

ESPOSIZIONE A CAMPI MAGNETICI A BASSA FREQUENZA E ANALISI DEI SEGNALE

Francesco Frigerio¹, Irene Carne², Luca Moro²

Fondazione Salvatore Maugeri IRCCS, Centro di Ricerche Ambientali¹, Servizio di Fisica Sanitaria² – Pavia
Via Maugeri 10 27100 Pavia – francesco.frigerio@fsm.it

Saranno illustrati esempi di misure con studio del segnale nel dominio del tempo, analisi in frequenza e valutazione della conformità alle linee guida ICNIRP con il metodo del picco ponderato per diverse sorgenti: cabine di alimentazione elettrica, impianti industriali per controlli non distruttivi (CND), stimolazione magnetica transcranica (TMS) e le stesse risonanze magnetiche, per evidenziare i possibili superamenti dei criteri fissati sia dalle linee guida ICNIRP del 1998, recepite sostanzialmente dalla Direttiva 2004/40/CE, sia dalle nuove linee guida ICNIRP del 2010.

Gli impianti industriali con elevato assorbimento possono contenere armoniche di ordine superiore, anche se non sempre questo comporta un superamento del valore di azione, che sarebbero sfuggite alla semplice misura sul segnale efficace. Le misure eseguite su segnali complessi come quelli generati dalla TMS o dai CND evidenziano il possibile superamento anche delle nuove linee guida ICNIRP. Le diagnostiche a RM, anche a basso campo, confermano il possibile superamento delle linee guida ICNIRP1998.

L'analisi di sorgenti di tipo molto diverso, con strumentazioni e metodi di valutazione applicabili anche allo studio dei campi prodotti dalla RM, evidenzia che in campo industriale come in quello sanitario esistono molte altre tecnologie, spesso in uso da diversi anni, che comportano per i lavoratori un'esposizione al campo magnetico transiente a bassa frequenza superiore ai valori di azione fissati dall'ICNIRP.

INTRODUZIONE

La sospensione della Direttiva 2004/40 sull'esposizione dei lavoratori ai campi elettromagnetici è stata determinata essenzialmente dalla difficile applicabilità dei valori di azione da essa previsti alla diagnostica a Risonanza Magnetica (RM), particolarmente per l'esposizione ai campi magnetici pulsati generati dai gradienti.

Esistono tuttavia diverse altre sorgenti, in ambito medico, civile e industriale, per le quali l'analisi del segnale nel dominio del tempo e la valutazione di conformità secondo i criteri ICNIRP per i segnali complessi evidenzia la possibilità del superamento dei valori di azione.

Proprio in vista di una revisione della Direttiva 2004/40, l'UE ha commissionato all'Imperial College di Londra uno studio per verificare l'impatto dell'eventuale applicazione della Direttiva stessa sulla diagnostica a RM.

Nel lavoro, pubblicato nel 2008 (VT2007017Final Report, 2008) vengono analizzate le diverse modalità di esposizione e vengono elaborati dei protocolli per la misura e la valutazione dei campi elettromagnetici, specifici per la RM.

La conclusione è che i valori di azione per i campi pulsati possono essere superati di diversi ordini di grandezza anche all'esterno del bore dove possono venire a trovarsi sia gli accompagnatori dei pazienti sia il personale in caso di procedure interventistiche.

Lo studio inglese è stato effettuato su n° 4 installazioni di marca Siemens e Philips, con valore massimo del campo statico da 1 a 7 T.

In questo lavoro sono illustrati i risultati ottenuti presso le diagnostiche a RM in dotazione in Fondazione S. Maugeri : GE Healtecure MR750 Discovery a 3T, Siemens Magnetom Harmony a 1T ed Esaote S-Scan a 0,25T.

I risultati ottenuti saranno confrontati con misure eseguite presso diverse sorgenti industriali.

MATERIALI E METODI

Le misure sono state effettuate utilizzando il misuratore di campo Narda ELT 400 con sonda isotropica di campo magnetico da 100 cm² (Narda Safety Test Solutions, Pfullingen, Germania). Sono state utilizzate sia la modalità Field Strength (FS), studiando successivamente i segnali misurati sui singoli assi nel dominio del tempo, sia la modalità Shaped Time Domain (STD), utilizzando la curva di ponderazione basata sui valori di azione dell'ICNIRP versione 1998, recepiti nella Direttiva 2004/40.

