

## Enrico Bellotti (1940-2021)



Crediti: Carla Maria Cattadori

Enrico Bellotti, Puccio come tutti lo chiamavamo, ci ha lasciato l'11 settembre 2021, era nato il 16 febbraio 1940. Umanamente grande, perdiamo con lui un eccellente scienziato, un leader della fisica italiana. Per me è la perdita di un amico fraterno, di qualche mese più giovane; fummo vicini, pur con interessi scientifici e opinioni, in parte diversi, lungo le nostre vite scientifiche, che spesso si intersecarono.

Laureatosi con E. Fiorini, iniziò subito a lavorare nel suo gruppo. Credo di poter individuare il filo conduttore della sua ricerca nella curiosità di controllare sperimentalmente se proprietà fondamentali della natura considerate ovvie dalla gran parte dei fisici, siano vere oppure no. Il numero leptonic si conserva davvero? E quello barionico? E la carica elettrica? Fino a che punto l'elettrode è stabile? E il protone? I neutrini rimangono sempre uguali o oscillano tra un tipo e un altro? Ci sono scostamenti dall'andamento esponenziale delle curve di decadimento?

I primi esperimenti cui lavorò furono con camere a bolle a liquidi pesanti, più adatte allo studio delle interazioni deboli di quelle a idrogeno grazie alla capacità di identificare elettroni e mu, rispetto ai pioni, e di rivelare i gamma, al CERN, prima sui decadimenti dei mesoni K (il primo, a mia conoscenza, articolo è del 1964 con A. Pullia), poi su fasci di neutrini, sino a culminare con la scoperta delle correnti deboli neutre nel 1973 con la camera gigante Gargamelle. Nello stesso periodo aveva già iniziato esperimenti più piccoli, con contatori al Ge per ricerche di effetti di non conservazione, come della parità in interazioni forti e, negli anni '80, il decadimento beta doppio senza neutrini ( $0\nu 2\beta$ ). E dal 1982 al 1986 venne la ricerca sulla stabilità del protone, argomento allora al centro dell'attenzione della comunità, con l'esperimento NUSEX in un garage a fianco del tunnel sotto il Monte Bianco, con rivelatori a streamer limitata, i "tubi di larocci". Fu un importante esperimento in sotterraneo quando ancora laboratori veri e propri di questo tipo non esistevano in occidente.

Ma uno ne stava per nascere. Nel 1979, A. Zichichi, allora Presidente INFN, aveva presentato al Senato della Repubblica il "Progetto Gran Sasso", approvato dal Parlamento con due leggi di finanziamento del 1982 e 1984. Dei Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS) dell'INFN Bellotti, come vedremo, sarà il primo direttore, ma rimaniamo sulla sua ricerca. La fece in uno dei primissimi esperimenti, GALLEX, iniziato sotto la guida di T. Kirsten nel 1991. Fu un esperimento delicatissimo di radiochimica, che portò alla scoperta, già nel 1992, dei neutrini solari da pp, verificando sperimentalmente come le stelle producano energia. Ma il flusso risultò molto minore dell'atteso, il che, dato che esso è predetto accuratamente in base alla luminosità, mostrò che il "solar neutrino puzzle" sul tappeto da anni non poteva essere dovuto ad errori nel modello solare, ma al neutrino stesso. Nel 1998 la struttura organizzativa dell'esperimento fu modificata per renderlo un osservatorio di lunga durata, il Gallium Neutrino Observatory e Puccio ne assunse la responsabilità, sino alla sua conclusione nel 2003.

Dall'anno successivo Puccio lavora all'esperimento GERDA, tornando all'amore giovanile per il  $0\nu 2\beta$  con diodi di germanio, arricchito in  $^{76}\text{Ge}$ , ma ora su scala molto più grande. GERDA prenderà dati sino al 2019, in condizioni "background free" sinora uniche in questa classe di esperimenti, producendo il limite su un'emivita più alto al mondo.

