

I primi anni della relatività in Italia e la sconfitta dei “vettorialisti” nella corrispondenza di Marcolongo

Carlo Cattani*

1. Introduzione

Negli anni più fecondi della Relatività il matematico napoletano Roberto Marcolongo svolge un ruolo fondamentale nella sua diffusione (in Italia), seguendo l'impostazione (del calcolo differenziale assoluto) e le convinzioni di Tullio Levi-Civita. Tuttavia dalla sua corrispondenza¹, come vedremo, si deduce che egli pose seri ostacoli allo sviluppo della formulazione invariante (o delle diadi) proposta invano da Tommaso Boggio dell'Università e Cesare Burali-Forti dell'Accademia Militare, entrambi di Torino. Marcolongo, infatti, era considerato il principale esponente dei cosiddetti “vettorialisti” ovvero di coloro che ritenevano la formulazione invariante, cioè in termini di vettori e di loro opportune generalizzazioni, come l'unica formulazione proponibile per legittimare una qualunque teoria fisica. D'altra parte, nel cercare di scoprire i punti deboli del calcolo differenziale assoluto di Levi-Civita, egli finisce per appassionarsi alla formulazione covariante e ne diventa il principale divulgatore, soprattutto in occasione delle conferenze² tenute al Seminario Matematico di Roma nel 1919. I seguaci vettorialisti, e in particolare Boggio, cercheranno in vari modi di convincere e riportare dalla loro parte Marcolongo, ma invano. Marcolongo che inizialmente si era fatto

* Difarma, Università di Salerno, Via Ponte Don Melillo, 84084 Fisciano (SA),
ccattani@unisa.it

¹ Fondo Marcolongo (FM) Biblioteca del Dipartimento di Matematica “G. Castelnuovo”,
Univ. di Roma “La Sapienza”.

² Cfr. Cattani 1996a, 1998, Tortoriello 2004.

portavoce dei vettorialisti, tradizionalmente legati alla scuola italiana dell'elasticità, autorevole difensore del concetto di invarianza (a discapito della covarianza), finisce per diventare il più ascoltato divulgatore della relatività nella sua “classica” formulazione covariante.

Inoltre, dalla corrispondenza tra Marcolongo e Boggio emergono chiari segni di un aspro dibattito anche sulla non chiara distinzione tra invarianza e principio di relatività che agitava la comunità dei matematici italiani schierati per la maggior parte con Levi-Civita a favore della formulazione covariante (dipendente dalle coordinate) e contro i vettorialisti. Marcolongo in questa polemica ha avuto un ruolo fondamentale³ soprattutto per le sue conferenze del 1919. In questo anno, Castelnuovo, Volterra e Silla organizzano al Seminario Matematico di Roma una serie di conferenze sulla relatività, con lo scopo principale di chiarire i metodi del calcolo assoluto, per bocca di Marcolongo (e non dell'autore di questi, cioè Levi-Civita), e confidando nella sua chiarezza espositiva. Le conferenze invece sono accompagnate da aspre polemiche⁴ e da una generale indifferenza della comunità scientifica⁵.

Segni evidenti di incertezza, che lo fanno oscillare Marcolongo tra entrambe le posizioni, si riscontrano non solo nella sua corrispondenza ma anche nelle sue pubblicazioni. Nel 1921, nel momento di massima popolarità della relatività in Italia, con la venuta di Einstein in Italia⁶ Marcolongo pubblica un libro di relatività con una discreta diffusione⁷. Nello stesso tempo, insieme a

³ Cfr. Cattani 1996, 1996a.

⁴ Per una analisi generale dell'impatto della relatività sui matematici, cfr. anche Goodstein 1983, Maiocchi 1985, Reeves 1987, Cattani 1992, 1993, 1996, 1996a, 1998, Brigaglia et Al. 1998.

⁵ Cfr. Cattani 1996a, 1998, Tortoriello 2004.

⁶ Cfr. Maiocchi 1985.

⁷ Marcolongo 1921.

Burali-Forti, presenta la seconda edizione di un libro sul calcolo vettoriale⁸ ma mentre nella prima edizione, già nell'introduzione, auspica la possibilità di formulare le equazioni fondamentali di un qualunque modello matematico sostenendo

“l'enorme superiorità del calcolo vettoriale assoluto sugli antichi e indiretti metodi delle coordinate”⁹

nella nuova edizione la critica scompare dalla prefazione (della seconda edizione) ma si ritrova qua e là nel testo e, in particolare, nelle appendici. Spinto Burali-Forti e con maggiore evidenza da Boggio, Marcolongo comincia a studiare i lavori di Levi-Civita e di Einstein forse con l'intenzione di trovare un'approccio vettorialista alla relatività generale, ma una volta compresi i metodi del calcolo assoluto, Marcolongo si convince della bontà del metodo covariante e ne diventa uno dei principali difensori e divulgatori (anche se rimane convinto delle ragioni dei vettorialisti). In realtà, se a Marcolongo riesce facile tradurre le equazioni fondamentali della relatività ristretta in termini di invarianti vettoriali, perché esiste la classe dei riferimenti inerziali e lo spazio è quello di Minkowski dove la metrica è pseudo-euclidea, non altrettanto immediato risulta tradurre (in maniera semplice e significativa) le equazioni della relatività generale. Per questo motivo, Marcolongo perde il ruolo di difensore dei vettorialisti e, nel 1924, Cesare Burali-Forti si rivolge a Boggio per pubblicare insieme a lui il libro “Espaces Courbes-Critique de la Relativité”¹⁰ dedicato principalmente alla teoria delle omografie negli spazi curvi n -dimensionali e alla formulazione invariante delle equazioni einsteiniane. Soltanto in una piccola parte finale (sviluppata in circa il 10% delle pagine complessive) vengono

⁸ Burali-Forti e Marcolongo 1909, 2^a ed. 1921.

⁹ Cfr. Burali-Forti e Marcolongo 1909, p. V.

¹⁰ Burali-Forti e Boggio, 1924

proposte le equazioni einsteiniane in termini di omografie vettoriali e in una forma della quale

“Il faut observer la simplicité des calculs...et les comparer avec la complication de ceux qu'on fait au moyen des systèmes multiples”¹¹.

In realtà i calcoli non sono affatto semplici (anzi abbastanza oscuri) se anche Levi-Civita scrive a Boggio che leggendo i suoi lavori

“non é riuscito che ad intravedere i risultati senza apprezzarne l'importanza e la portata”¹².

