

# RELAZIONE DI FINE ANNO SULL' ATTIVITÀ DIDATTICA-SCIENTIFICA 2015

## SCUOLA DI DOTTORATO IN FISICA (XXIX ciclo) – II ANNO

Università degli Studi di Bari “Aldo Moro”

**Titolo programma di ricerca:** *Studio e sviluppo di rivelatori a GEM per applicazioni in diagnostica ambientale e medicale*

Dottoranda: Palma Rita Altieri

Tutor: Dr.ssa Anna Colaleo, Dr. Luigi Vitucci

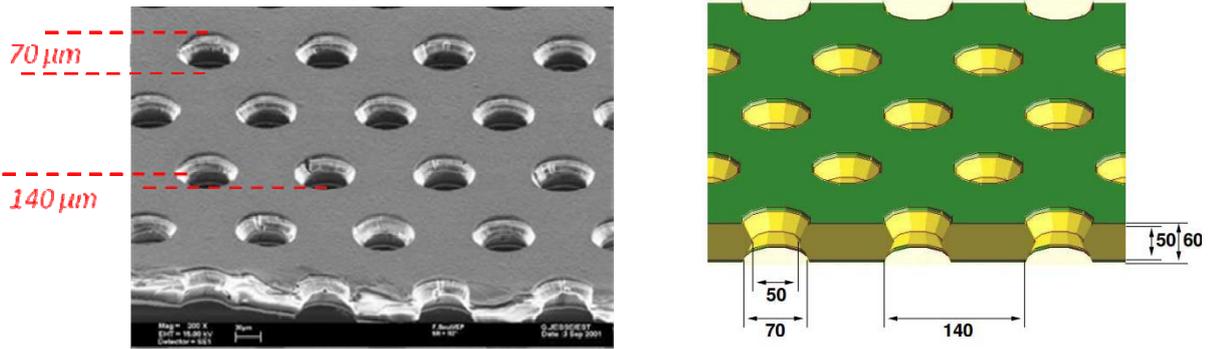
### Attività di ricerca

#### **- Introduzione**

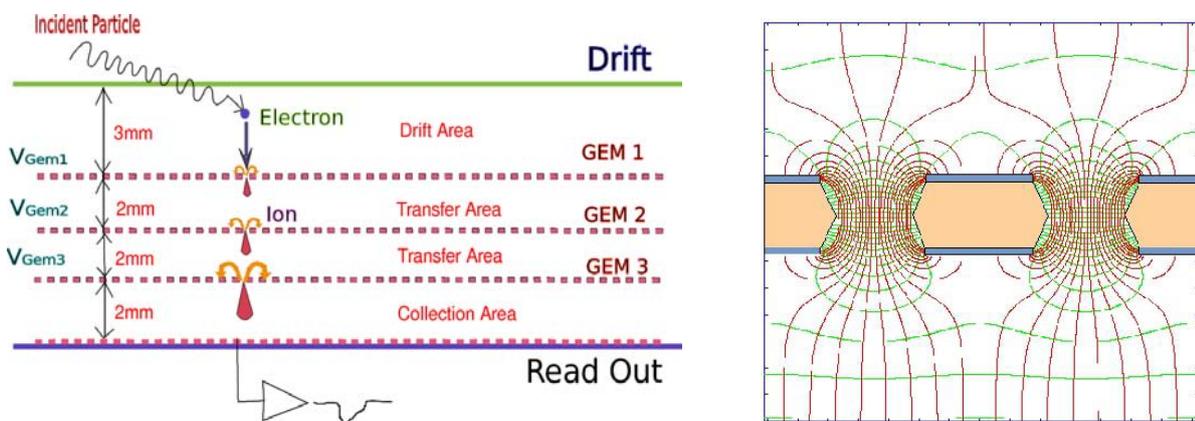
Gli effetti biologici degli adroni suscitano un interesse sempre crescente per la cura delle patologie oncologiche. L'adroterapia costituisce la nuova frontiera per la cura dei tumori, dal momento che il rilascio di una elevata energia alle cellule del bersaglio tumorale fa sì che si inneschino effetti radiobiologici tali da danneggiare il DNA, con conseguente distruzione delle cellule cancerose. Rispetto alla radioterapia convenzionale, l'utilizzo di fasci di adroni (soprattutto protoni e ioni di carbonio), date le superiori proprietà balistiche di questi rispetto ai fotoni ed agli elettroni, consente di poter irradiare tumori profondi favorendo il rilascio di una dose conforme alla dimensione del *target*, con basso impatto sui tessuti sani circostanti. La sempre maggiore diffusione del metodo di somministrazione della dose basato sulla tecnica della scansione attiva del fascio (*Active Scanning System*) e la necessità di sincronizzare il fascio stesso con il movimento di alcuni organi bersaglio (i polmoni per esempio), richiede un controllo temporale dettagliato della distribuzione della dose per preservare la precisione intrinseca della radioterapia con adroni. I fasci utilizzati in adroterapia sono caratterizzati da correnti elevate (l'intensità tipica di un fascio di protoni è di  $10^9$  protoni·cm<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>), per questo è richiesta una nuova generazione di rivelatori dotati di elevata risoluzione spaziale ( $\ll 1$  mm) e temporale (dell'ordine del ns), e di linearità nella risposta su un ampio *range* dinamico. La prerogativa importante per un tale rivelatore è che sia “mini-invasivo”, tale cioè da interferire ed alterare nella minore misura possibile il fascio terapeutico, allo scopo di minimizzare le incertezze su posizione, energia, *range* e stabilità del fascio.

