

FISICA PER TUTTI

Particle Therapy International Masterclass: l'esperienza italiana **Particle Therapy International Masterclass: the Italian experience**

M. Colucci, L. Confalonieri, F. Groppi

Dipartimento di Fisica, LASA, Università di Milano, Milano, Italia

INFN - Sezione di Milano, Milano, Italia

M. Capua

Dipartimento di Fisica, Università della Calabria, Cosenza, Italia

INFN - Gruppo Collegato di Cosenza, Cosenza, Italia

L. Alborghetti

Dipartimento di Fisica, LASA, Università di Milano, Milano, Italia

Università Vita-Salute San Raffaele, Milano, Italia

F. Cagnetta

INFN - Sezione di Milano, Milano, Italia

Liceo Scientifico Donatelli, Milano, Italia

S. S. Galvez Febles

Dipartimento di Fisica, LASA, Università di Milano, Milano, Italia

Helmholtz Zentrum München, Germany

A. Olivieri, N. Sgambelluri

Dipartimento di Fisica, Università della Calabria, Cosenza, Italia

R. Tucci

Liceo Scientifico E. Fermi, Cosenza, Italia

Riassunto. L'*International Particle Therapy Masterclass* è un evento divulgativo e di formazione promosso dall'*International Particle Physics Outreach Group* (IPPOG) e supportato per l'Italia dall'INFN. Lo scopo è quello di far conoscere agli studenti e alle studentesse alcune delle applicazioni della fisica alla medicina riguardanti la terapia del cancro mediante radioterapia convenzionale e non. Per la prima volta in Italia, nel 2021, le sezioni INFN di Milano e Cosenza hanno realizzato l'evento con il supporto delle Università di Milano Statale e della Calabria. Nel 2022 anche le sezioni INFN e le università di Pavia, Pisa e Torino

hanno aderito a questa iniziativa permettendo a diversi studenti e studentesse di vestire i panni del fisico medico per un giorno. In questo contributo viene descritta l'organizzazione dell'evento che si è mostrato particolarmente efficace nell'avvicinare studentesse e studenti alle discipline STEM. Gli esiti dei 54 questionari proposti alle persone partecipanti sono stati utili sia per migliorare l'evento che per contribuire a comprendere l'orientamento di genere verso queste discipline.

Abstract. The *International Particle Therapy Masterclass* is a training event promoted by the *International Particle Physics Outreach Group* (IPPOG) and supported in Italy by INFN. The aim is to introduce students to some of the medical applications of physics for the cancer therapy through conventional and non-conventional radiotherapy. For the first time in Italy, the INFN sections of Milan and of Calabria, supported by the respective universities, realized this event. In 2022 also the INFN section of Pavia, Pisa and Turin have joined this initiative allowing several students to take on the role of medical physicist for a day. The purpose of this article is to describe the organization of this event that was very effective to bring students closer to STEM disciplines. The results of the 54 questionnaires proposed to the participants were useful both for improving the event and for helping to understand gender orientation towards these disciplines.

1. Introduzione

Le *International Masterclass* (IMC) [1] sono un'occasione unica per avvicinare le studentesse e gli studenti degli ultimi anni delle scuole superiori di secondo grado alla fisica, diventando ricercatrici e ricercatori per un giorno. Il concept delle IMC nasce nel 2005 su proposta dell'*International Particle Physics Outreach Group* (IPPOG) alla quale è seguita una crescita esponenziale dell'interesse, raggiungendo nel 2019 oltre 10000 partecipanti [2]. Le IMC si occupano di diversi temi relativi alla fisica delle particelle, dagli esperimenti del CERN come ATLAS e CMS, fino alla *Particle Therapy* con adroni.

La *Particle Therapy Masterclass* (PTMC) nasce nel 2019 e si pone l'obiettivo di avvicinare studentesse e studenti alle applicazioni della fisica alla medicina per la cura del cancro mediante radioterapia convenzionale e non, mostrando loro l'importanza della ricerca di base e il suo impatto sulla salute delle persone e sulla società [3].

