

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO

selezione pubblica per n. 1 posto di Ricercatore a tempo determinato con finanziamento esterno ai sensi dell'art.24, comma 3, lettera a) della Legge 240/2010 per il settore concorsuale 02/C1, settore scientifico-disciplinare FIS/05_Astronomia_e_Astrofisica presso il Dipartimento di Fisica, (avviso bando pubblicato sulla G.U. n. 35 del 04/05/2021) Codice concorso 4608

Loris Colombo

CURRICULUM VITAE

La mia attività di ricerca ha riguardato la cosmologia, con particolare attenzione allo studio della radiazione cosmica di fondo a microonde (Cosmic Microwave Background, CMB), dai punti di vista teorico, fenomenologico e di analisi dati. Gran parte di questa attività si è svolta nell'ambito della collaborazione del satellite ESA Planck, una missione spaziale dedicata alla mappatura delle anisotropie di temperatura e polarizzazione del CMB, in diverse bande di frequenza tra i 30 e 857GHz.

Analisi statistica delle mappe di CMB

Sotto ben motivate ipotesi, le fluttuazioni primordiali del CMB sono ritenute essere Gaussiane ed isotrope, e le informazioni sui parametri cosmologici sono contenute completamente nello spettro di potenza delle anisotropie di temperatura e polarizzazione (i.e. lo sviluppo in armoniche sferiche della funzione di correlazione angolare a 2-punti). In condizioni ideali, (osservazioni a tutto cielo e rumore assente) il problema della costruzione di una likelihood per i dati di CMB ammette una soluzione analitica semplice. Le complicazioni degli esperimenti reali (copertura parziale del cielo, rumore non-bianco, residui di sistematiche strumentali, ...) richiedono invece la costruzione di nuove likelihood, spesso approssimate e ottimizzate per diverse condizioni di utilizzo. È consuetudine dividere l'analisi in due regimi, corrispondenti a scale angolari maggiori o minori di $5 - 10$ deg. Mi sono occupato di sviluppare, validare e caratterizzare metodi per la stima dello spettro di potenza e per il calcolo della likelihood in entrambe i regimi. La mia attività attuale è però focalizzata nello sviluppo di metodi per l'analisi delle larghe scale angolari, fondamentali per la ricostruzione della storia di reionizzazione e la detezione delle onde gravitazionali primordiali. La metodologia che ho sviluppato, ha permesso una riduzione dei tempi di calcolo di 1-2 ordini di grandezza, ed è stata assunta come baseline per le releases 2015 e 2018 della likelihood dei dati di Planck/LFI. Questa metodologia è in continuo sviluppo, per poter essere esteso all'analisi di futuri esperimenti (e.g. LSPE, Litebird).

Component separation

Il segnale osservato è dato dalla sovrapposizione del CMB e dall'emissione di diverse sorgenti di natura astrofisica, sia galattica che extra-galattica. La component separation sfrutta la diversa dipendenza in frequenza di queste emissioni, per creare mappe di CMB ripulite dai contributi astrofisici. La mia attività si è concentrata su un approccio di natura Bayesiana. Partendo da un modello fenomenologico delle proprietà spettrali delle emissioni astrofisiche, si sfruttano le osservazioni multifrequenza per determinare i parametri di tale modello e quindi rimuovere l'emissione astrofisica così stimata. Tra i risultati principali di questa attività vanno annoverate le mappe di CMB e delle componenti astrofisiche ad alta risoluzione, prodotte con l'algoritmo Commander-Ruler, sviluppato con colleghi dell'Università di Oslo e del NASA Jet Propulsion Laboratory. Tali mappe sono state rilasciate nell'ambito della prima release pubblica dei dati Planck.

Stima dei parametri cosmologici e ricostruzione della storia di reionizzazione

Gli spettri di potenza e la likelihood costituiscono il punto di congiunzione tra le osservazioni e l'inferenza cosmologica, e sono il punto di partenza per la stima dei principali parametri cosmologici ed astrofisici. Anche in questo caso, l'analisi si inserisce in un contesto Bayesiano, e in particolare sfrutta metodi Monte Carlo Markov Chains (MCMC). All'interno della comunità cosmologica, lo standard di fatto per questo tipo di attività è dato da una suite di software pubblicamente disponibili: CAMB, CLASS, CosmoMC. Mi sono occupato di modificare questi codici per modellizzare fenomeni fisici che non erano inclusi nella versione di base, in particolare includendo modelli di Dark Energy dinamici, e storie di reionizzazione model-independent. Lo scopo di questa attività è duplice. Da una parte si vuole migliorare la nostra

comprensione di questi fenomeni. Dall'altra, siccome le stime dei parametri da misure cosmologiche sono spesso affetti da correlazioni e degenerazioni, si vuole evitare che una sbagliata modellizzazione della, e.g., storia di reionizzazione introduca dei bias sulla determinazione di parametri (e.g. l'ampiezza dello spettro di potenza delle perturbazioni primordiali) non direttamente connessi a tale fenomeno, ma degeneri con esso per via del loro impatto sulle osservabili del CMB.