Il *know-how* scientifico e tecnologico in fisica nucleare e subnucleare può trovare applicazione non soltanto alle problematiche legate alla salute umana, ma anche a quelle legate alla salute ambientale, in modo particolare allo studio ed alla rivelazione della radioattività ambientale relativa alla presenza di radionuclidi naturali (<sup>40</sup>K, <sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>222</sup>Rn, <sup>137</sup>Cs) ed artificiali.

I rivelatori a GEM (GEM – *Gas Electron Multiplier*) sono ampiamente utilizzati dal 1997 per il tracciamento delle particelle cariche negli esperimenti di fisica delle alte energie, attualmente si stanno studiando possibili applicazioni in altri campi, per esempio in ambito medico per la diagnostica (*imaging*) e la terapia (adroterapia). I rivelatori a GEM, dato il loro basso costo,



**Figura 1.** A sinistra l'immagine ingrandita di un foglio GEM, a destra una sezione del foglio GEM.



**Figura 2.** A sinistra lo schema di funzionamento di una camera con tre fogli GEM, a destra la rappresentazione delle linee del campo elettrico in corrispondenza di un foglio GEM.

l'elevata sensibilità ed efficienza di rivelazione (prossima al 100 %) possono trovare nuove applicazioni anche in fisica ambientale per la rivelazione di radionuclidi (per esempio  $\alpha$  - emettitori quali il Radon).

La mia attività di ricerca è finalizzata allo studio e realizzazione di un rivelatore a GEM di ultima generazione da impiegare come monitor di fascio per adroterapia in grado di fornire, oltre al profilo del fascio, la distribuzione spaziale e la misura della dose nella fase di pretrattamento. Oltre ad applicazioni in campo medico, si intende studiare anche un prototipo destinato alle misure radiometriche legate alla radioattività ambientale (spettroscopia  $\alpha$ ).

Un rivelatore a GEM è costituito da uno o più fogli di kapton (Figura 1. a sinistra) dello spessore di  $50 \mu\text{m}$  con un deposito di rame di  $5 \mu\text{m}$  su entrambe le superfici; sul foglio vengono realizzati micro-fori ad alta densità (fino a 100 per  $\text{mm}^2$ ) attraverso l'impiego di moderne tecniche fotolitografiche, i fori agiscono come canali di moltiplicazione elettronica. A sua volta ciascun foro è caratterizzato da una struttura biconica con diametro esterno di  $70 \mu\text{m}$  e diametro interno di  $50 \mu\text{m}$  (schema in Figura 1. a destra); la scelta dei suddetti parametri geometrici e la tecnologia impiegata per la realizzazione dei fogli GEM rappresenta un compromesso tra esigenze costruttive e corretto