La struttura della PTMC riflette quella delle classiche IMC: un evento della durata di circa 8 ore in una giornata che può essere selezionata in un arco temporale di due mesi. Le giornate dedicate alla masterclass vedono la partecipazione di 5 istituti per volta provenienti da diversi Paesi di ogni parte del mondo. Durante la giornata, presso ciascun istituto, si tengono delle lezioni introduttive sul tema della fisica medica e tutoraggi in preparazione all'attività *hands-on*. Quest'ultima prevede la simulazione di piani di trattamento radioterapici con fasci di fotoni, protoni e ioni carbonio, utilizzando il software MatRad in una versione sviluppata per scopi didattici dal DKFZ (Heidelberg, Germania) [4]. Al termine della sessione locale ha luogo il videocollegamento con il CERN durante il quale le persone partecipanti hanno la possibilità di condividere i propri risultati con i loro corrispondenti di altri Paesi e con

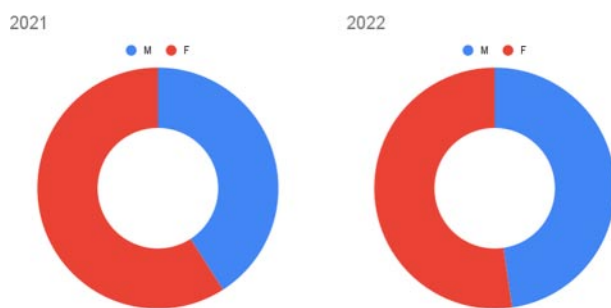


Fig. 1. – Bilancio di genere relativo alle prime due edizioni italiane della PTMC. Come si evince dai grafici si ha una lieve maggioranza di studentesse.

esperti del settore. Si assiste inoltre a visite virtuali di importanti centri di ricerca nell'adroterapia come il GSI (Darmstadt, Germania) ed il CNAO (Pavia, Italia).

2. Le prime edizioni in Italia

L'Italia ha partecipato per la prima volta alla PTMC nel 2021. In particolare, la sezione INFN di Milano (referente Prof.ssa Flavia Groppi) e il Gruppo Collegato INFN di Frascati a Cosenza (referente Prof.ssa Marcella Capua) hanno inaugurato le PTMC italiane il 23 Marzo 2021. Per via delle restrizioni legate alla pandemia da COVID-19 e vigenti al momento dello svolgimento della masterclass, la prima edizione italiana di questo evento ha avuto luogo completamente online ponendo gli organizzatori davanti a sfide ancora più ardue dal punto di vista dell'organizzazione e della gestione dei partecipanti da remoto coinvolti nell'apprendimento di tematiche complesse. Questa edizione ha avuto il ruolo di evento test per l'introduzione delle PTMC all'interno sistema scolastico italiano, per questa ragione sono state invitate a partecipare un numero ridotto di scuole di Milano e Cosenza già coinvolte in eventi internazionali simili. Il numero totale di partecipanti è stato volutamente ristretto a 21. A livello internazionale alla stessa giornata hanno partecipato parallelamente istituti dalla Lettonia, dalla Germania e dall'Egitto.

La seconda edizione ha avuto luogo il 18 Marzo 2022 in modalità mista, anche per permettere la partecipazione a un numero maggiore di persone, in totale 65. Parallelamente alle sezioni di Milano e Cosenza hanno partecipato anche altri due istituti dalla Bosnia ed Erzegovina.

Il bilancio di genere è stato generalmente rispettato in entrambe le edizioni, con una leggera maggioranza di partecipazione femminile come si evince dalla fig. 1. Nella sezione seguente vengono sintetizzate le principali fasi della giornata.

3. Descrizione dell'evento

Il fine delle PTMC è quello di introdurre un ambito della scienza, la fisica, e presentarla come possibile futuro professionale valorizzando il ruolo che essa ricopre

per la società. Per raggiungere questo obiettivo è stato previsto un percorso didattico che accompagnasse i partecipanti dalle nozioni di base della fisica applicata alla salute dell'uomo fino a raggiungere un grado di conoscenze sufficienti per la simulazione di un piano di trattamento radioterapico con fasci di adroni e fotoni. Fare un passo così grande in una sola giornata richiede particolare attenzione nella scelta dei contenuti da presentare ed è fondamentale l'interazione tra chi tiene le lezioni e la platea. Anche quest'ultima considerazione rende necessaria la limitazione del numero di partecipanti.

