CAFFÈ

Valutazione degli effetti del processo di essiccazione nel caffè verde tramite rilassometria.

Partendo da provette già preconfezionate contenenti chicchi di caffè (qualità Arabica) verde e chicchi di caffè a diversi tempi di tostatura, gli studenti determineranno il tempo di rilassamento T_1 per le diverse condizioni in cui si trovano i chicchi con metodo grafico e con strumenti informatici. Potranno così verificare la correlazione esistente tra tempi di rilassamento T_1 e tempi di tostatura del chicco, monitorando tramite misura NMR un processo industriale.

Quarta prova - UOVA

Valutazione del grado di freschezza dell'uovo.

Partendo da provette contenenti tuorlo d'uovo di categorie diverse (fresco e non) si effettueranno misure di T_2 su campioni freschi ed alterati. Con analisi bi-esponenziale grafica e mediante strumenti informatici sarà possibile seguire il processo di alterazione del tuorlo nel tempo.

Quinta prova - CIOCCOLATO

Cosa vuol dire "cacao 100%?". Analisi rilassometrica dei più gettonati tipi di cioccolato, dal fondente puro, al cioccolatino tascabile, alla crema di cioccolato più conosciuta...*con degustazione finale.*

Partendo da provette contenenti crema di cioccolato e cioccolato fondente a diverse percentuali di cacao, gli studenti potranno effettuare misure del tempo di rilassamento T_2 . Utilizzando metodo grafico e strumenti informatici calcoleranno le distribuzioni del tempo di rilassamento T_2 .

Valuteranno così la bi-esponenzialità delle distribuzioni e da queste potranno determinare le percentuali degli ^1H del grasso e quella degli ^1H dell'acqua all'interno del campione esaminato.

Valuteranno quanto grasso c'è nella crema di cioccolato e quanto nel cioccolato puro.