I segnali nel dominio del tempo sono stati acquisiti mediante un oscilloscopio digitale a 4 canali GW Instek ed esportati in formato numerico.

L'elaborazione dei segnali è stata effettuata dopo l'acquisizione utilizzando programmi appositamente elaborati con Matlab (The MathWorks Inc., USA).

Nella Figura 1, sono illustrati i filtri digitali ottenuti con Matlab, confrontati con quelli previsti dalla normativa.

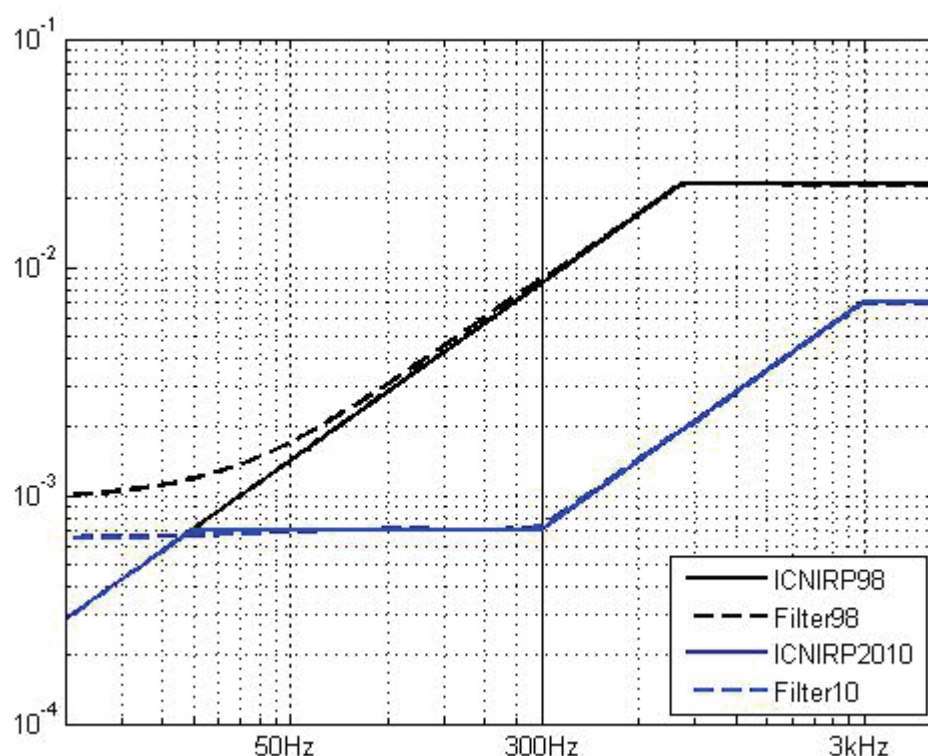
Il metodo di valutazione è basato sullo statement dell'ICNIRP del 2003 (ICNIRP, 2003), la cui validità è stata ribadita anche dalle linee guida ICNIRP del 2010

Le funzioni utilizzate, a frequenza < 50 Hz risultano notevolmente sovrastimanti rispetto alla norma, specialmente in confronto alle linee guida ICNIRP 1998.

Per questo motivo, i valori dell'indice del picco ponderato, WP, rispetto alle linee guida ICNIRP 1998, sono stati ottenuti direttamente dal display dello strumento di misura.

Come si vede dalla Figura, l'accordo tra il valore teorico e il filtro effettivamente applicato per le linee guida ICNIRP 2010, è buono a partire da 30 Hz.