L'obiettivo principale che Burali-Forti e Boggio si prefiggono é di demolire la formulazione covariante delle equazioni di campo (fatta attraverso l'uso dei “sistemi multipli” a cui essi alludono) e ciò che stupisce é che, scrivendo in francese, essi sembrano rivolgersi ad una comunità scientifica estranea a quella nazionale (e ovviamente a quella filo-tedesca). Le forti critiche (alla Relatività) da loro esposte nell'introduzione faceva inoltre supporre che questo libro rappresentasse l'epilogo di una controversia della quale esso rappresentava l'unica traccia. Questo non é che un episodio di una polemica molto più profonda che contrappone i vettorialisti da un lato e i sostenitori del calcolo differenziale assoluto dall'altro, i difensori del principio di invarianza contro chi si affidava ad un'invarianza relativa cioè subordinata alla scelta delle coordinate, e, non ultimo, contrapponeva coloro che sostenevano il primato della cultura italiana su quella tedesca.

Purtroppo il formalismo di Boggio e Burali-Forti é oscuro e pesante, ma essi esprimono la “via italiana alla relatività” e propongono, nella sostanza, un metodo simile a quello diadico e spinoriale che soltanto circa 40 anni più tardi verrà preso in considerazione dalla comunità scientifica per le applicazioni relativistiche¹³.

¹¹ Cfr. Burali-Forti e Boggio 1924, p. 230.

¹² T.Boggio a R.Marcolongo, 28.5.1919, (cartolina), FM.

¹³ Sachs 1964, Pirani 1957.

2. Marcolongo “vettorialista”

Marcolongo appartiene insieme a Boggio, Burali-Forti, e Pietro Burgatti (dell'università di Bologna) a quella scuola italiana dei vettorialisti, sostenitori dell'importanza del calcolo vettoriale e degli invarianti in ogni questione di fisica-matematica e quindi nei loro intenti anche nella relatività. Essi (e non solo) costituivano l'ala conservatrice della fisica-matematica italiana, che sosteneva la priorità del formalismo vettoriale e del calcolo omografico, metodo classico dei vettorialisti italiani. Marcolongo ne era il massimo esponente, e si apriva alle questioni relativistiche nell'ottica di interpretarle in modo invariante cioè in termini vettoriali e di grandezze assolute svincolate dalla scelta del riferimento. Questa posizione era in aperto contrasto con le formulazioni covarianti relativistiche che invece privilegiano la scelta del sistema di coordinate e basano le considerazioni di invarianza sulla formulazione di leggi di trasformazioni per covarianza (o contravarianza). Il suo coinvolgimento nella relatività ristretta risale al 1906 allorquando tra i primi in Italia espone in un articolo sulle trasformazioni generali di Lorentz (Marcolongo 1906) i concetti fondamentali della relatività soffermandosi sull'invarianza delle equazioni.

Grazie ai suoi lavori sul calcolo vettoriale e alla benevolenza di Guido Castelnuovo egli viene nominato, in occasione del IV Congresso Internazionale di Matematici (svoltosi a Roma nel 1909), in una Commissione Internazionale per uniformare le notazioni vettoriali¹⁴.

Nello stesso anno pubblica un libro insieme a Burali-Forti¹⁵, nel quale sostiene il primato del calcolo vettoriale sul calcolo differenziale (di Levi-Civita) proponendosi di far vedere in forma

¹⁴ G.Castelnuovo a R.Marcolongo, 25.1.1909. Cfr. Cattani 1996a, 1998, Tortoriello 2004.

¹⁵ Burali Forti e Marcolongo 1909.

“assoluta o autonoma....come l’uso opportuno di vettori e componenti vettoriali, presenti la Geometria analitica sotto forma geometrica assoluta ed elimini quell’ordinario algoritmo indiretto che, nato con le coordinate, deve necessariamente sparire appena gli enti geometrici possano essere considerati liberi dal sistema fisso di riferimento”¹⁶

La conoscenza delle formulazioni invarianti del calcolo vettoriale, secondo i due autori,

“si impone oramai non solamente al fisico ed all’elettrotecnico, ma anche al cultore di matematiche pure”¹⁷

Comunque Marcolongo è, a buon diritto, riconosciuto leader dei vettorialisti, ma egli si preoccupa anche di dare legittimità al calcolo vettoriale mostrandone le applicazioni fisico-matematiche. Qualche anno più tardi, ritorna sulle trasformazioni di Lorentz¹⁸, e afferma che

“nello studio delle trasformazioni di Lorentz e delle equazioni della elettrodinamica, è di notevole importanza la ricerca delle leggi con cui si trasformano alcuni enti fisici”¹⁹.

Applicando i metodi del calcolo vettoriale e delle omografie, esprime nella forma più generale e intrinseca le trasformazioni di Lorentz e le leggi di trasformazione del campo elettrico, magnetico, etc. Si può quindi sostenere che Marcolongo giunge alla relatività (ristretta), occupandosi di questioni di elettromagnetismo, che cercava di esprimere con i metodi intrinseci del calcolo vettoriale, prescindendo dalla scelta delle coordinate.

3. Il ruolo di Levi-Civita negli anni prima della guerra

Tullio Levi-Civita, in un articolo di rassegna²⁰ sul contributo italiano all'estensione ed evoluzione della fisica matematica dal 1860 al 1910, cita Marcolongo per la sua chiarezza espositiva poiché “anche come trattatista,

¹⁶ Ibid, p. V

¹⁷ Ibid.

¹⁸ Marcolongo 1912a, 1912b, 1913a, 1913b

¹⁹ Marcolongo 1913a, p. 349.

²⁰ Levi-Civita 1911.

ha reso agli studiosi servigi eminenti”²¹. Dopo aver tratteggiato la storia della relatività ristretta Levi-Civita accenna al contributo di Abraham alla dinamica degli elettroni e conclude sui meriti di Einstein per aver formulato un

“principio di relatività, intrinsecamente inattaccabile, per quanto metta a soqquadro le nostre abituali intuizioni”²²

e accenna ai

“lussureggianti sviluppi....che ebbero in Marcolongo un precursore sagace”²³.

Il resto della comunità scientifica italiana comincia ad interessarsi di relatività con la controversia su *Scientia* (1912-1914) tra Max Abraham e Einstein²⁴. E’ proprio a seguito di questa e di alcune inesattezze di Einstein nella formulazione della prima teoria della relatività generale²⁵, che nel 1915 Abraham coinvolge Levi-Civita in una diretta corrispondenza con Einstein segnando una svolta decisiva sia nella formulazione della teoria che nella diffusione in Italia della relatività generale²⁶. In questa corrispondenza, Levi-Civita ha un ruolo fondamentale nel dimostrare la inconsistenza (dal punto di vista matematico) della prima teoria einsteiniana²⁷ e nel diffondere la relatività generale in Italia. A differenza della relatività ristretta la relatività generale trova in Italia (e non solo) una generale indifferenza (se non

²¹ Levi-Civita 1911, p.11.

²² Levi-Civita 1911, p.17.

²³ Ibid.

²⁴ Per il ruolo avuto da Abraham nella diffusione della relatività in Italia, si veda Cattani e De Maria 1989b, Cattani 1992,1996.

²⁵ Einstein e Grossmann 1913,1914 , Einstein 1914.