Il primo seminario proposto dal titolo "La fisica applicata alla medicina", tenuto dalla Prof.ssa Flavia Groppi, ha avuto lo scopo di accompagnare passo dopo passo i partecipanti dalla scoperta dei raggi-X con le relative applicazioni in imaging e in terapia, alla diagnostica con radioisotopi fino alla terapia con adroni. Al contempo sono presentati, in maniera semplificata, concetti fondamentali in fisica medica quali le grandezze dosimetriche e radioprotezionistiche.

È seguita la presentazione dal titolo "La fisica delle particelle applicata alla salute" tenuta dalla Prof.ssa Marcella Capua che ha avuto lo scopo di mostrare lo stretto legame tra la ricerca di base in fisica delle particelle e le applicazioni in vari ambiti della fisica applicata tra cui la fisica medica. Infatti, la terapia del cancro con fasci esterni di particelle sfrutta ampiamente le esperienze acquisite per la ricerca di base. Nella stessa presentazione sono stati forniti dati recenti sulla diffusione del cancro nel mondo.

Una presentazione tenuta dal Dott. Marco Pullia (CNAO) ha concluso le attività del mattino. Durante quest'ultima, i partecipanti hanno avuto modo di compiere una visita, seppur virtuale, al Centro Nazionale di Adroterapia Oncologica (CNAO) di Pavia. Si è fatto in modo che una serie di concetti, che possono sembrare in primo luogo astratti, si concretizzassero nel luogo e nella strumentazione attraverso la quale il Dott. Pullia ha fatto da guida.

Ogni presentazione è durata circa 60 minuti incluso il tempo per eventuali domande. Al termine di queste è stata prevista una pausa pranzo di circa un'ora. Nella prima edizione il gruppo di studenti ha impiegato il tempo liberamente. Nella seconda edizione, la sede di Milano, ha svolto l'evento presso i locali del dipartimento di Fisica dell'Università La Statale, e ha organizzato il pranzo per tutti gli studenti e le persone che hanno contribuito all'evento. Questa pausa ha un ruolo importante perché è anche momento informale di incontro con i ricercatori e le ricercatrici che lavorano insieme a loro durante la giornata. La sezione della Calabria, a causa della pandemia fortemente attiva nei giorni dell'evento, si è vista costretta a realizzare nuovamente l'evento interamente da remoto.

Il pomeriggio è stato dedicato ad una sessione *hands-on* in cui i partecipanti hanno potuto in prima persona simulare un piano di trattamento di un tumore in modo molto simile a ciò che in realtà fisiche e fisici fanno, in sinergia con gli oncologi, per realizzare un adeguato piano per il trattamento di un tumore. A differenza della mattina, la sessione pomeridiana è stata realizzata indipendentemente dalle due università e gruppi INFN. In ogni sede, giovanissimi ricercatori, ricercatrici e laureandi hanno tenuto delle presentazioni volte a rendere gli studenti autonomi nell'utilizzo

del software MatRad, nella comprensione e nell'analisi dei risultati delle simulazioni effettuate. L'approccio è stato pratico, partendo direttamente dall'utilizzo del programma MatRad, fornendo di volta in volta gli strumenti necessari in primo luogo a utilizzare al meglio il software comprendendo il significato dei parametri di input e di ottimizzazione, e poi a interpretare in maniera critica i risultati.

Al termine della preparazione, gli studenti sono stati divisi in gruppi di 2-3 persone e a ciascun gruppo è stato assegnato un esercizio da svolgere nelle successive 2 ore. La versione di MatRad proposta è una versione didattica atta a raggiungere lo scopo dell'evento, ma è pur sempre un programma complesso che offre la possibilità di sfruttare la simulazione di tumori in specifici organi per pianificare un trattamento realistico che offra la massima dose di radiazione alla massa da irradiare risparmiando gli organi limitrofi a rischio. Per far ciò, gli studenti e le studentesse, hanno la possibilità di scegliere tipo di fascio da inviare alla massa (fotoni, protoni o ioni carbonio), la direzione e il numero di fasci incidenti. Un esempio di esercizio con relativa soluzione ottenuta è riportato nella sez. 3.1.