Figura 1: filtrazione dei segnali misurati



MISURE ESEGUITE E RISULTATI

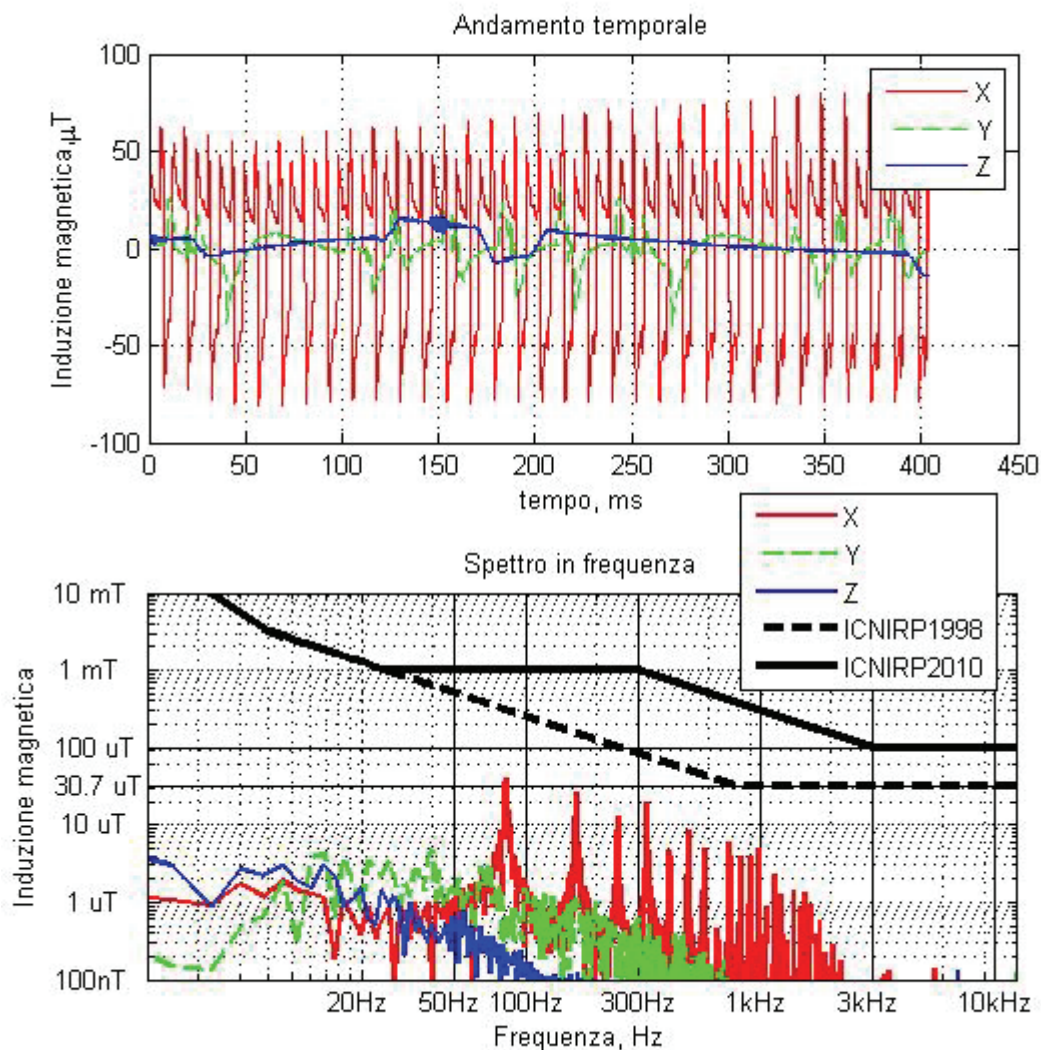
Nella Figura 2 sono illustrati i tre segnali ortogonali nel dominio del tempo e la relativa trasformata di Fourier, misurati a 50 cm dal bore sul lettino del sistema RM Esaote S-Scan a 0,25T: il valore del campo magnetico efficace è $< 50 \mu\text{T}$ con una forma del segnale qualitativamente simile a quelle mostrate nello studio europeo.

La posizione corrisponde a quella occupabile dal personale o dai parenti autorizzati in caso di paziente che necessita assistenza.

Nello studio della Comunità Europea sono discussi i possibili casi di esposizione e le possibili variazioni dovute all'uso di sequenze diverse, i segnali hanno comunque andamento simile a quelli mostrati.

Nella fase di preview, sono individuabili singole componenti dello spettro che si avvicinano ai valori di azione riportati nelle linee guida ICNIRP1998, durante l'acquisizione dell'esame queste componenti risultano molto più basse.

Figura 2: misure eseguite sul sistema RM Esaote S-Scan a 0,25T durante la fase di preview



I valori di B riportati nei grafici risultano modesti mentre si evidenziano numerose componenti in frequenza il cui effetto deve essere valutato con i metodi raccomandati dall'ICNIRP.