Sviluppo di una pipeline Gibbs Sampling end-to-end per l'analisi dei dati di CMB

Tradizionalmente, la pipeline di analisi dati di esperimenti di CMB è composta da varie fasi (e.g. costruzione timelines, calibrazione, mapmaking, component separation, calcolo degli spettri di potenza, stima dei parametri cosmologici) che vengono gestite in maniera pressochè indipendente. Sebbene i tools che ho sviluppato per l'analisi statistica delle mappe fossero pensati principalmente per lo sfruttamento scientifico dei dati, possono essere utilizzati anche per validare la qualità della pipeline, testando ad esempio la robustezza dei parametri cosmologici ottenuti da diversi sottoinsiemi dei dati totali. Diverse volte questo ha permesso di identificare e rimuovere sistematiche non evidenti negli steps precedenti dell'analisi, gettando le basi di un approccio semi-iterativo per la pipeline di analisi dati. La release finale di Planck ha mostrato i limiti di questo approccio, raggiungendo un livello di purezza dei prodotti vincolato principalmente dall'impatto della nostra ignoranza delle proprietà dell'emissione polarizzata della Galassia sulla calibrazione. Per superare questo limite, è necessario incorporare i vari steps menzionati sopra in un'unica pipeline iterativa che possa procedere in maniera automatizzata, senza bisogno di intervento umano, fino a raggiungere la piena convergenza. La mia attività di ricerca attuale è focalizzata sulla costruzione di tale pipeline, nell'ambito del progetto H2020 BeyondPlanck. L'approccio prescelto è di tipo Gibbs Sampling. Il Gibbs Sampling è un metodo per campionare la distribuzione di probabilità congiunta di un grande numero di parametri, campionando iterativamente la distribuzioni di probabilità di un sottoinsieme di parametri, condizionata al valore che i rimanenti parametri avevano assunto nello step precedente. In genere, queste probabilità condizionate hanno una forma più semplice della probabilità congiunta, permettendo così di campionare distribuzioni molto complicate che risulterebbero intrattabili con altri approcci (e.g. Metropolis-Hastings MCMC). I risultati intermedi di questa attività includono un nuovo set di mappe dei dati Planck, in processo di essere rilasciate al pubblico.

Determinazione delle proprietà del rumore strumentale

Mentre il segnale di CMB in temperatura è sostanzialmente limitato dalla Cosmic Variance fino a scale angolari 100, il segnale di polarizzazione è significativamente limitato dal rumore strumentale anche alle più grandi scale angolari. Una corretta stima dello spettro di potenza e dei parametri cosmologici da misure della polarizzazione del CMB richiede quindi un'accurata determinazione delle caratteristiche del rumore strumentale, codificate dalla matrice di covarianza del rumore (NCVM). Considerazioni di carattere numerico permettono solo una stima approssimata di tale NCVM. A seconda dei dettagli dell'esperimento considerato, tale approssimazione può non essere adeguata per garantire risultati scientifici robusti. Per l'analisi dei dati di Planck ho dovuto sviluppare dei metodi che permettessero di correggere le NCVM, sia partendo da simulazioni (Shrinkage estimators) che dai dati (tramite una parametrizzazione fenomenologica del mismatch osservato tra gli spettri di potenza delle mappe e quelli della NCVM).

INFORMAZIONI PERSONALI

COGNOME	COLOMBO
NOME	LORIS PIER LUIGI
DATA DI NASCITA	24/11/1975

TITOLI

TITOLO DI STUDIO

(indicare la Laurea conseguita inserendo titolo, Ateneo, data di conseguimento, ecc.)

Laurea in Fisica (V.O.) presso Università degli Studi di Milano, 13/02/2001

Titolo: "Segregazione di Luminosità e Proprietà di Scala delle Funzioni di Correlazione per Campioni Profondi"
Supervisore: Prof. S.A. Bonometto
Votazione: 110/110 con lode

TITOLO DI DOTTORE DI RICERCA O EQUIVALENTI, OVVERO, PER I SETTORI INTERESSATI, DEL DIPLOMA DI SPECIALIZZAZIONE MEDICA O EQUIVALENTE, CONSEGUITO IN ITALIA O ALL'ESTERO
(inserire titolo, ente, data di conseguimento, ecc.)