²⁶ cfr. Cattani e De Maria 1989a.

²⁷ Cfr. Cattani 1996, 1996a, 1998. La corrispondenza Einstein--Levi-Civita ha avuto un ruolo fondamentale sia nel ricondurre Einstein verso una corretta formulazione variazionale delle equazioni gravitazionali (cfr. Cattani e De Maria 1989c, Cattani 1992,1996) sia nel focalizzare l'attenzione sulla questione dell'energia del campo gravitazionale (cfr. Cattani e De Maria 1989a, 1993). Sulla formulazione variazionale Levi-Civita ha avuto anche il merito fondamentale di spingere Palatini alla generalizzazione del principio di Hilbert (cfr. Cattani 1993).

addirittura una aperta ostilità. I matematici dimostrano un cauto interesse, anche se, per ovvie ragioni, durante il periodo bellico (1915-1918), si diffonde negli ambienti scientifici (così come nel resto della società italiana) un crescente rifiuto della Germania e di ogni sua espressione culturale e scientifica. D'altra parte le equazioni fondamentali della relatività generale e il principio di relatività fa propri i metodi del calcolo differenziale assoluto che, perfezionato da Gregorio Ricci-Curbastro e da Levi-Civita alla fine dell'ottocento dopo circa vent'anni (1919), era sconosciuto dalla maggioranza dei matematici italiani.

4. Il carteggio tra Marcolongo, Boggio e Levi-Civita (1917-1918)

All'inizio dell'estate del 1917, Marcolongo nutre la speranze che i metodi delle omografie da lui applicati alle trasformazioni di Lorentz si possano generalizzare anche alla relatività generale e scrive a Levi-Civita:

“Io ho qualche speranza che i metodi delle omografie, di cui sperimentai l'efficacia nello studio delle trasformazioni di Lorentz, possano rendere qualche servizio anche nel campo da te, col solito acume, esplorato. Conosco poco gli ultimi lavori dell'Einstein perchè i Rend. di Berlino qui non arrivano: ma spero che i tuoi lavori mi rischiareranno completamente”.²⁸

Marcolongo è convinto che i metodi del calcolo vettoriale già applicati alla relatività ristretta si possano estendere anche alla relatività generale, che non conosce. Per questo chiede a Levi-Civita gli ultimi lavori di Einstein e presumibilmente Levi-Civita invia a Marcolongo non solo i lavori di Einstein ma anche le dovute spiegazioni per permetterne la comprensione come testimonia lo stesso Maggi. In un lettera a Marcolongo, Maggi sostiene che è Levi-Civita stesso a spiegargli la teoria della relatività:

“Il nostro ottimo Levi Civita sembra che reputi più facile orientarsi fra quegli spazi di quello che sia riuscito a me e ad altri....A mia richiesta, colla consueta premura, mi

²⁸ R.Marcolongo a T.Levi-Civita, 20.7.1917, p.1, box 5, Fondo Levi-Civita (FLC) Accademia dei Lincei, Rome.

tracciò, in una lettera, le linee principali della teoria di Einstein, e questo certamente mi ha giovato.”²⁹

In una lettera del 1917, Burgatti confessa a Marcolongo di essersi interessato della teoria della relatività e in particolare

“della generale teoria relativistica di Einstein. Circa la quale ti dirò che pian piano ho letto le memorie più importanti; ma mi riesce difficile e mi pare molto complicata. Filosoficamente e matematicamente considerata è certamente assai bella, ma dal punto di vista fisico mi lascia alquanto scettico. Il successo relativo alle variazioni del perielio [di Mercurio] non mi par decisivo, giacchè si possono spiegare in altri modi. Bisognerà attendere accordi con le osservazioni e l'esperienze.”³⁰

Anche Burgatti esprime perplessità sulle basi fisiche della teoria einsteiniana e non nasconde, come la maggioranza dei matematici, la sua incapacità a comprenderne i passaggi matematici. Intanto Levi-Civita, continuando nella sua opera di persuasione, trova in Attilio Palatini e Umberto Cisotti due validi alleati portandoli entrambi a produrre contributi sostanziali³¹.

Sul finire della guerra (1918) il rancore e l'odio degli italiani per tutto ciò che poteva provenire dalla Germania e dalla cultura tedesca si esprimeva in maniera diretta e senza intermediazioni. Boggio non nascondeva il suo rifiuto per qualsiasi espressione della cultura matematica tedesca che non fosse stata “italianizzata al più alto grado possibile”³². Egli si occupa di calcolo vettoriale e delle omografie con particolare riguardo a problemi di elasticità, e cerca di convincere Marcolongo a farsi portavoce delle critiche dei vettorialisti, per il ruolo internazionale riconosciuto di Marcolongo. In realtà Marcolongo che si interessa ai lavori di Levi-Civita anche su sollecitazione di Boggio, finisce per studiare i metodi del calcolo differenziale di Levi-Civita e, dopo averli capiti, rinuncia a portare avanti la polemica innescata da

²⁹ G.A.Maggi a R.Marcolongo, 25.9.1917, p. 4, FM.

³⁰ P.Burgatti a R.Marcolongo, 7.10.1917, p. 4, FM.

³¹ Cisotti 1918a, 1918b, 1918c, Palatini 1919a, 1919b. Cfr. Cattani 1992,1993, 1996,1996a, 1998.

³² T.Boggio a R.Marcolongo, 27.7.1918, (cartolina), FM.

Boggio. Infatti, alla fine dell'estate del 1918, Marcolongo scrive a Levi-Civita:

“Ho dedicato gli ozi estivi allo studio delle tue note sulla relatività generale, con un gusto ed un piacere infinito. Quanti punti oscuri mi son stati chiariti dalle tue belle, elegantissime note! Mi è venuto il desiderio di approfondire e, in qualche modo, esporle a lezione. E ho ricominciato lo studio minuto delle *Méthodes de calcul différentiel absolue*. Ma come è stringata la esposizione! A molte dimostrazioni, con un pò di pazienza, ho sopperito da me; in altre mi sono stancato o imbrogliato come uno scolarotto.”³³

E' Levi-Civita a tenere informato il collega e a mandargli i suoi appunti con i calcoli, e Marcolongo lo ringrazia di questo:

“Grazie delle indicazioni per il calcolo differenziale assoluto..... Ti confesso che molte cose, specie in alcuni particolari, mi sono ancora oscure; ma spero di superare anche queste difficoltà, approfondendo viepiù le tue note che su molti punti mi hanno rischiarato di viva luce.”³⁴

Anche Boggio segue con interesse i lavori di Levi-Civita e in particolare commentando l'articolo di Levi-Civita³⁵ del 1917, scrive a Marcolongo

“la trattazione di Levi-Civita, dal punto di vista cartesiano, è certo elegante; però, come Lei ha già osservato, deve essere possibile fare la trattazione imitando quello che Lei già fece”³⁶

Segue quindi una critica formale ai metodi usati da Levi-Civita che, secondo Boggio, si discostano dai metodi usuali della scuola matematica Italiana di elasticità e meccanica, infatti secondo lui

“Ciò che il Levi-Civita, chiama divergenza del tensore energetico è null'altro che il gradiente di una certa omografia. Sin dall'anno scorso feci osservare ciò a Levi-Civita, mostrando quanto fosse errata la denominazione di divergenza, mentre doveva parlare di gradiente. Mi rispose (ciò che mi aspettavo) che adoperò le notazioni stesse di Einstein! Il che vuol dire che l'errore, benchè riconosciuto tale, deve essere perpetuato, perchè emesso da un porco di tedesco!”³⁷

Ma nonostante l'odio per i tedeschi la teoria della relatività interessa Boggio che scrive

³³ R.Marcolongo a T.Levi-Civita, 3.9.1918, p.3, box 5, FLC.