Per tutti fu sempre un piacere lavorare con Puccio, per la sua gentilezza, per la sua curiosità, per la capacità di analizzare le situazioni, trovare soluzioni ai problemi e di valutarne i rischi, per la determinazione nel farle accettare, per il sempre rigoroso rispetto delle regole che la ricerca deve seguire. Non per caso, Puccio amava la montagna, arrampicare su roccia e su ghiaccio, e l'esplorazione, tanto che una volta si fece lasciare con un gruppo di amici da una nave in Groenlandia per essere ripresi dopo due settimane di passeggiate e scalate. Curiosità anche qui, valutazione dei rischi, rigoroso rispetto delle regole nell'arrampicata.

Molteplici sono stati i contributi di Bellotti al governo della politica scientifica lungo l'arco della sua vita. Ci conoscemmo nei primi anni

1970 come coordinatori dei gruppi 2, di Milano e Padova rispettivamente. La Commissione Scientifica Nazionale 2 (CSN2) aveva allora la responsabilità delle "Tecniche visualizzanti" (la CSN1 delle "Tecniche elettroniche"), cioè le camere a bolle, ed era presieduta da M. Cresti (secondo presidente dopo S. Ratti). Puccio gli successe nel 1975 e fece un solo mandato. Nel 1978 preferì partecipare al Consiglio Direttivo INFN come rappresentante dei ricercatori. Alla presidenza della CSN2 gli successe io, in un periodo in cui le camere a bolle stavano raggiungendo l'obsolescenza. Nel 1983 divenni direttore della Sezione di Padova, ma il presidente N. Cabibbo, non "mi permise" di lasciare la commissione prima di avergli portato una buona proposta per i compiti post-camere a bolle. Le discussioni nelle commissioni 1 e 2 andarono per le lunghe. Il nuovo mandato, a mio giudizio, doveva da un lato mantenere e aggiornare il patrimonio culturale della comunità, dall'altro, "politico", consentire la presenza di un Gruppo 2 nella maggioranza delle sedi. E la mia proposta finale, del 1984, fu il mandato che esiste ancora, fisica astro-particolare e fisica del neutrino sia con sorgenti naturali che artificiali. La proposta era sostanziata dal progetto Gran Sasso, che includeva un fascio di neutrini dal CERN. Tuttavia il progetto di Zichichi non era ancora pienamente accettato nella comunità: c'era chi pretendeva che il laboratorio dovesse essere più profondo e chi dichiarava che era troppo grande e sarebbe rimasto vuoto o quasi. E la mia proposta non fu accolta con favore in seno alla CSN2. Lo fu invece con entusiasmo dal Presidente Cabibbo e approvata dal Consiglio Direttivo (CD).

Il mio successore alla presidenza della CSN2, nel 1984, fu, come era stato mio predecessore, Puccio Bellotti. E fu Puccio che condusse, gentilmente e fermamente, la "conversione" della comunità verso le nuove prospettive.

Nel 1987, i lavori di ingegneria civile al Gran Sasso da parte dell'ANAS, che ne aveva avuto l'incarico, erano praticamente ultimati, e Puccio fu eletto dal CD primo direttore dei LNGS. Questo avvenne solo dopo che la modifica del regolamento INFN con l'inclusione della nuova struttura aveva completato il suo iter formale, ma Puccio direttore di fatto lo era già dal 1986, supervisionando i lavori, interagendo

con ingegneri e geometri, sia in sotterraneo sia in superficie, iniziando a definire le strutture operative (amministrazione, segreteria, laboratori di chimica, elettronica, calcolo e reti, officina meccanica, biblioteca, infermeria, etc.) e a selezionare e assumere membri del personale. Le sue doti già ricordate furono essenziali per trasformare un'opera di ingegneria civile di avanguardia (i progetti erano dei migliori studi europei, quello di G. Lombardi di Locarno e quello di P. Lunardi di Milano) in un laboratorio scientifico completo di tutti i servizi. In precedenza c'erano stati esperimenti in sotterraneo, ma ospitati in miniere o tunnel stradali, che non avevano le caratteristiche necessarie a garantire un complesso programma scientifico che si evolvesse con una successione di esperimenti per decenni. Il solo laboratorio vero e proprio era il Baksan Neutrino Observatory (BNO) sotto il Caucaso in Unione Sovietica, costruito a partire dall'approvazione del 1966, il quale tuttavia non disponeva del livello tecnologico dei servizi che avrebbero avuto i LNGS.