Dottore di ricerca Fisica, Astrofisica e Fisica Applicata, presso Università degli Studi di Milano, 04/02/2005
Titolo: "Constraining Cosmology with Cosmic Microwave Background Data"
Supervisore: Prof. S.A. Bonometto

ATTIVITÀ DIDATTICA A LIVELLO UNIVERSITARIO IN ITALIA O ALL'ESTERO
(inserire anno accademico, ateneo, corso laurea, ecc.)

- 02/2001-07/2001: Esercitazioni per il corso di Fisica Generale II, presso la facoltà di Ingegneria Elettronica, Politecnico di Milano
- 09/2001-02/2002: Esercitazioni per il corso di Fisica Generale I, presso la facoltà di Ingegneria Elettronica, Politecnico di Milano
- 09/2002-02/2003: Esercitazioni per il corso di Fisica Generale I, presso la facoltà di Ingegneria Elettronica, Politecnico di Milano

DOCUMENTATA ATTIVITÀ DI FORMAZIONE O DI RICERCA PRESSO QUALIFICATI ISTITUTI ITALIANI O STRANIERI;
(inserire anno accademico, ente, corso, ecc.)

- 03/2020-02/2021. Assegno di Ricerca: "Analisi statistica e cosmologica delle mappe di Planck-LFI sviluppate nell'ambito del progetto H2020-BeyondPlanck - Studio delle mappe di Planck per l'analisi di futuri esperimenti di polarizzazione del CMB", Università degli Studi di Milano
- 03/2018-02/2020. Assegno di Ricerca: "Analisi statistica e cosmologica delle mappe di Planck-LFI sviluppate nell'ambito del progetto H2020-BeyondPlanck", Università degli Studi di Milano
- 09/2010-06/2017. Assistant Professor (Research) of Physics and Astronomy, Dana & David Dornsife College, University of Southern California, Los Angeles CA
- 09/2007-08/2010. Postdoctoral Scholar in Cosmology, Dana & David Dornsife College, University of Southern California, Los Angeles CA
- 02/2005-08/2007. Assegno di Ricerca in Cosmologia, Università di Milano-Bicocca
- 04/2003-01/2005. Assegno di Ricerca "Stima di parametri Cosmologici da misure della radiazione di fondo a 2.7K", Università di Milano-Bicocca
- 04/2002-03/2003. Assegno di Ricerca: "Sviluppo di software per l'analisi dei dati del satellite SPOrt", Università di Milano-Bicocca
- 02/2001-06/2001. Borsa di ricerca CIFS (Consorzio Interuniversitario per la Fisica Spaziale)

REALIZZAZIONE DI ATTIVITÀ PROGETTUALE
(indicare, data, progetto, ecc.)

- Mar. 2018 - oggi Direzione del Work Package 7: Physical Interpretation per il progetto H2020 Beyond- Planck. Il progetto ha come scopo di integrare diversi steps della pipeline di analisi dei dati dello strumento PlanckLFI che attualmente vengono trattati singolarmente (calibrazione, mapmaking, component separation, parameter estimation) in un'unico processo basato su un approccio di tipo Gibbs Sampling. Questo permette di ridurre ulteriormente le sistematiche residue ancora presenti nella release attuale dei dati Planck, e di propagare coerentemente le relative incertezze fino alla stima dei parametri cosmologici. Nell'ambito del progetto, il WP7 e' responsabile della caratterizzazione scientifica delle mappe e la relativa stima dei parametri cosmologici. I risultati sono in corso di pubblicazione sul sito <http://beyondplanck.science>
- 2014 - oggi Sviluppo della metodologia e relativo software (BFLike) per la stima dei parametri cosmologici a partire dalle mappe del satellite Planck, in particolare ai fini della

determinazione dei parametri cosmologici che caratterizzano l'abbondanza di onde gravitazionali primordiali (modi di polarizzazione B), e i dettagli della reionizzazione (modi di polarizzazione E). Il software relativo è stato rilasciato come parte del Planck Likelihood Code nelle Planck Data Release 2 e 3 e descritto in "Planck 2015 Results. XI. CMB power spectra, likelihoods, and robustness of parameters", "Planck 2015 Results. XIII. Cosmological parameters".