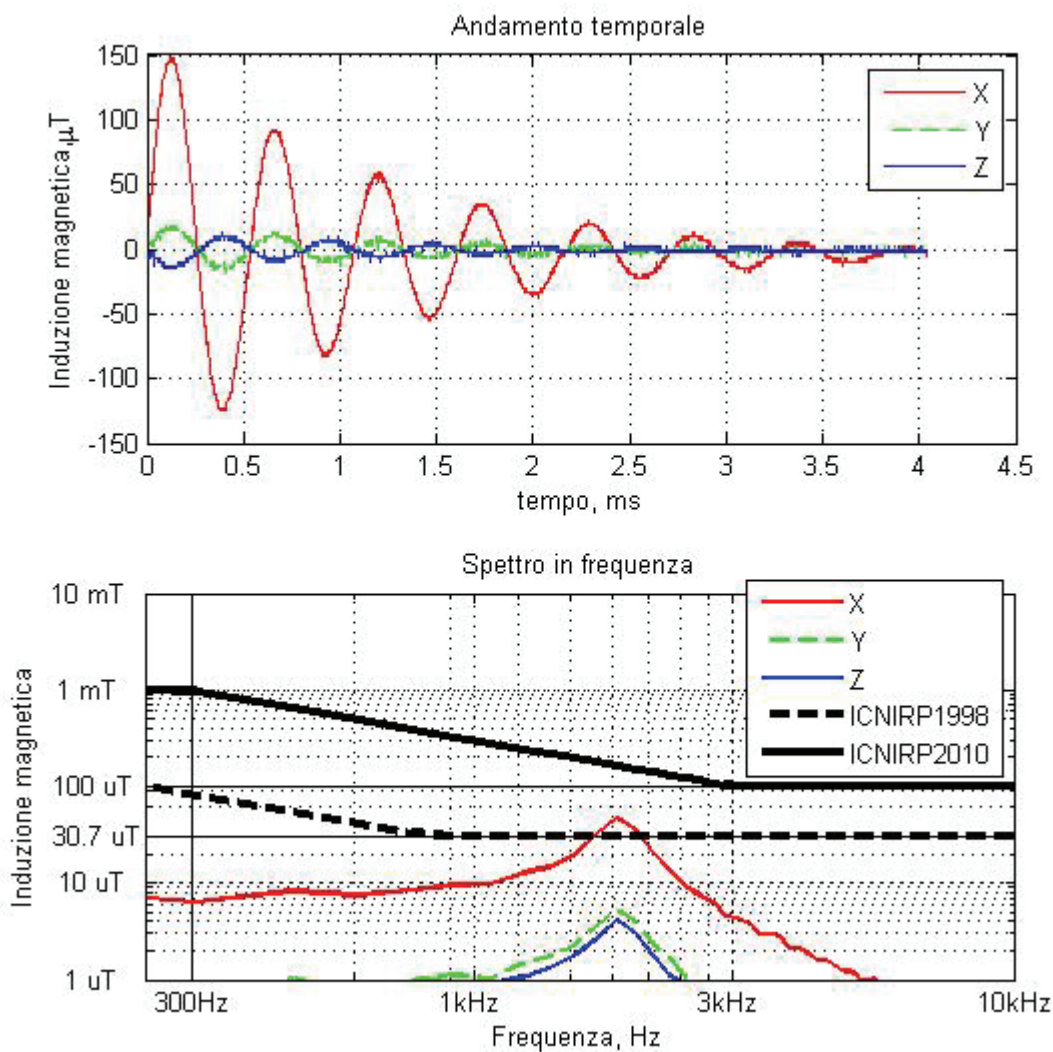
I valori di azione ICNIRP, come mostrato in Tabella 1 risultano superati per la RM da 1 T e per la macchina da 0,25 T nella fase di preview.

Nella Figura 3 è mostrato il campo misurato a 128 cm lateralmente alla bobina utilizzata per la stimolazione magnetica transcranica (TMS) con uno stimolatore ATES STM900.

La bobina viene avvicinata al capo del paziente e viene generato un singolo impulso di campo magnetico; con un elettromiografo collegato al paziente vengono quindi registrate le risposte motorie allo stimolo.