Le strutture di superficie finanziate nel progetto originale comprendevano solo i "vecchi edifici". Tutti gli altri, e parte delle dotazioni come la mensa, furono finanziati con un progetto europeo di "Fondi Strutturali" nel corso della direzione Bellotti, durata sino al 1992.

Fondamentale fu il suo contributo come direttore in stretta sinergia con il presidente Cabibbo nella definizione e nella messa in marcia del programma scientifico iniziale. Un gruppo di esperimenti di collaborazioni internazionali furono approvati, saturando lo spazio disponibile.

Il successivo impegno di Puccio fu la direzione del Dipartimento di Fisica dell'Università di Milano, che tenne dal 1994 al 1997. All'epoca ero vicepresidente dell'INFN, con supervisione dei servizi delle sedi, e ricordo come Puccio creasse nel Dipartimento servizi prima inesistenti, ma essenziali, come l'officina meccanica.

Torniamo al Gran Sasso e facciamo un passo indietro, al 1990 quando il Parlamento approvò una terza legge di finanziamento (366/90), su iniziativa parlamentare DC, PCI, PSI, che prevedeva il completamento delle infrastrutture in sotterraneo con due ulteriori sale sperimentali, considerando la saturazione dello spazio esistente, e una galleria per uscita di sicurezza in caso di incendio o incidente grave in autostrada e accesso indipendente lato L'Aquila. Prevedeva anche la creazione del Consorzio di Ricerca del Gran Sasso (CRGS) tra INFN e, a richiesta, Regione Abruzzo, Università dell'Aquila, CNR, ENEA e Telespazio Sp. (aderirono tutti). Il CRGS si costituì in Assergi il 31 marzo 1992 con una durata sperimentale prevista di cinque anni, e un finanziamento di 5 GLit. Ottenne personalità giuridica riconosciuta dal MURST nel 1994. Il suo oggetto statutario era la promozione

scientifica e ambientale dell'area su cui grava il laboratorio e il trasferimento di informazioni e tecnologico verso la regione. Bellotti ne divenne il direttore e si impegnò a fondo nel nuovo lavoro. Identificò come principali filoni di attività l'ambiente e il calcolo evoluto.

Sul primo fronte farò due esempi. Programmi su sistemi di monitoraggio, meteo-clima e biodiversità furono sviluppati, anche in collaborazione con il CNR. E Puccio non si lasciò sfuggire l'occasione di lavorarci direttamente, come (2006) in un'analisi tramite spettroscopia gamma di campioni di suolo della provincia de L'Aquila. Con R. Scarpa mise in funzione una rete di sismografi in sotterraneo (unica al mondo). In quest'ambiente anche il rumore di fondo sismico, in questo caso antropogenico, è molto ridotto, permettendo di rivelare eventi di bassissima intensità. La rete registrò in particolare tutta la sequenza sismica del 2009 prima e dopo l'evento.

L'idea alla base del calcolo parallelo avanzato, in collaborazione con l'INFN, si basava inizialmente sul progetto APE dell'INFN, e successivi sviluppi a livello industriale nell'Alenia Aerospazio che portarono al sistema QUADRIX, con possibili applicazioni quali l'analisi di immagini da satelliti.

Alla scadenza il CRGS fu prorogato ripetutamente sino al febbraio 2010, anche in ragione, come si legge nella delibera del CNR n. 83/2007, della considerazione che "a fronte di un contributo di qualche decina di milioni di lire, c'è stato un ritorno economico di qualche centinaio di milioni di lire ogni anno".

Last but not least, Bellotti ha dato notevoli contributi alla SIF, pubblicando nelle riviste della Società importanti articoli scientifici, dirigendo e insegnando alla Scuola "Enrico Fermi" di Varenna, come Consigliere di Presidenza per due mandati dal 1999 al 2004, e come membro del Comitato di redazione de *Il Nuovo Saggiatore* nello stesso periodo. Fu nominato Socio Benemerito nel 2008.