- 2010 - 2013 Sviluppo della metodologia e relativo software (Ruler) per la creazione di mappe di CMB e delle componenti astrofisiche a partire dalle mappe in frequenza del satellite Planck. Le mappe ad alta risoluzione corrispondenti sono state rilasciate nell'ambito della Planck Public Data Release 1 e descritte in dettaglio "Planck 2013 Results. XII. Diffuse Component Separation", "Planck 2013 Results. XIII. Galactic CO emission".

ORGANIZZAZIONE, DIREZIONE E COORDINAMENTO DI GRUPPI DI RICERCA NAZIONALI E INTERNAZIONALI, O PARTECIPAZIONE AGLI STESSI

(per ciascuna voce inserire anno, ruolo, gruppo di ricerca, ecc.)

- Dal 03/2018 al 06/2021: membro della collaborazione per il progetto H2020-BeyondPlanck con responsabilità della direzione del Work Package 7: Physical Interpretation.
- Dal 03/2018 al 06/2021: membro della collaborazione per il progetto LSPE (Large Scale Polarization Explorer), con responsabilità del coordinamento del Livello 2 (Mapmaking) e Livello 3 (Component Separation and Cosmological Interpretation) per lo strumento Strip.
- Dal 04/2008 al 12/2020: membro della collaborazione Planck nei ruoli: LFI Core Team, LFI Science Support, HFI Core Team, LFI Core Team 2, Planck Scientist, US Planck Data Analysis Team, US Planck Data Analysis Pipeline Development Team
- Dal 01/2002 al 12/2004: Membro del consorzio ASI Sky Polarization Observatory (SPort)
- Dal 09/2007 al 06/2018: NASA Jet Propulsion Laboratory Non-resident Research Scientist Affiliate.

ATTIVITÀ DI RELATORE A CONGRESSI E CONVEGNI NAZIONALI E INTERNAZIONALI

(inserire titolo congresso/convegno, data, ecc.)

1. 8th Summer Institute at Gran Sasso National Laboratory on: "New Dimensions in Astroparticle Physics" July 6-19, 2002, Assergi (AQ), Italy
2. 2nd Oxford CMBNet Meeting on: "Science and Parameters extraction", Feb 20-21, 2003, Oxford, UK
3. 4th Marseille International Conference on: "Where Cosmology and Fundamental Physics meet" June 23-26, 2003, Marseille, France
4. NASA SpacePart03 on: "Particle and Fundamental Physics in Space" Dec. 10-12, 2003, Washington D.C., USA
5. 11th Summer Institute at Gran Sasso National Laboratory on: "Frontiers in Astroparticle Physics" July 11- 28, 2006, Assergi (AQ), Italy
6. BPol Workshop Oct 25-27, 2006, Orsay, France
7. BPol Workshop Mar. 29-30, 2007, Rome, Italy.
8. Planck CTP Workshop, April 14-18, 2008, Raandsvangen, Norway.
9. LFI Core Team Meeting, September, 2008, Santander, Spain.
10. Planck CTP Meeting, October, 2008, Rome, Italy.
11. Planck Joint Core Team Meeting, Nov. 3-5, 2008, Bologna, Italy.
12. Planck CTP Workshop, Sept. 28 - Oct. 2, 2009, Warsaw, Poland.
13. Planck Joint Core Team Meeting, Nov. 2-4, 2009, Bologna, Italy.
14. Planck CTP Workshop, Feb 8-12, 2010, Cambridge, UK.
15. Planck CTP Workshop, Jun 14-18, 2010, London, UK.
16. Planck CTP Workshop, Oct 11-15, 2010, Porto, Portugal.
17. Planck CTP Workshop, Feb 14-18, 2011, Pasadena, CA, USA.
18. Planck CTP Workshop, Jun 13-17, 2011, Trieste, Italy.
19. Planck CTP Workshop, Oct 10-14, 2011, Berkeley, CA, USA.
20. Planck CTP Workshop, Feb 6-10, 2012, Ferrara, Italy.

21. Planck 2012 conference: "Astrophysics from the radio to submillimeter - Planck and other experiments in temperature and Polarization", Feb 13-17 2012, Bologna, Italy.
22. Planck CTP Workshop, Jun 18-22, 2012, Santander, Spain.
23. Planck LFI Core Team Meeting, Jul 9-10, 2012, Bologna, Italy.
24. Planck HFI Core Team Meeting, Jul 11-12, 2012, Paris, France.
25. Planck Join Core Team Meeting, Sep 10-14, 2012, Bologna, Italy.
26. Planck CTP Workshop, Oct 1-5, 2012, Paris, France.
27. Cosmic Frontier Conference, May 20-24, 2013, Davis, CA, USA.
28. Planck LFI Core Team Meeting, Sep. 16-17, 2013, Bologna, Italy.
29. Planck CTP Workshop, Sep 30-Oct 4, 2013, Lillehammer, Norway
30. Planck CTP Workshop, Mar 3-7, 2014, Paris, France.
31. Planck Joint Core Team, May 12-15, 2014, Trieste, Italy.
32. Planck Joint Core Team, Sep 29 - Oct 2, 2014, Bologna, Italy.
33. Planck Joint Core Team, Sep 17 - 18, 2015, Bologna, Italy.
34. BeyondPlanck Release Conference, Nov 18-20, Online.