La posizione corrisponde a quella occupata, nelle condizioni operative di normale impiego, dall'operatore addetto alla registrazione dei segnali elettromiografici; l'operatore addetto alla stimolazione si trova con il tronco a distanza molto inferiore dovendo reggere la bobina con la mano e premere il comando dell'impulso che si trova spesso sull'impugnatura della bobina stessa. Nelle condizioni migliori, la mano si può trovare a 8 cm dalla bobina. Con questa particolare forma d'onda "a sinusoide smorzata", il campo ha una sola componente in frequenza, con altri tipi di stimolatore, possono essere presenti più componenti in frequenza.

Figura 3: campo misurato a 128 cm dalla bobina per la TMS



Quando una sola frequenza è dominante, invece di calcolare l'indice WP può essere sufficiente confrontare il valore di picco del campo con il valore di azione alla frequenza equivalente alla larghezza dell'impulso.

La frequenza equivalente è data da $f = \frac{1}{2t_p}$ dove t_p è la durata dell'impulso; il valore di azione per

il livello di picco di impulsi da 250 μ s, equivalenti a 2 kHz, è

43 μ T linee guida ICNIRP 1998

230 μ T linee guida ICNIRP 2010

I valori di azione per campi RMS imperturbati devono infatti essere moltiplicati per 1,4 per il confronto con il valore di picco (ICNIRP 2003).

A 128 cm dal coil, il valore di azione delle linee guida 2010 risulta rispettato, in molti casi l'operatore si trova con il tronco a distanze di circa 60 cm dal coil.

Esistono però anche diverse sorgenti industriali che comportano un'esposizione superiore ai valori di azione della Direttiva 2004/40, anche più frequente e prolungata rispetto alle esposizioni sanitarie.

Nella Figura 4 è riportato il risultato di una delle misure eseguite presso una postazione di Controllo Non Distruttivo (CND) in acciaieria.

L'operatore magnetizza il pezzo da provare azionando un comando a pedale che produce il campo della forma riportata per 2-3 secondi, ogni pezzo.

A fine giornata possono essere controllati anche 30 pezzi da un singolo operatore.

Anche in questo caso sono presenti diverse componenti in frequenza che devono essere valutate mediante l'indice WP.

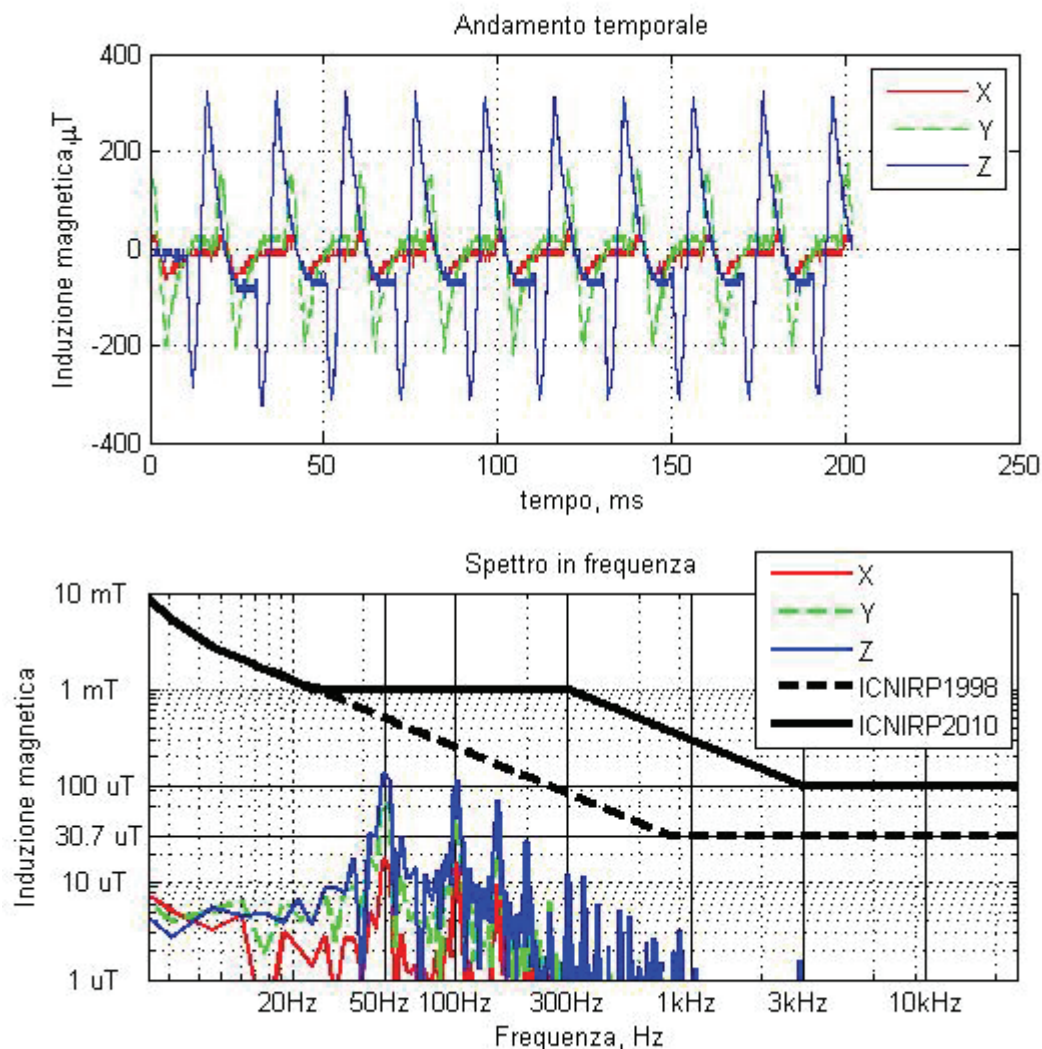
Nella Tabella 1 sono riportati i risultati ottenuti per diverse sorgenti.