Alessandro Bettini  
Università di Padova

---

Enrico Bellotti, universalmente noto con il nome di Puccio, ci ha lasciati dopo una lunga malattia. È stato un grande scienziato di non comuni qualità umane e per me certamente il mio più grande amico nella ricerca e nella vita. Come è noto in greco *Physis* significa *Natura* ed è alla fisica che si è rivolto tra le varie scienze il nostro interesse comune, vorrei quasi dire il nostro affetto. Puccio aveva circa sette anni meno di me e la prima volta che ebbi l'occasione di conoscerlo fu quando

si presentò ancora studente per sostenere il terribile e temutissimo esame chiamato *fisicon* perché conteneva i due anni iniziali di fisica sperimentale. Io ero molto giovane ed inquadrato in una posizione universitaria modesta, ma questo onore di esaminatore avveniva spesso perché sgradito ai "capi" a causa della durata dell'esame e del gran numero di studenti. In effetti l'esame fu molto lungo e dettagliato, certamente il migliore da me sentito prima di allora e quasi mai dopo, e finì in una specie di conversazione di fisica a due, molto piacevole per me e, spero, anche per Puccio. Decisi senza alcun dubbio di assegnargli trenta e lode. Non guardavo mai il libretto prima dell'esame e quando lo presi per scrivere il voto osservai che gli esami precedenti erano stati superati con voti molto modesti.

Non rividi Puccio per alcuni anni fino a quando non venne rimostrandomi, molto migliorato, il libretto e chiedendomi di lavorare nel nostro gruppo e di laurearsi con me, il che accettai con molto piacere. Le nostre ricerche si svolgevano all'Università di Milano, che era allora una sola e che si trovava nell'unica sede di via Celoria, ed è oggi sdoppiata da poco più di vent'anni con l'Università di Milano-Bicocca, da cui dipendo come professore emerito. Milano aveva allora un eccellente gruppo teorico e quando mi laureai ebbe la fortunatissima nomina a professore ordinario di Giuseppe Occhialini, proveniente da Genova dopo un precedente straordinario passato di fisica sperimentale, svoltosi in Inghilterra con la scoperta del positrone, ed in Brasile. Volle subito che tutti, anche i laureandi, lo chiamassero Beppo e gli dessero del tu.

Molta parte della fisica sperimentale si svolgeva a Milano nel campo della fisica nucleare delle basse energie, e prima di Beppo, della fisica dei raggi cosmici. Puccio era con me parte di un gruppo sperimentale che, utilizzando anche l'elevato livello delle industrie milanesi, svolgeva attività tecniche di livello nazionale come la realizzazione di emulsioni nucleari mentre in un sottogruppo con Puccio ed io, si occupava della realizzazione di camere a nebbia, di cui la maggiore, costruita su progetto di Carlo Succi e molto amata dal Beppo, era la più grande al mondo. Il nostro gruppo coordinato dal Beppo, dalla moglie inglese Connie Dilworth, e da altri ricercatori stranieri affollava un piccolo edificio chiamato pomposamente *capannone*. Alcuni di noi tra cui Puccio ed io con altri colleghi studiavano e realizzavano i nostri rivelatori in un modestissimo *capannino* che era in realtà una baracca in legno trasportata da noi, senza cambiare nulla, dal laboratorio del Monte Bianco dove dormivamo e mangiavamo al sacco anche per periodi di qualche settimana in collaborazione con un gruppo pisano diretto da Marcello Conversi, di cui faceva parte anche il futuro Premio Nobel Carlo Rubbia. Puccio ed io amavamo molto la montagna e ricordo

con grande nostalgia il continuo andare avanti indietro da Milano. Ricordo anche la frase, credo di Puccio, "varrebbe la pena di fare questa vita per la bellezza della fisica e della montagna anche se non ci pagassero". Per la verità ci pagavano poco!