³⁴ R.Marcolongo a T.Levi-Civita, 14.9.1918, p.1, box 5, FLC.

³⁵ “Sulla espressione analitica del tensore di Einstein”, Levi-Civita 1917.

³⁶ T.Boggio a R.Marcolongo, 21.9.1918, FM.

³⁷ T.Boggio a R.Marcolongo, 21.9.1918, pp. 2-3, FM.

“avrei piacere di fare anch'io qui [a Torino], in un altro anno scolastico, la teoria della relatività”³⁸

Nel 1917-1919, Levi-Civita pubblica insieme alla corretta formulazione covariante delle equazioni eisteiniane³⁹, una serie di interessanti ricerche sulla statica einsteiniana⁴⁰ e sulla forma della metrica in campi di tipo newtoniano, cioè di prima approssimazione⁴¹. Facendo l'ipotesi di stazionarietà della varietà e dell'esistenza di un opportuno sistema di coordinate (coordinate adattate) Levi-Civita riesce a dedurre una forma semplificata della metrica e a ridurre il numero dei potenziali gravitazionali facendo scomparire la dipendenza esplicita dal tempo. In altri termini la struttura dello spazio-tempo non è piatta ma conserva la maggior parte delle proprietà dello spazio-tempo euclideo. In questo modo Levi-Civita riesce a dedurre un numero ristretto di equazioni indipendenti per il campo gravitazionale e a ricondurre un problema meccanico a uno esclusivamente geometrico. Le dieci note di Levi-Civita sulla statica einsteiniana sono il nucleo centrale di un vasto progetto di ricerca sulla integrazione delle equazioni gravitazionali einsteiniane in prima e seconda approssimazione che attrae l'interesse dei matematici italiani (e non solo). In particolare, la possibilità di interpretare, non solo formalmente, la teoria einsteiniana con il calcolo omografico spinge Boggio a interagire più direttamente con Levi-Civita e di questo ne fa cenno in una lettera dell'anno successivo sempre a Marcolongo:

“Mi scrisse Levi-Civita che essendosi accinto a studiare i miei ultimi lavori, senza avere presente tutto l'algoritmo delle omografie vettoriali, non è riuscito che ad intravedere i risultati senza apprezzarne l'importanza e la portata”⁴²

e rivolgendosi direttamente a Marcolongo lo prega nuovamente di intervenire essendo

³⁸ T.Boggio a R.Marcolongo, 21.9.1918, p. 3, FM.

³⁹ Levi-Civita 1917a.

⁴⁰ Levi-Civita 1917b.

⁴¹ Levi-Civita 1917/19.

⁴² T.Boggio a R.Marcolongo, 28.5.1919, (cartolina), FM.

“quindi necessario che Lei in qualche Nota esponga i principali fra i risultati ottenuti dal Levi-Civita nelle sue 10 e più Note sui ds2 einsteiniani, e che faccia sviluppare completamente il resto da qualche allievo, mediante le omografie vettoriali. Così speriamo che si convincerà.....Se Lei ha disponibili gli appunti del Suo corso fatto quest'anno sulla relatività, mi farà piacere a farmeli avere con Suo comodo; così potrò farmi un concetto esatto di tali questioni.”⁴³

Ancora una volta Boggio si affida a Marcolongo nella speranza che questi riesca a dedurre le equazioni della teoria della relatività generale. Invece Marcolongo che studia i lavori e si affida per la comprensione degli argomenti alle spiegazioni di Levi-Civita si convince che l'approccio del calcolo differenziale assoluto è l'ambiente più naturale per la teoria geometrica della gravitazione. La stima che ha Boggio di Marcolongo, come profondo conoscitore e chiaro divulgatore della relatività appare anche nelle lettere successive e in particolare alla fine dello stesso anno scrive a Marcolongo:

“Grazie della Sua lettera e della Memoria sulla Dinamica, che ho letto con molto interesse. Mi pare che sia opera di vero Italiano il mettere in evidenza quanto la Scienza deve agli italiani dei secoli passati, che per troppo tempo furono dimenticati, derubati, e dileggiati. E a parer mio tali ricerche, molto faticose e difficili, valgono più di dieci note, di quelle cosiddette originali, stampate nelle Accademie.....Sono lieto che Lei tratti ancora la relatività, e La prego, se possibile, di interessare qualche Sua allieva, purchè mi mandi poi gli appunti delle Sue lezioni, perchè in un prossimo anno vorrei sviluppare io pure tali teorie.”⁴⁴

Nel 1919, Levi-Civita tenta di conciliare l'atteggiamento possibilista dei conservatori con la nuova meccanica⁴⁵ ma si tiene anche, nel Seminario Matematico della Facoltà di Scienze dell'Università di Roma, di cui è direttore Vito Volterra, un ciclo di conferenze sulla relatività che segnerà un momento di riflessione e di acceso dibattito nella comunità scientifica⁴⁶. Marcolongo entrato come sostenitore dei vettorialisti ne esce come il principale difensore di Levi-Civita.

⁴³ Ibid.

⁴⁴ T.Boggio a R.Marcolongo, 4.12.1919, (cartolina), FM.

⁴⁵ Levi-Civita 1919. Cfr. Cattani 1996a, 1998.

⁴⁶ Cattani 1996a, Tortoriello 2004.