Tutti i risultati sono confluiti in una presentazione comune costruita dagli stessi studenti contemporaneamente al lavoro su un file condiviso. Questa presentazione è stata centrale nell'ultimo momento della giornata: il videocollegamento con il CERN. A quest'ultima sessione hanno partecipato tutti gli studenti e le studentesse che, nella stessa giornata, hanno svolto la masterclass in diverse parti del mondo. Una persona referente per istituto, a turno, ha presentato il lavoro svolto incarnando il ruolo del ricercatore che comunica i risultati del proprio lavoro alla comunità scientifica. Questa fase ha un alto impatto emotivo e formativo non solo per chi presenta ma per tutti i partecipanti, come testimoniato dalle reazioni degli studenti al termine del collegamento. Inoltre i partecipanti hanno avuto modo di ascoltare i contributi di esperti del settore provenienti da importanti centri di ricerca come i noti CERN, PSI, GSI e DKFZ.

Il quiz finale svolto in contemporanea da tutte le persone in collegamento con il CERN ha avuto come vincitore per entrambe le edizioni uno studente del gruppo di Milano. Questo risultato è molto positivo anche perché ha permesso di concludere che la formazione teorica ottenuta mediante le presentazioni del mattino è stata molto efficace, non solo nel trasmettere i concetti di base, ma anche nello stimolare l'interesse e la voglia di mettersi alla prova sui temi della fisica medica.

3.1. Esempio di esercizio svolto

In ciascuna edizione le studentesse e gli studenti sono stati divisi in piccoli gruppi da 2-3 unità, ai quali è stato assegnato un esercizio diverso basato su quanto proposto dagli organizzatori internazionali e adattati dai tutor di ciascuna sezione.

I testi degli esercizi sono stati costruiti in modo che ciascun gruppo potesse trarre delle conclusioni sulle simulazioni di trattamento effettuate, e che l'unione dei risultati con la relativa discussione permettesse di delineare un quadro ancora più generale. Il testo di un esercizio a titolo di esempio è riportato di seguito.