Tabella 1: risultati delle valutazioni per diverse sorgenti

Sorgente	Condizioni di misura	% ($\pm 10\%$) rispetto a valore di azione ICNIRP1998	% ($\pm 10\%$) rispetto a valore di azione ICNIRP2010	B _{eff} (μ T)
RM 3T	Su lettino 50 cm out of bore	75	19	3,8
RM 1T	Su lettino 50 cm out of bore	500	193	68,9
RM 0,25 T	Su lettino 50 cm out of bore, durante acquisizione	37	9	14,1
RM 0,25 T	Su lettino 50 cm out of bore, preview	100	13	44,3
TMS	A 8 cm dal coil, (distanza della mano dell'operatore)	36115	6140	4431,8
TMS	A 128 cm dal coil, distanza della mano dell'operatore	361	64	45,8
Motore industriale	a 2 cm da cavi di alimentazione	662	148	679,4
CND Magiscop	zona tronco operatore	401	94	168,7

Si ricorda che gli indici WP sono inferiori al valore di azione quando risultano < 100 %; i valori di B_{eff} possono al più essere confrontati con i valori di azione per la frequenza principale ma in molti casi tale confronto porterebbe ad una sottostima del rischio, almeno secondo le linee guida ICNIRP.

Figura 4: campi misurati nella posizione del tronco dell'operatore durante la magnetizzazione in una postazione CND



DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

La RM si conferma una possibile fonte di superamento dei valori di azione della Direttiva 2004/40; effettivamente anche l'eventuale adozione delle linee guida ICNIRP 2010 non risolverebbe il problema.

Esistono comunque altre sorgenti come la TMS che anche se non portate finora all'attenzione della discussione presentano gli stessi problemi.

L'analisi di sorgenti di tipo molto diverso, evidenzia che in campo industriale come in quello sanitario esistono altre tecnologie, spesso in uso da diversi anni, che comportano per i lavoratori

un'esposizione al campo magnetico transiente a bassa frequenza superiore ai valori di azione fissati dall'ICNIRP.

BIBLIOGRAFIA

An investigation into Occupational Exposure to Electromagnetic Fields for Personnel Working with and around Medical Magnetic Resonance Imaging Equipment (*Project VT2007/017*), scaricabile da <http://www.itis.ethz.ch/downloads/VT2007017FinalReport.pdf>

Guidance on determining compliance of exposure to pulsed and complex non-sinusoidal waveforms below 100 kHz with ICNIRP guidelines International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). . Health Physics 2003; 84(3):383-387.

Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz) International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). . Health Physics 2010, 99 (6)