5. Il libro di relatività di Marcolongo (1921)

L'idea di scrivere qualcosa sulla relatività nasce in Marcolongo diversi anni prima del 1921. Infatti quando nel 1914 esce il primo volume di Meccanica di Marcolongo, Armellini suggerisce a Marcolongo di aggiungere all'ultima parte del secondo volume

“in fine una brevissima nota sul principio di Relatività e sui fondamenti della Meccanica di Einstein, Minkowski ecc. condensando -come Ella sa fare tanto bene- tutte le varie teorie in poche paginette. Poichè la Meccanica Razionale è studiata non solo dagli allievi d'Ingegneria, ma anche da quelli di Matematica pura e di Fisica che questa nota sarebbe assai utile e gradita specialmente a quest'ultimi”.⁴⁷

Marcolongo pubblica, successivamente un volume sul problema dei tre corpi e una storia della dinamica. Nel 1921 circa sessantenne confessa a Levi-Civita una sensazione di sfiducia nelle proprie capacità, ritenendo di aver ormai già dato tutto quanto gli era consentito, scrivendo

“fra un anno circa io avrò compiuto 60 anni, che cosa vuoi che io faccia di più per la scienza?”⁴⁸

ma pubblica il primo libro italiano di Relatività⁴⁹ stampato in Italia contemporaneamente alla traduzione del testo di Einstein⁵⁰ con prefazione di Levi-Civita. Nella prefazione del suo libro Marcolongo riconosce il merito di Castelnuovo e di Levi-Civita alla diffusione della relatività:

“Le nuove teorie ebbero anche in Italia oneste accoglienze, se non una grande diffusione; cultori insigni hanno fatto conoscere in modo brillante le nuove correnti di idee e hanno arrecato contributi cospicui al loro sviluppo (basti citare il Castelnuovo ed il Levi-Civita).”⁵¹

Marcolongo riconosce anche l'importanza del dibattito seguito alle conferenze del seminario matematico nel quale

“si ebbero discussioni, conferenze (da ricordare specialmente quelle promosse dal Senatore Volterra nel Seminario matematico della Facoltà di Scienze di Roma) e si dettarono dei corsi universitari”.⁵²

⁴⁷ Armellini a R.Marcolongo, 30.7.1914, pp. 3-4, FM.

⁴⁸ R.Marcolongo a T.Levi-Civita, 10.6.1921, p.3, box 6, FLC.

⁴⁹ Marcolongo 1921.

⁵⁰ Einstein 1921.

⁵¹ Marcolongo 1921, p.III.

⁵² Marcolongo 1921, p.IV.

Ma è costretto ad ammettere che

“in generale però fisici, astronomi e matematici (e non soltanto presso di noi) hanno mostrato un prudente riserbo verso le nuove teorie le prevenzioni rimasero ugualmente o si vanno lentamente dissipando. Non pochi poi si sono spaventati del formidabile apparato analitico su cui si fonda la parte più bella, più suggestiva, più recente della teoria.”⁵³

Nella stessa prefazione Marcolongo si rammarica del fatto che

“le teorie più belle dell'analisi e della meccanica, più ampia di quella classica (che diventa la meccanica dei moti lenti) e che arrecando modificazioni quantitativamente lievissime, concettualmente grandiose dovrebbero far tacere gli scrupoli e i dubbi dei più tenaci conservatori e spingerli all'entusiasmo ed alla ammirazione.”⁵⁴

Nel testo Marcolongo confessa di avere

“largamente attinto ai lavori italiani, notevolissimi, se non numerosi e more solito quasi del tutto ignorati dagli stranieri”⁵⁵

e dichiara che

“anche alla teoria generale della relatività sono applicabili, con completo successo, i metodi delle omografie vettoriali di cui da molti anni, facciamo uso e ci sforziamo di diffondere, il Prof. Burali-Forti ed io”.⁵⁶

In realtà l'affermazione di Marcolongo è più di principio che di fatto. Nella seconda edizione del libro sul calcolo vettoriale scritto insieme a Burali-Forti dello stesso anno⁵⁷ egli è costretto a riconoscere l'esistenza di avversari affermando

“quale grande sviluppo hanno avuto i metodi vettoriali....l'importanza di questi metodi è stabilita dal fatto che essi sono stati adottati in quasi tutte le università italiane; importanza che i pochi avversari sistematici non diminuiscono, anzi accrescono”⁵⁸

e in appendice alla prima parte riafferma il primato del calcolo vettoriale

“Il *calcolo vettoriale* (o, in generale, *geometrico*) deve porre il matematico in condizione di poter risolvere *direttamente* una qualsiasi questione di geometria, di meccanica, di fisica, sotto *forma assoluta*, cioè *indipendente da qualsiasi sistema di riferimento* (con *zero* coordinate); altrimenti, come avviene per i sistemi vettoriali comuni, in luogo di *operazioni* ed *operatori* per gli enti geometrico-fisico-meccanici, si hanno semplicemente dei *tachigrafi* per le coordinate e queste *continuano* ad essere *elementi indispensabili del calcolo*. Ora, è ovvio che una qualsiasi questione di

⁵³ Ibid.

⁵⁴ Marcolongo 1921, p.VI.

⁵⁵ Ibid.

⁵⁶ Ibid.

⁵⁷ Burali-Forti e Marcolongo 1909, seconda edizione 1921.

⁵⁸ Ibid, p. IX.

geometria, di meccanica, di fisica è *indipendente* da un arbitrario sistema di riferimento e quindi può, e deve, essere trattata indipendentemente da coordinate.”⁵⁹

Ancora una volta Marcolongo mostra il suo duplice atteggiamento (parzialmente contraddittorio) nei confronti della relatività: da un lato il divulgatore dei metodi matematici, il difensore delle nuove teorie fisiche e il convinto assertore dell'importanza della relatività per il progresso della scienza; dall'altro il timido conservatore che fa appello alla tradizione classica italiana, il difensore dei metodi del calcolo vettoriale così caro agli oppositori di Levi-Civita e della relatività.

Comunque, le reazioni al libro di relatività di Marcolongo sono di generale apprezzamento. Ringraziando del libro ricevuto, Maggi scrive a Marcolongo:

“Tu spezzi al lettore un pane, di sua natura punto soffice, con tale garbo e maestria, che se egli non lo digerisce a dovere, non ha che da incolpare il proprio stomaco debole. Certo per penetrare completamente nella concezione einsteiniana, giovano considerazioni metafisiche (per modo di dire), che nel tuo libro sono appena accennate. Ma tu ti sei proposto l'esposizione della costruzione matematica, grazie alla quale, e non altrimenti, quelle considerazioni prendono corpo. Il lettore può attingerle nell'opuscolo dello stesso Einstein, la cui traduzione italiana è uscita contemporaneamente al tuo volume.”⁶⁰

Tra i più entusiasti lettori del libro di Marcolongo c'è Armellini che scrive a Marcolongo:

“Ho ricevuto da Zanichelli il volume di Relatività e mi sono gettato su di esso come un assetato che trovi finalmente una fonte di acqua pura e fresca. L'ebbi di sera e rimasi in piedi fino alle due dopo mezzanotte per leggerne gran parte. Nella mattina seguente ho finito tutto il libro. La mia impressione è stata veramente ottima ed eccellente Tu hai risolto il problema di dare agli studiosi un libro di relatività che risponde a tre requisiti, e cioè di essere nello stesso tempo di facile lettura, ben condensato e perfettamente rigoroso.”⁶¹

Purtroppo da questo momento in poi Marcolongo, pur continuando a produrre lavori di relatività⁶², non riesce più a stare validamente a fianco con Boggio e Burali-Forti che invece cominciano a lavorare intensamente alla formulazione in termini omografici delle equazioni einsteiniane.