Anche a Milano lo studio, la ricerca in fisica e la vita erano spesso in comune sotto la guida del Beppo. Ricordo l'amicizia tra tutti noi e quella con Puccio che andava molto al di là della parte scientifica e comprendeva molto quella umana, coinvolgendo anche le nostre famiglie. Tutti andavamo assieme a cena in comune, almeno ogni mese, a Milano, spesso a casa del Beppo. Di quel periodo ricordo molte attività per esperimenti che si svolgevano anche lontano da Milano con considerevoli risultati da un punto di vista tecnico. Non dimentico ad esempio le ricerche sullo sviluppo della tecnica delle camere a nebbia e mi soffermo quando passo da via Celoria per guardare l'ingresso del Dipartimento di Fisica dove ancora troneggia la grande camera di Wilson che avevamo costruito. Molte ricerche di Puccio e mie, prevalentemente sulla fisica delle basse energie tra cui quelle sulla radioattività ambientale e sui processi rari, si svolsero a Milano o comunque in Italia, ma grande interesse aveva per noi e per i fisici di allora lo sviluppo dei laboratori con acceleratori di particelle ad alta o altissima energia come il CERN.

Molte ricerche nella fine del passato millennio ed all'inizio dell'attuale, a cui ha validamente partecipato Puccio, furono e sono la ricerca degli eventi rari prodotti dagli acceleratori e/o dalla natura. Nel nostro caso, ma certamente per i fisici che hanno raggiunto la nostra età e, fino alla sua scomparsa, quella di Puccio, vorrei distinguere due classi di ricerca che spesso si sovrappongono: quelle legate allo sviluppo del CERN, tra l'altro non lontano da Milano, a quelle senza acceleratori. Per quanto riguarda anche il Puccio vorrei citare la nostra attività al CERN con camere a bolle, nel nostro caso prevalentemente con liquidi pesanti. Al CERN partecipammo ad una fortunata collaborazione diretta da Andre Lagarrigue che ha coinvolto gruppi europei, americani e cinesi per misure con fasci di alta energia. Anche per l'aiuto di Puccio ricordo la costruzione al CERN, con contributi di Milano, della camera a bolle gigante a liquidi pesanti Gargamelle ed i risultati con essa raggiunti nell'ambito della fisica delle particelle elementari sia al CERN che a Milano ottenendo una menzione speciale dell'EPS. La collaborazione con il CERN iniziò con una vasta attività con gruppi inglesi, francesi ed israeliani. Milano con Puccio e Pietro Negri partecipò alla parte tecnica della realizzazione della camera a liquido pesante Gargamelle che, montata al CERN, contribuì a risolvere problemi fondamentali prevalentemente nella fisica delle interazioni deboli e del neutrino.

Alcune di quelle ricerche, molto amate

da Puccio, presentavano la difficoltà che, trattandosi di quelli che chiamiamo *processi rari*, entravano in contrasto con altri processi naturali come la radioattività naturale ed i raggi cosmici. Il nostro gruppo ed in particolare Puccio ed io cominciai ad occuparsi delle possibilità di ridurre l'effetto dei raggi cosmici in laboratori realizzati in gallerie a grande profondità oggi funzionanti o in costruzione in tutte le parti del mondo. Nel nostro caso, in collaborazione con il gruppo di Frascati ed alcune sezioni dell'INFN, realizzammo con l'aiuto del CERN in una cavità del tunnel del Monte Bianco l'esperimento NUSEX (per Nucleon Stability Experiment) sulla stabilità del protone a cui Puccio partecipò e che ebbe una certa risonanza internazionale. Curiosamente le tecniche adottate per ricerche di eventi rari richiedono spesso le tecnologie adottate per lo sviluppo di ricerche in cui sia ridotta la presenza di eventi rari senza acceleratori.

Fra le molte attività scientifiche svolte da Puccio la più importante è a mio parere, anche per la notorietà ricoperta in campo internazionale, quella rivolta allo studio dei molti processi che avvengono nel Sole. Mi riferisco agli esperimenti GALLEX (Gallium Experiment) e GNO (Gallex Neutrino Observatory). Si trattava di esplorare l'interno del Sole e dei processi che vi avvengono tramite i neutrini emessi e rivelati sulla Terra.