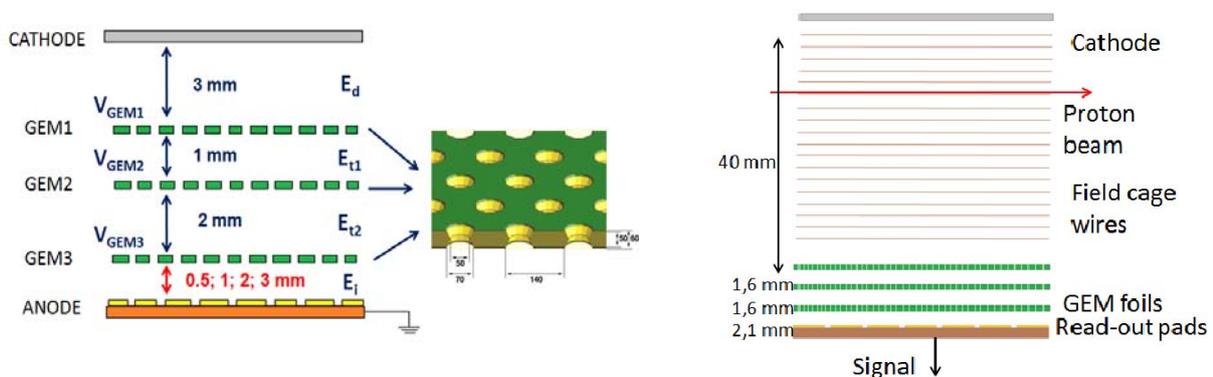
funzionamento del rivelatore. Applicando una differenza di potenziale ai due strati di rame (300÷500 V) gli elettroni primari, prodotti nel volume sensibile della camera dalla radiazione incidente per effetto della ionizzazione del gas presente, si muovono sotto l'effetto di un campo elettrico (Figura 2. a destra) che diventa particolarmente intenso nelle buche (fino a valori di 100 kV/cm), con la conseguente moltiplicazione a valanga della carica. Il principio di funzionamento di un rivelatore a GEM è schematizzato in Figura 2. a sinistra. Il segnale di corrente indotto sul piano anodico dalla carica prodotta viene elaborato mediante l'elettronica di *read-out*.

I rivelatori ad amplificazione a GEM sono caratterizzati da buona risoluzione spaziale ( $\sim 100\mu\text{m}$  [strip pitch/sqr(12)]), buona risoluzione temporale (4-5 ns), alta efficienza di rivelazione ( $> 98\%$ ) e resistenza a elevati flussi di radiazione. Tali rivelatori sono inoltre dotati di robustezza, flessibilità e versatilità, ragione per cui si stanno cercando, come già detto sopra, loro nuove possibili applicazioni.

La mia attività di ricerca durante il secondo anno di dottorato ha riguardato sia lo sviluppo di codici di simulazioni Monte Carlo, che test preliminari di laboratorio, su un nuovo prototipo del rivelatore chiamato TPC – GEM (TPC -*Time Projection Chamber*) per applicazioni in terapia adronica.

Infatti, sebbene la camera planare a tripla GEM (Fig. 3 a sinistra) oggetto dell'attività di ricerca del primo anno di dottorato, fosse caratterizzata da buona risoluzione spaziale e temporale, il rivelatore TPG (Fig. 3 a destra), data la ridotta presenza di materiale nella regione attiva, non perturba o degrada in modo significativo il fascio terapeutico.

La TPG è dotata di una *field cage* a forma di parallelepipedo costituita da 19 fili metallici (diametro di  $100\mu$  e passo di 2 mm) che produce un campo elettrico uniforme nella regione di deriva. Inoltre, è il primo prototipo di *field cage* costituito dai due lati ortogonali alla direzione del fascio trasparenti, mentre le pareti laterali e parallele alla direzione del fascio sono circuiti stampati sui quali sono saldati i fili. Il rivelatore ha tre piani GEM posizionati in modo da creare una regione di deriva di 40 mm, due regioni di amplificazione di 1,6 mm e una regione di induzione di 2,1 mm. Il piano anodico è segmentato in pad, le due geometrie disponibili sono:  $60\times 2$  pad da  $6\times 2\text{ mm}^2$  e  $30\times 4$  pad da  $3\times 3\text{ mm}^2$ .