⁵⁹ Ibid, p. 97, i caratteri corsivi si trovano nel testo originale.

⁶⁰ G.A.Maggi a R.Marcolongo, 20.11.1921, pp.1-2, FM.

⁶¹ G.Armellini a R.Marcolongo, 24.11.1921, pp.1-2, FM.

⁶² Marcolongo 1919a, 1919b.

6. L'articolo di Somigliana

Nel maggio del 1922, Somigliana che non era mai stato un fautore dei nuovi principi, pubblica un articolo⁶³ nel quale crede di poter dimostrare come le trasformazioni di Lorentz si possano inquadrare nella ordinaria meccanica newtoniana. Partendo dall'equazione di propagazione delle onde, e dal suo classico integrale di D'Alembert, fa vedere come l'equazione è invariante per la più generale trasformazione della soluzione. Caso particolare della trasformazione della soluzione è la trasformazione di Lorentz, Somigliana si chiede quindi quale sia il significato di questa trasformazione nella meccanica ordinaria, (trasformazione già determinata da W.Voigt⁶⁴ nel 1887). La trasformazione della soluzione, che mantiene inalterata l'equazione, corrisponde al caso di una sorgente di onde che è mobile di moto uniforme. Pertanto conclude Somigliana

“tutte le proprietà che nella teoria della relatività risultano dalla trasformazione lorentziana, sono generalmente suscettibili di una tale interpretazione, di carattere nettamente newtoniano”.⁶⁵

In realtà, sfuggiva a Somigliana che il fronte d'onda sferico avanza con una velocità che è la velocità della luce e dalle sue considerazioni risulta che la velocità della luce è invariante per le trasformazioni di coordinate da lui considerata ma questa invarianza è inconciliabile con i postulati della meccanica newtoniana. Comunque egli conclude:

“Per quanto ovvie possano apparire le considerazioni svolte in questa Nota, mi è sembrato che potessero presentare un certo interesse per collocare nella sua giusta luce, dal punto di vista meccanico-analitico, la trasformazione di Lorentz, fulcro iniziale di tutta la relatività; come anche mi è sembrato potessero portare qualche contributo a quella critica delle teorie relativistiche che sembra ora così opportunamente iniziata”.⁶⁶

⁶³ Somigliana 1922.

⁶⁴ Voigt 1887.

⁶⁵ Somigliana 1922, p. 412.

⁶⁶ Somigliana 1922, p. 414.

Nel settembre del 1922, Maggi riceve da Somigliana la sua nota sulla trasformazione di Lorentz con “preghiera di attenta lettura”⁶⁷. Maggi confessa a Levi-Civita di aver già letto attentamente il lavoro di Somigliana quando era apparso nei Rendiconti dei Lincei e di aver già inviato le sue riflessioni in proposito al Somigliana. La principale osservazione di Maggi è che

“per conciliare le conseguenze delle trasformazioni di Lorentz colla meccanica newtoniana, bisogna prima di tutto, dedurre dai principi newtoniani con significato per la subordinazione del valore del tempo di riferimento adottato per la rappresentazione dei fenomeni.”⁶⁸

Nel 1923, Maggi risponde⁶⁹ alle osservazioni di Somigliana osservando sostanzialmente che la trasformazione di Lorentz, pur inquadrata da Somigliana nella meccanica newtoniana non riceve in quell'ambito lo stesso profitto che riceve nella teoria della relatività; in quest'ultima infatti la trasformazione di Lorentz è profondamente connessa con gli elementi intrinseci del problema (e con i principi che ne sono alla base) a differenza di quanto accade nella teoria newtoniana e questo secondo lui basta a impedire un qualsivoglia confronto.

7. La critique de la relativité

La polemica di Somigliana sulle trasformazioni di Lorentz rinvigorisce le critiche dei vettorialisti e costituisce il punto di partenza di un volume di Burali-Forti in cui vengono esposte le maggiori critiche alla relatività. In realtà il volume è quasi interamente dedicato al calcolo vettoriale e al calcolo delle omografie vettoriali e contiene soltanto poche pagine finali nelle quali vengono riproposte le argomentazioni di Somigliana sulle trasformazioni di

⁶⁷ G.A.Maggi a T.Levi-Civita, 19.9.1922, p.3, box 7, FLC.

⁶⁸ Ibid.

⁶⁹ Maggi 1923.

Lorentz. Secondo i due autori, la relatività generale einsteiniana deve essere considerata sia sotto l'aspetto fisico-sperimentale, sia per le sue relazioni con la meccanica classica

“patrimoine scientifique important, que l'on ne doit pas livrer à une vague révolutionnaire et irrationnelle.”⁷⁰

Va inoltre tenuto conto del suo aspetto filosofico che più impressiona le persone prive di preparazione scientifica e infine per il suo aspetto matematico nel quale, secondo Burali-Forti e Boggio, si nota di più l'arbitrarietà e l'irrazionalità dei fondamenti. Secondo loro il risultato negativo dell'esperienza di Michelson e Morley può essere dovuto sia a un effetto di pressione nell'atmosfera solare sia alla provenienza della luce dal centro o dal bordo del disco ma non ai fenomeni gravitazionali. Per quanto riguarda il movimento del perielio di Mercurio lo scarto dei 42” per secolo è illusorio a causa delle perturbazioni generate su Mercurio dagli altri pianeti del sistema solare. Illusoria è anche la conferma sperimentale della deviazione dei raggi luminosi in prossimità del sole, poiché l'ipotesi di raggi luminosi materiali è soltanto un'ipotesi, invece secondo loro bisogna considerare che tale scarto può essere prodotto dalla rifrazione nell'attraversamento della fotosfera solare, e tutto questo porta ad affermare che

“la relativité est un système mécanique en complète contradiction expérimentale avec la Mécanique réelle du monde physique”.⁷¹

Riprendendo la critica di Somigliana i due sostengono che le trasformazioni di Lorentz grazie alle quali si modificano le idee usuali di spazio e di tempo, danno luogo a modificazioni illusorie e che alla spiegazione relativistica di un fenomeno si può altresì associare una spiegazione newtoniana avente uguale valore e quindi “les bases de la théorie de la relativité sont bien peu sûres”⁷².

⁷⁰ Burali-Forti e Boggio 1924, p.V.

⁷¹ Burali-Forti e Boggio 1924, p.VII.

⁷² Burali-Forti e Boggio 1924, p.VIII.