Sul finire dello scorso millennio Till Kirsten, allora negli Stati Uniti, propose una esperienza in collaborazione internazionale per studiare in un laboratorio sotterraneo i neutrini provenienti dai vari processi nel Sole. Il finanziamento per questa proposta non venne approvato dal Department of Energy e Till la propose con molto successo in Europa battezzandola GALLEX (da Gallium Experiment) con il forte supporto di tutto l'INFN e dei *fisici solari* italiani. Puccio suggerì che l'esperimento GALLEX venisse condotto nei Laboratori Nazionali del Gran Sasso (LNGS) dall'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) dedicando a GALLEX più di due decenni della sua vita scientifica e inserendolo ottimamente all'interno dei LNGS. Puccio Dedicò a Gallex tutti gli sforzi possibili con grande successo, nonostante le difficoltà dirette ed indirette, della sistemazione all'interno dei LNGS. Ricorderò sempre che Till Kirsten, proponente e responsabile dell'esperimento GALLEX, per valorizzare il contributo del nostro Paese e di Puccio, volle che il primo risultato di GALLEX venisse presentato ufficialmente al pubblico ed alla stampa in un convegno a Roma il giorno nazionale italiano del due giugno. Sotto la presidenza di Nicola Cabibbo e l'introduzione teorica di Luciano Maiani nella affollatissima riunione romana, fu Puccio che presentò, applauditissimo, il primi eventi sui neutrini solari. Per qualche anno altri risultati vennero aggiunti da GNO (Gallex Neutrino Observatory) di cui Puccio fu il primo direttore. Anche come riconoscimento

per quanto fatto per la fisica del sole l'INFN nominò Puccio direttore del LNGS, uno dei più importanti laboratori sotterranei nel mondo. Puccio continuò lo sviluppo dell'intero LNGS e tra le varie sue attività in quel periodo voglio ricordare la realizzazione di un piccolo acceleratore sotterraneo per l'esperimento LUNA di interesse astrofisico ed il sostegno all'esperimento Borexino che, con Giampaolo Bellini, ha dato negli ultimi anni un risultato molto importante sui neutrini solari.

Questo mio breve e certamente insufficiente ricordo di Puccio sarebbe inadeguato se non citassi un mio sogno avuto fin da quando ero laureato e che ho condiviso già da allora con Puccio: era ed è lo studio del decadimento beta doppio con e senza neutrini. Nel decadimento beta classico, confermato dall'esperienza, un nucleo decade in due elettroni ed in due neutrini. Se si tratta di neutrini di Majorana e il numero leptonico non si conserva i due elettroni si spartiscono tutta l'energia di transizione formando un picco. Questo processo avrebbe una grande importanza nel campo dell'astrofisica particellare e sarebbe in relazione ai vari steps nella formazione del nostro Universo. La situazione ai LNGS è la seguente:

CUORE: dopo una serie di esperimenti criogenici con masse sempre crescenti, anche sulla base di suggerimenti discussi e spesso pubblicati con Puccio, è in presa dati da più di due anni.

GERDA: è un bellissimo esperimento di collaborazione con gruppi italiani, tedeschi, svizzeri e russi, completato prima della morte di Puccio che l'ha sempre seguito e affidato per i LNGS a Carla Cattadori che l'ha degnamente sostituito per quanto riguarda l'INFN. Ora GERDA si è concluso con molti risultati pubblicati anche da *Nature*. Speriamo che GERDA passi a LEGEND in collaborazione con gli Stati Uniti.

Ho cercato di riassumere come ho potuto, in modo insufficiente e certamente incompleto, chi era per me Puccio come scienziato e come uomo. Quasi tutti conoscevano il mio legame con lui e ancora oggi in conferenze internazionali, specialmente sul neutrino, molti colleghi di ogni nazione mi fermano chiedendomi: e il Puccio come sta?

Non riesco a consolarmi del fatto che Puccio non ci sia più, ma solo ricordarmi una frase di Chekov, ripetuta in occasione del suo funerale alla maggiore delle sue figlie:

Dei compagni della nostra vita quando ci lasciano non dobbiamo dire "non ci sono più", ma con riconoscenza "sono stati con noi". Grazie Puccio.

Ettore Fiorini  
Università di Milano-Bicocca