**Figura 3.** A sinistra uno schema della camera planare a tripla GEM, a destra uno schema della camera TPC-GEM (TPG).

### - Simulazione Monte Carlo del rivelatore TPG

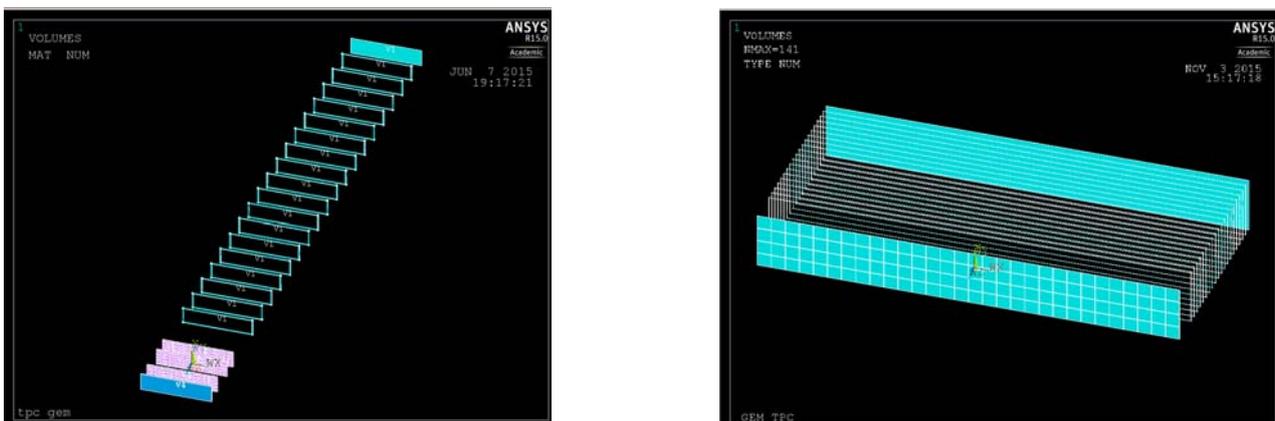
Il primo passo di questo lavoro è stato lo studio dettagliato della camera TPG mediante simulazioni basate sul metodo Monte Carlo; in generale tali simulazioni si rivelano uno strumento fondamentale per:

- ✓ progettare ed ottimizzare le prestazioni di nuovi rivelatori;
- ✓ comprenderne il comportamento;
- ✓ confrontare i risultati con i dati ottenuti dalle misure sperimentali.

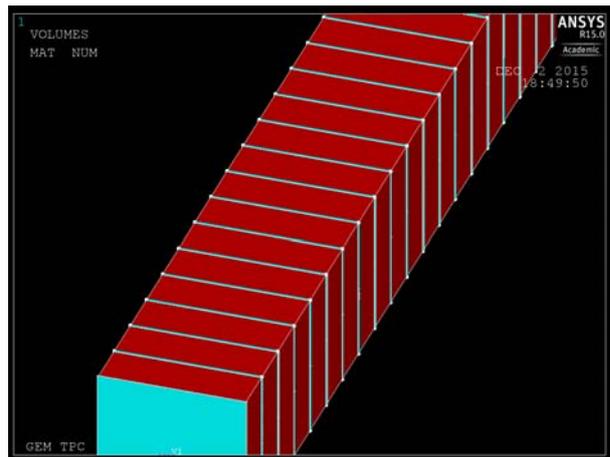
La simulazione del rivelatore richiede la combinazione di *software* differenti: ANSYS, Garfield++ e ROOT.

Per lo studio del rivelatore e per la migliore comprensione del suo comportamento, la prima operazione necessaria è il calcolo del campo elettrico. Dopo aver costruito il modello geometrico (*CAD model*) attraverso uno *script* di input in linguaggio FORTRAN, richiesto dal *software* ANSYS, si assegnano le proprietà elettriche (costante dielettrica e resistività) ai materiali dei singoli componenti. Successivamente si impostano opportunamente i valori dei campi elettrici e delle tensioni di polarizzazione per la produzione della mappa del campo elettrico. Sulla base del metodo degli elementi finiti (FEM), nella fase detta di *meshing*, la struttura viene approssimata con una rete di nodi sulla base della quale, dopo il calcolo del potenziale, viene prodotta la mappa completa 3D del campo elettrico (ossia un file in formato .lis leggibile dal codice Garfield++) dove sono riportati i valori del campo elettrico e del potenziale in tutti i nodi.

Insieme alla mappa del campo elettrico vengono importati nel codice Garfield++ anche altri file prodotti, relativi alla struttura geometrica (nodi ed elementi) ed alle proprietà dei materiali. Nella Figura 4 sono mostrati i modelli geometrici implementati relativi alla camera TPG, a sinistra sono mostrati, partendo dall'alto, il catodo, la *field cage*, i tre piani GEM ed il piano anodico. Nella stessa figura, a destra, è mostrato il modello semplificato della camera con il catodo, la *field cage* e il piano di *read-out*.



**Figura 4.** CAD model della TPG sviluppati in ANSYS. A sinistra la camera con il catodo, la filel cage, i tre piani GEM ed il piano anodico. A destra la versione semplificata senza piani GEM.



**Figura 5.** A sinistra il *CAD model* della cella elementare per la simulazione delle regioni e dei campi di trasferimento e di induzione; a destra il *CAD model* della sola *field cage* (riempita con il gas in rosso), per la simulazione della regione e del campo di deriva.