Ancora più pesanti sono le critiche alla filosofia della relatività

“la fusion du temps avec l'espace (obtenue comment?) en chaque point de l'espace ordinaire (lequel?) engendre l'espace-temps ou univers ; définition, ou explication, d'une clarté (!?) indiscutable!”⁷³

e aggiungono in una nota

“il y a quelqu'un qui espère qu'on pourra donner au tact une telle sensibilité (naturellement relativiste!) apte à percevoir la quatrième dimension de l'espace-temps ou univers. Nous lui adressons nos souhaits les plus sincères”.⁷⁴

Burali-Forti e Boggio credono di aver trovato una covarianza diversa da quella einsteiniana e quindi ritengono che l'unico elemento che può caratterizzare i fenomeni è l'invarianza e non la covarianza

“par les vecteurs et les homographies on peut obtenir, et en forme absolue, tout ce que les relativistes obtiennent par les méthodes non absolues, c'est-à-dire tout ce qu'ils obtiennent avec l'emploi des coordonnées, n'importe lesquelles, générales ou non”.⁷⁵

Nella seconda parte del loro libro Burali-Forti e Boggio dopo aver riportato il lavoro di Somigliana sulle trasformazioni di Lorentz, propongono la loro interpretazione del tempo locale, dello spazio-tempo o universo, della covarianza e delle equazioni gravitazionali. L'esistenza del tempo locale viene rifiutata per l'esistenza di spazi geometrici fissi e moti rigidi che eliminano la contrazione delle lunghezze. La contraddizione relativistica, secondo loro, è che non essendoci nessun punto fisso non ha senso considerare un segmento fisso e continuano citando altri esempi di contraddizioni, per esempio si deriva rispetto al tempo locale come se fosse il tempo newtoniano; si parla di velocità costante e massima ma secondo loro se tutto è relativo questa è una contraddizione. Altra contraddizione viene individuata nello spazio-tempo einsteiniano che secondo loro non può essere determinato dai fenomeni fisici, perchè è la rappresentazione dello spazio che dipende dalla

⁷³ Burali-Forti e Boggio 1924, p.IX.

⁷⁴ Burali-Forti e Boggio 1924, p.X.

⁷⁵ Burali-Forti e Boggio 1924, p.XII.

metrica ma non lo spazio stesso, così come non si può dare una definizione analitica della fusione dello spazio con il tempo e concludono

“la philosophie pourra justifier l'espace-temps de la Relativité, mais la mathématique, la science expérimentale et le sens commun ne le justifient pas absolument”.⁷⁶

Conclusioni

Analizzando la corrispondenza di Marcolongo si riconoscono pienamente le ragioni principali del ritardo della diffusione della relatività generale in Italia. I matematici italiani ignorano i metodi del calcolo differenziale assoluto e quindi dei fondamenti matematici della relatività e un gruppo minoritario ma agguerrito (i vettorialisti) propongono un metodo alternativo, contando sulla personalità di Marcolongo. Marcolongo invece si schiera dalla parte di Levi-Civita condannando all'oblio il calcolo intrinseco di Boggio e Burali-Forti. In conseguenza dell'impianto teorico e della difficoltà nel formalismo matematico, sconosciuto ai matematici dell'epoca, diversi concetti si confondevano e suscitavano polemiche. Non solo il principio di equivalenza si confondeva con quello di relatività ma anche il principio di invarianza si contrapponeva a quello della covarianza. In realtà una formulazione invariante rimane tale in forma soltanto se si rimane nella generalità. Nel momento in cui le equazioni generali si specializzano o meglio vengono riformulate per uno specifico problema allora l'invarianza si deve intendere ristretta (relativa) a quella classe di fenomeni. Levi-Civita che seguiva questa impostazione⁷⁷ non avrebbe mai accettato il pragmatismo di Boggio. Comunque il lavoro di Burali-Forti e di Boggio si pone come un primo tentativo di svincolare le equazioni di campo relativistico dall'uso delle coordinate come verrà proposto, circa 40 anni più tardi, con il calcolo spinoriale e delle diadi⁷⁸.

⁷⁶ Burali-Forti e Boggio 1924, p.222.

⁷⁷ Cattaneo 1975

⁷⁸ Pirani 1957, Sachs 1964.

Bibliografia

- Brigaglia et Al. (1998). *La Matematica Italiana dopo l'unità: Gli anni tra le due guerre mondiali, Marcos y Marcos*, Milano.
- Burali-Forti, Cesare e Boggio, Tommaso (1924). *Espaces courbes--Critique de la relativité*, Sten editrice, Torino.
- Burali-Forti, Cesare e Marcolongo, Roberto (1909). *Elementi di Calcolo Vettoriale con numerose applicazioni alla geometria, alla meccanica e alla fisica-matematica*, Nicola Zanichelli editore, Bologna. Seconda edizione riordinata e ampliata (1921).
- Cattaneo, Carlo (1975). "Leggi classiche e leggi relativistiche nel pensiero di Tullio Levi-Civita." In *Tullio Levi-Civita, Convegno Internazionale celebrativo del centenario della nascita*, Atti dei Convegni Lincei, Accademia Nazionale dei Lincei, 8, 113--125.
- Cattani, Carlo (1992). "Early debates on General Relativity in Italy." In *Proceedings of the X Italian Conference on General Relativity and Gravitational Physics*, M.Cerdonio, R.D'auria, M.Francaviglia and G.Magnano (Eds.), World Scientific, Singapore, 93--110.
- (1993). "Levi-Civita's influence on Palatini's contribution to General Relativity." In *Einstein and the History of General Relativity*, D.Howard, J.Norton and M.Janssen (Eds.), Birkhäuser, Boston- Basel-Berlin, 206--222.
- (1996). "Levi-Civita e la nascita della scuola italiana di relatività." In *Cento anni di matematica*, Fratelli Palombi editori, 213--229.
- (1996a). "Marcolongo e la volgarizzazione della relatività (1906-1924)", *Rivista di Storia delle Scienze*, (S. II), 4, (2), 99--144.
- (1998). "I primi anni della relatività in Italia e la corrispondenza Einstein-Levi Civita", *Quaderni di Storia della Fisica*, 3, 25--51.
- Cattani, Carlo, e De Maria, Michelangelo (1989a). "Gravitational waves and conservation laws in General Relativity: A. Einstein and T. Levi-Civita, 1917 correspondence", in *Proceedings of the fifth M.Grossmann meeting on General Relativity*, D. G. Blair and M. J. Buckingham (Eds.), Singapore: World Scientific, 1335--1342.
- e ----- (1989b). "Max Abraham and the Reception of Relativity in Italy: His 1912 and 1914 Controversies with Einstein", *Einstein and the History of General Relativity*, D.Howard and J.Stachel (Eds.), Birkhäuser, Boston- Basel-Berlin, 160--175.