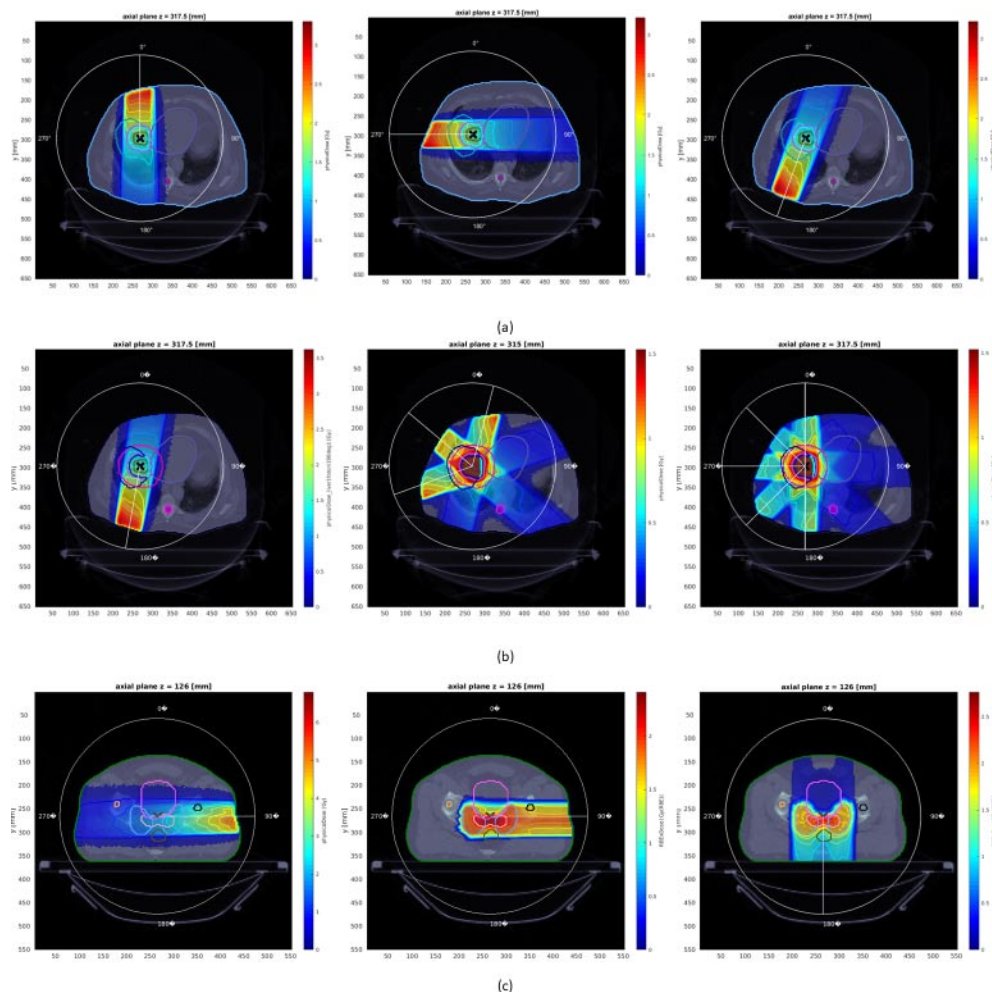


Fig. 2. – Esempi di risultati ottenuti dagli studenti nell'ambito della PTMC ed. 2022: (a) confronto di piani di trattamento per tumore al fegato con singolo fascio di fotoni e diverso angolo di incidenza; (b) confronto tra piani di trattamento con 1, 3 e 5 fasci di fotoni non equi-spaziati; (c) confronto tra piani di trattamento per tumore alla prostata con un fascio di fotoni, protoni e ioni carbonio.

1. *Aprire il file contenente il materiale riguardo al fegato colpito da tumore (LIVER.mat); Suggestione. Deselezionare i seguenti organi: reni, intestino crasso, intestino tenue, duodeno.*
2. *Ottimizzare un piano di trattamento con 3 fasci di fotoni provando a sperimentare diverse posizioni degli angoli di incidenza del fascio in modo da trovare una configurazione che massimizzi l'efficacia del trattamento.*
3. *Ripetere ottimizzando un piano di trattamento con 5 fasci di fotoni. (Suggestione: prova con 5 fasci equi-spaziati sui 360° e con 5 fasci equi-spaziati tra 180° e 360°). Come è cambiata la distribuzione di dose?*

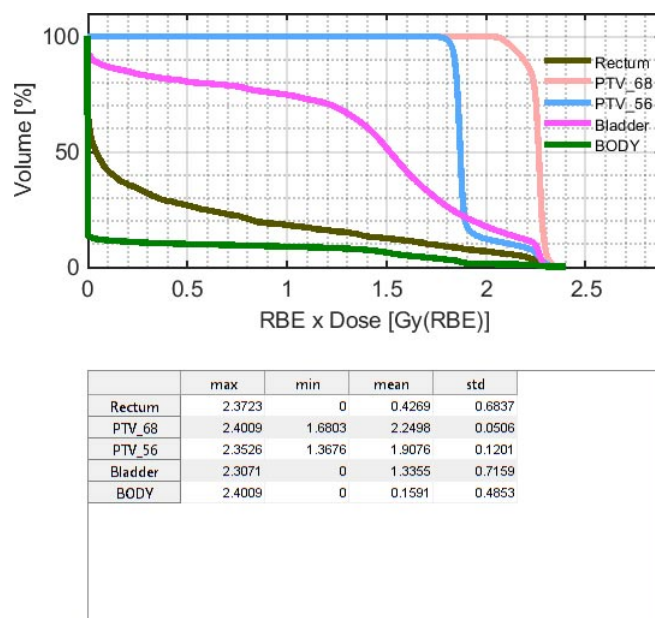


Fig. 3. – Esempi di risultati ottenuti dagli studenti nell'ambito della PTMC ed. 2022: Istogramma dose-volume cumulativo (DVH) e tabella delle principali valutazioni dosimetriche.