La struttura del rivelatore TPG, però, risulta piuttosto complessa, e pertanto è risultato problematico, in termini di tempi e costi computazionali, produrre una mappa unica del campo elettrico utilizzando il modello geometrico completo della TPG. Per questo motivo ho ritenuto opportuno eseguire una operazione di “fattorizzazione”, e quindi suddividere il calcolo del campo elettrico considerando separatamente il contributo della *field cage* (Fig. 5 a destra), quindi del campo di deriva, ed il contributo dell’amplificazione e dell’induzione, cioè dei piani GEM e del piano anodico (Fig. 5 a sinistra). Secondo il suddetto metodo, una volta ottenuto il calcolo dei campi elettrici, attraverso il codice Garfield++ si può simulare la produzione di elettroni nella regione di deriva da parte di un fascio di protoni. Una volta ricavata la distribuzione spaziale e temporale degli elettroni primari prodotti in corrispondenza del primo piano GEM, è possibile, a partire da questi, simulare il processo di moltiplicazione della carica attraverso i tre stadi di amplificazione.

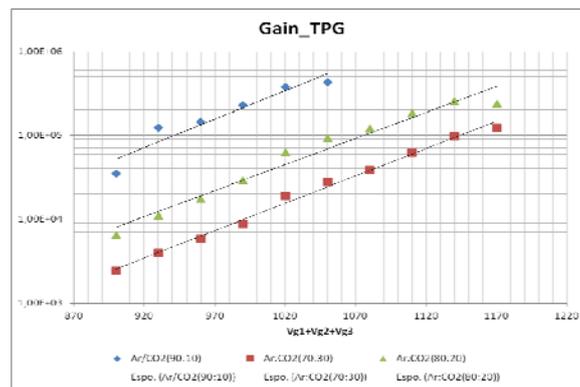
Il *framework* di simulazione appena descritto è in fase di completamento. Una volta testato si procederà a:

- 1) eseguire l'ispezione dei campi elettrici prodotti mediante ANSYS, in modo particolare il campo di deriva, per verificarne l'uniformità;
- 3) eseguire un *tuning* dei campi elettrici e delle tensioni di polarizzazione da applicare poi al prototipo in fase di test per conseguire condizioni ottimali in termini di guadagno (parametro principale che descrive la qualità dell'amplificazione e che deve essere ottimizzato), di risoluzione spaziale e temporale;
- 2) studiare il comportamento in presenza di miscele diverse di gas (Ar-CO<sub>2</sub>);
- 4) simulare l'impulso di corrente prodotto sull'anodo per stimare la distribuzione spaziale della carica raccolta sul piano di lettura e sulla *cluster size*, ossia dell'accensione di più pad adiacenti da parte della particella incidente.

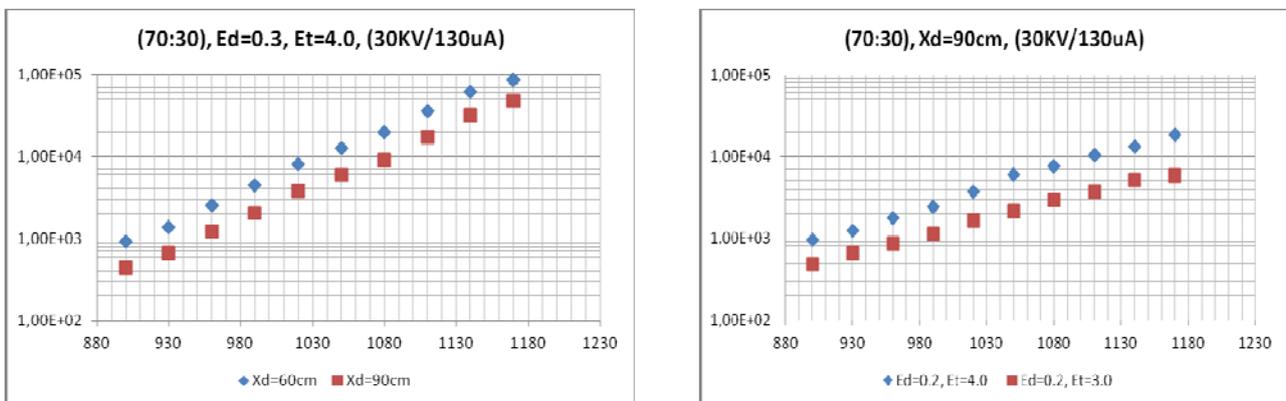
E' importante notare che i limiti delle simulazioni basate sul metodo Monte Carlo sono la richiesta di elevata potenza di calcolo ed i lunghi tempi di esecuzione, questo si traduce in una certa difficoltà ad accumulare sufficiente statistica per predire il *trend* delle proprietà del *detector* oggetto di studio. Per superare questo inconveniente, a breve, si procederà al *porting* dei codici descritti su GRID.