- e ----- (1989c). “The 1915 Epistolary Controversy between A.Einstein and T. Levi-Civita”, *Einstein and the History of General Relativity*, D.Howard and J.Stachel (Eds.), Boston: Birkhäuser, 175--200.
- e ----- (1993). “Early debates about conservation laws in General Relativity and gravitational waves, (1916-1918)”, *The Attraction of Gravitation: New Studies in the History of General Relativity*, Earman J., Janssen M., Norton J., (Eds.), Birkhäuser, Boston, 63--87.
- Cisotti, Umberto (1918a). “Forma intrinseca delle equazioni gravitazionali nella Relatività Generale”, *Rend.Acc.Linc.* 27 (1): 366--371.
- (1918b). “Derivazione intrinseca nel calcolo differenziale assoluto”, *Rend.Acc.Linc.* 27 (1): 387--391.
- (1918c). “Derivazione intrinseca nel calcolo differenziale assoluto”, *Rend.Acc.Linc.* 27 (2): 22--24.
- Einstein, Albert (1914). “Die formale Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie”, *Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften (Berlin). Sitzungsberichte*, 1030--1085.
- (1921). *Sulla Teoria Speciale e Generale della Relatività (Volgarizzazione)*, Zanichelli, Bologna.
- Einstein, Albert, e Grossmann, Marcel (1913). *Entwurf einer verallgemeinerten Relativitätstheorie und einer Theorie der Gravitation. I. Physikalischer Teil von Albert Einstein. II. Mathematischer Teil von Marcel Grossmann.* Leipzig and Berlin: B.G.Teubner. Ristampa con addenda in *Zeitschrift für Mathematik und Physik* 62: 225--261.
- e ----- (1914). “Kovarianzeigenschaften der Feldgleichungen der auf die verallgemeinerte Relativitätstheorie gegründeten”, *Zeitschrift für Mathematik und Physik* 63: 215-225.
- Goodstein, Judith (1983). “The Italian mathematicians of Relativity”, *Centaurus*, 26: 241--261.
- Levi-Civita, Tullio (1911). “Estensione ed evoluzione della fisica matematica (nell'ultimo cinquantennio, con speciale riguardo al contributo italiano).” *Atti della società italiana per il progresso delle scienze*, V riunione, Roma, ottobre, 1--20.
- (1917a). “Sulla espressione analitica spettante al tensore gravitazionale nella teoria di Einstein”, *Rend. Accademia dei Lincei* ser. 5, vol. XXVI: 381--391.
- (1917b). “Statica einsteiniana”, *Rend. Accademia dei Lincei* ser. 5, vol. XXVI: 458--470.

- (1917/19). “ ds^2 einsteiniani in campi newtoniani”, *Rend. Accademia dei Lincei* [●]₁ Nota I, vol. XXVI, (1917): 307-317; [●]₂ Nota II, vol. XXVII, (1918): 3-12; [●]₃ Nota III, vol. XXVII, (1918): 183-191; [●]₄ Nota IV, vol. XXVII, (1918): 220-229; [●]₅ Nota V, vol. XXVII, (1918): 240-248; [●]₆ Nota VI, vol. XXVII, (1918): 283-292; [●]₇ Nota VII, vol. XXVII, (1918): 343-351; [●]₈ Nota VIII, vol. XXVIII, (1919): 3-13; [●]₉ Nota IX, vol. XXVIII, (1919): 101-109.
- (1919). “Come potrebbe un conservatore giungere alla soglia della nuova meccanica”, *Rend. Sem.Mat. Fac. di Sc. Univ. Roma*, 5, 1918-19: 10-28.
- Maggi, Gian Antonio (1923). “Sulle varie interpretazioni della trasformazione di Lorentz”, *Rend.Acc.Lincei* 32 (1): 196--197.
- Maiocchi, Roberto (1985). *Einstein in Italia. La scienza e la filosofia italiane di fronte alla teoria della relatività*, Franco Angeli, Milano,
- Marcolongo, Roberto (1906). “Sugli integrali delle equazioni dell'elettrodinamica”, *Rend.Acc.Lincei*, 15 (1): 344--349.
- (1912a). “Sulle equazioni dell'elettrodinamica”, *Rend. Acc. Scienze fis. e mat. di Napoli*, 18 (3): 118--135.
- (1912b). “Sulle equazioni dell'elettrodinamica”, *Rend. Acc. Scienze fis. e mat. di Napoli*, 18 (3): 314--319.
- (1913a). “Su alcune questioni relative alle trasformazioni di Lorentz in elettrodinamica”, *Rend.Acc.Lincei* 22(2): 349--354.
- (1913b). “Su alcune questioni relative alle trasformazioni di Lorentz in elettrodinamica”, *Rend.Acc.Lincei* 22(2): 402--408.
- (1919a). “La teoria della relatività in senso stretto”, *Rend. Sem.Mat. Fac. di Sc. Univ. Roma*, 5, 1918-19: 55--76.
- (1919b). “I fondamenti analitici della teoria della relatività e le equazioni del campo gravitazionale”, *Rend. Sem.Mat. Fac. di Sc. Univ. Roma*, 5, 1918-19: 77--94.
- (1921). *Relatività*, edizioni Principato, Messina.
- Palatini, Attilio (1919a). “Sui fondamenti del calcolo differenziale assoluto”, *Rend. del Circolo Matematico di Palermo* 43: 192--202.
- (1919b). “Deduzione invariante delle equazioni gravitazionali dal principio di Hamilton”, *Rend. del Circolo Matematico di Palermo* 43: 203--212.
- Pirani, F.A.E. (1957). “Invariant formulation of gravitational radiation theory”, *Phys. Rev.* 105, 1089—1099.

- Reeves, Barbara (1987). “Einstein politicized: The early reception of relativity in Italy”, in *The comparative reception of relativity*, ed. Glick T.F., Reidel, Dordrecht, 189--229.
- Sachs, R. K. (1964). “Gravitational Radiation”, in *Relativity, Groups and Topology*, C. DeWitt and B.S. DeWitt (eds), Gordon and Breach, New York.
- Somigliana, Carlo (1922). “Sulla trasformazione di Lorentz”, *Rend. R. Accad. Lincei*, ser. 5, vol. XXXI: 409--414.
- Tortoriello, Saverio (2004). “La corrispondenza di Roberto Marcolongo e Guido Castelnuovo sulla Relatività”, in *La Corrispondenza Epistolare tra Matematici Italiani dall’Unità d’Italia al Novecento*, F. Palladino (ed).
- Voigt, W. (1887). “Über das Dopplersche Prinzip”, *Nachr. der K. Ges. der Wiss. zu Göttingen*, 10 März 1887.

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/329484029>

I primi anni della relatività in Italia. La sconfitta dei "vettorialisti" nella corrispondenza di Roberto Marcolongo

Chapter · January 2004

CITATIONS

0

READS

540

1 author:



Carlo Cattani

Tuscia University

557 PUBLICATIONS 7,977 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Fractal and Fractional [View project](#)



Special issue: Fractals and Local Fractional Calculus: Recent Advances and Future Challenges [View project](#)