Gli altri esercizi ricalcano questo in struttura ma con diversi obiettivi. Ai partecipanti è stato chiesto di: confrontare come variassero i risultati di un piano di trattamento a parità di fascio utilizzato in funzione dell'angolo di incidenza (fig. 2(a)) e di scegliere l'angolo che ritenevano migliore; di confrontare i risultati ottenuti con un numero crescente di direzioni di incidenza (fig. 2(b)); di confrontare visivamente e quantitativamente i piani di trattamento fatti con fasci di fotoni, protoni e ioni carbonio (fig. 2(c)). Il confronto, dal punto di vista quantitativo, è stato ottenuto dall'analisi delle tabelle riportanti alcune grandezze dosimetriche (dose massima in ciascun volume, dose minima, media ecc.) e degli istogrammi dose-volume cumulativi (DVH) come quelli riportati in fig. 3. Questi ultimi sono stati ampiamente discussi anche nelle lezioni introduttive all'attività sperimentale e riportano sull'asse delle ordinate la percentuale di volume che ha ricevuto una dose maggiore o uguale a quella riportata sull'asse delle ascisse. Tutti i gruppi sono riusciti a portare a termine l'esercizio assegnato e a contribuire alla preparazione della presentazione finale inserendo i propri risultati accompagnati da un breve commento.

4. Analisi dei questionari: risultati preliminari

Al termine della masterclass studentesse e studenti sono stati invitati a compilare un questionario di gradimento. Attualmente sono stati compilati e analizzati un totale di 54 questionari, un numero ridotto ma che permette una valutazione preliminare dell'efficacia dell'evento. Alcune interessanti domande e risposte sono riportate in

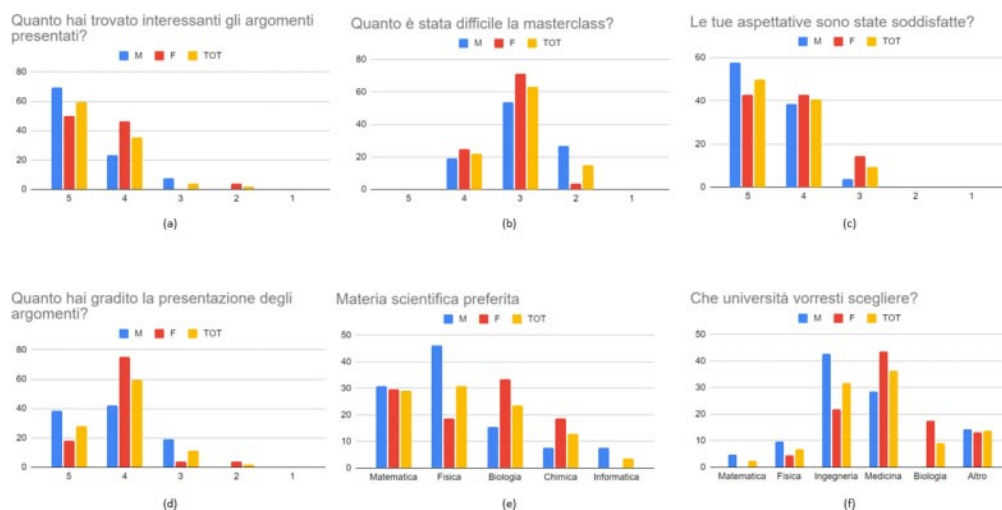


Fig. 4. – Risultati dei questionari sottoposti ai partecipanti alla PTMC. I dati sono in percentuale e normalizzati al totale dei partecipanti per ciascun gruppo (M: studenti; F: studentesse; TOT: totale dei partecipanti).

fig. 4 con i risultati differenziati tra uomo (blu) e donna (rosso), le percentuali sono normalizzate al totale degli studenti per ciascun genere. Inoltre sono riportati i dati relativi all'insieme delle persone partecipanti (giallo).