**- Test del rivelatore TPG**

Dopo la fase di progettazione, la costruzione e l'assemblaggio del prototipo di rivelatore TPG presso la sezione INFN di Bari, da poco terminate, è stata eseguita una caratterizzazione preliminare del rivelatore considerando parametri variabili quali la miscela del gas, la distanza dalla sorgente, campi elettrici e tensioni di polarizzazione. Per le misure sono state utilizzate un tubo a raggi X (collimatore 2 mm, condizioni di lavoro: 30 kV e 130  $\mu$ A) ed una miscela del gas Ar-CO<sub>2</sub>. In Fig. 6 sono mostrati i primi risultati relativi alla misura del guadagno utilizzando miscele diverse di Ar-CO<sub>2</sub> (70:30 – 80:20 – 90:10) che riproducono l'andamento atteso. In Fig. 7 a sinistra è mostrato il guadagno in corrispondenza della distanza di 60 e 90 cm del tubo a raggi X dalla TPG, nella stessa figura a destra è mostrato il guadagno per valori diversi del campo di deriva.



**Figura 6.** Guadagno della TPG per diverse miscele di Ar-CO<sub>2</sub> con un tubo a raggi X (campo di deriva di 200 V/cm, campo di trasferimento 2 kV/cm e campo di induzione 2.1 kV/cm) .



**Figura 7.** A destra il guadagno della TPG misurato al variare della distanza dal tubo a raggi X (60 e 90 cm); a sinistra il guadagno misurato in corrispondenza di valori diversi del campo di trasferimento (300 e 400 kV/cm).

A questa fase iniziale, non appena sarà montata l'elettronica di lettura, seguiranno test sistematici per la stima di altri fattori importanti, per esempio la risoluzione spaziale, l'efficienza e la trasparenza. Nella fase conclusiva sarà interessante confrontare i dati dalle misure eseguite sul rivelatore, sia nella fase di caratterizzazione che di *test beam*, con i risultati delle simulazioni.

Come già anticipato, parallelamente allo studio ed al test della camera TPG, si sta effettuando uno studio di fattibilità per adattare la camera alla rivelazione delle particelle  $\alpha$ , ed estendere quindi, la sua applicazione, alle misure radiometriche per la radioattività ambientale.

### **Attività didattica**

L'attività didattica da me svolta comprende la partecipazione ai seguenti seminari e conferenze.

#### **Seminari**

- *"GPU applications for scientific computation, training and visualization"*, Dr. Brad Hittle (Ohio Supercomputer Center), Sezione INFN di Bari, 01 Luglio 2015.

#### **Partecipazione a conferenze**

- *"Medical Physics Workshop: "PET cameras: Principles, use in hospital & ongoing developments"*, Ohrid (Macedonia), 6 - 8 September 2015;
- *"4th Conference on Micro-Pattern Gaseous Detectors & RD51 Collaboration Meeting"*, Trieste (Italy), 12 - 17 October 2015.

#### **Presentazioni a conferenze internazionali**

- *"Medical Physics Workshop: "PET cameras: Principles, use in hospital & ongoing developments"*, Ohrid (Macedonia), 6 - 8 September 2015, comunicazioni:
  - *"Hadron therapy principles"*;
  - *"Use of PET in hadron therapy"*.
- *"4th Conference on Micro-Pattern Gaseous Detectors & RD51 Collaboration Meeting"*, Trieste (Italy), 12 - 17 October 2015, Poster : *"A beam monitor based on MPDG detectors for hadron therapy"*.

#### **Pubblicazioni**

- *"Quality control and beam test of GEM detectors for future upgrades of the CMS muon high rate region at the LHC"*, D. Abbaneo et al. [CMS GEM Collaboration], 2015, JINST 10 (2015) 03, C03039.

- “*A beam monitor based on MPDG detectors for hadron therapy*”, P.R. Altieri Corresponding Author, 4<sup>th</sup> Conference on Micro-Pattern Gaseous Detectors & RD51 Collaboration Meeting, submitted to European Physical Journal (EPJ) Web of Conferences.