L'organizzazione per genere delle risposte è stata spunto di diverse riflessioni. In particolare, dalle risposte nelle fig. 4(a)–(c) non si osserva particolare disaccordo in termini di gradimento dell'iniziativa (in una scala variabile tra 1 e 5 in cui il massimo gradimento è valutato 5), entrambi i generi mostrano un giudizio totalmente positivo. Le piccole differenze che si osservano tra le distribuzioni delle risposte tra studenti e studentesse sono verosimilmente dovute al numero ristretto del campione più che a una reale differenza tra generi. La fig. 4(d) mette in evidenza l'impatto che hanno avuto quasi 4 ore di seminari svolti durante la mattina che centrano il gradimento intorno a 4 in una scala da 1 a 5.

Alcune differenze possono essere rilevate tra studenti e studentesse riguardo alla materia scientifica preferita e alla facoltà universitaria che si intende scegliere (fig. 4(e),(f)). L'interesse per la matematica a livello scolastico sembra essere equidistribuito. Si osserva che i ragazzi hanno una tendenza a gradire maggiormente lo studio della fisica e dell'informatica rispetto alle loro colleghe, che si riflette in una maggiore probabilità di scegliere facoltà come ingegneria, fisica e matematica per i loro studi universitari. Al contrario le ragazze hanno una preferenza per materie come biologia e chimica che traspare anche dalla maggiore probabilità con cui si iscriveranno a facoltà di stampo biomedico (biologia e medicina). Tutto ciò è in linea con quanto osservato da AlmaLaurea nei suoi ultimi rapporti sul profilo e l'occupazione dei laureati e delle laureate del sistema universitario italiano nonché da diverse pubblicazioni scientifiche sul divario di genere nelle STEM [5].

L'interesse verso le discipline STEM è alto per entrambi i generi, come si vede

anche dall'andamento delle risposte per il totale dei partecipanti in fig. 4(e),(f). Solo il 13% delle persone partecipanti sceglierà facoltà non STEM. Bisogna tener conto però che il campione selezionato è affetto da un bias dovuto al fatto che l'interesse verso queste discipline è già in partenza alto ed è manifestato mediante la scelta di partecipare a un evento di questo tipo.

Sarebbe interessante ampliare il numero delle domande e costruire un campione più numeroso estendendo i questionari alle intere classi anziché ai soli partecipanti.

5. Conclusioni

L'esperienza della *Masterclass in Particle Therapy* avviata nel 2021 in Italia è stata molto positiva su diversi fronti sarà riproposta nei prossimi anni. Come evidenziato anche dai questionari di gradimento proposti a fine evento, l'efficacia di questo genere di iniziative è importante. In primo luogo, permette agli studenti di allontanarsi dal banco di scuola per vedere la fisica dal punto di vista del ricercatore. Allo stesso tempo stimola l'interesse di chi vi partecipa alla scoperta delle potenzialità della fisica applicata alla medicina. Ultimo, ma non meno importante, ha permesso a un gruppo eterogeneo di persone giovani provenienti da realtà diverse di conoscersi, confrontarsi e divertirsi imparando.

L'organizzazione dell'evento contribuisce a diversi obiettivi dell'Agenda 2030 ad esempio favorendo l'interesse per la conoscenza, le scienze e l'abbattimento del divario di genere (favorendo il confronto equilibrato tra attore e attrici della stessa attività di PTMC). Inoltre, il respiro internazionale volutamente curato dagli organizzatori internazionali, l'incontro con persone professioniste, la possibilità di incontro e confronto con colleghi di diverse parti del mondo hanno senza alcun dubbio contribuito alla loro formazione, avvicinandoli alle scienze e a tutte le sue ricadute.

Bibliografia

- [1] IPPOG, International Masterclasses Website, <https://physicsmasterclasses.org>.
- [2] CECIRE K. e BILOW U., *Proc. Sci.*, EPS-HEP (2019) 459.
- [3] FOKA P., MAMARAS A., SECO J., GRAEFF C., PULLIA M., WIESER H. e WAHL N., *EPJ Web of Conferences*, **258** (2022) 01002.
- [4] WIESER H. *et al.*, *Med. Phys. (Lancaster)*, **44** (2017) 2556.
- [5] BACCAGLINI CATERINA, <http://hdl.handle.net/10579/21399> (2022).