CONSEGUIMENTO DI PREMI E RICONOSCIMENTI NAZIONALI E INTERNAZIONALI PER ATTIVITÀ DI RICERCA (inserire premio, data, ente organizzatore, ecc.)

- Gruber Foundation Cosmology Prize (2018): Planck Team
- NASA Group Achievement Award (2013): U.S. Planck Data Analysis Team
- NASA Group Achievement Award (2011): U.S. Planck Data Analysis and Operation Support Team
- NASA Group Achievement Award (2010): U.S. Planck Data Analysis Pipeline Development Team
- Abilitazione Scientifica Nazionale per settore 02/C1, Fascia II, in data 11/07/2018

TITOLI DI CUI ALL'ARTICOLO 24 COMMA 3 LETTERA A) E B) DELLA LEGGE 30 DICEMBRE 2010, N. 240 (indicare se contratto di tipologia A o B, Ateneo, data di decorrenza e fine contratto, ecc.)

PRODUZIONE SCIENTIFICA

PUBBLICAZIONI SCIENTIFICHE

(per ciascuna pubblicazione indicare: nomi degli autori, titolo completo, casa editrice, data e luogo di pubblicazione, codice ISBN, ISSN, DOI o altro equivalente)

- [1] Natale, U., Pagano, L., Lattanzi, M., et al. 2020, Astronomy and Astrophysics, 644, A32.
Doi:10.1051/0004-6361/202038508
- [2] Planck Collaboration, Akrami, Y., Andersen, K. J., et al. 2020, Astronomy and Astrophysics, 643, A42. Doi:10.1051/0004-6361/202038073
- [3] Planck Collaboration, Aghanim, N., Akrami, Y., et al. 2020, Astronomy and Astrophysics, 641, A12.
Doi:10.1051/0004-6361/201833885
- [4] Planck Collaboration, Akrami, Y., Arroja, F., et al. 2020, Astronomy and Astrophysics, 641, A10.
Doi:10.1051/0004-6361/201833887
- [5] Planck Collaboration, Akrami, Y., Arroja, F., et al. 2020, Astronomy and Astrophysics, 641, A9.
Doi:10.1051/0004-6361/201935891
- [6] Planck Collaboration, Aghanim, N., Akrami, Y., et al. 2020, Astronomy and Astrophysics, 641, A8.
Doi:10.1051/0004-6361/201833886
- [7] Planck Collaboration, Akrami, Y., Ashdown, M., et al. 2020, Astronomy and Astrophysics, 641, A7.
Doi:10.1051/0004-6361/201935201
- [8] Planck Collaboration, Aghanim, N., Akrami, Y., et al. 2020, Astronomy and Astrophysics, 641, A6.
Doi:10.1051/0004-6361/201833910
- [9] Planck Collaboration, Aghanim, N., Akrami, Y., et al. 2020, Astronomy and Astrophysics, 641, A5.
Doi:10.1051/0004-6361/201936386

- [10] Planck Collaboration, Akrami, Y., Ashdown, M., et al. 2020, *Astronomy and Astrophysics*, 641, A4. Doi:10.1051/0004-6361/201833881
- [11] Planck Collaboration, Aghanim, N., Akrami, Y., et al. 2020, *Astronomy and Astrophysics*, 641, A3. Doi:10.1051/0004-6361/201832909
- [12] Planck Collaboration, Akrami, Y., Argüeso, F., et al. 2020, *Astronomy and Astrophysics*, 641, A2. Doi:10.1051/0004-6361/201833293
- [13] Planck Collaboration, Aghanim, N., Akrami, Y., et al. 2020, *Astronomy and Astrophysics*, 641, A1. Doi:10.1051/0004-6361/201833880
- [14] Gerbino, M., Lattanzi, M., Migliaccio, M., et al. 2020, *Frontiers in Physics*, 8, 15. doi:10.3389/fphy.2020.00015
- [15] Planck Collaboration, and 184 colleagues 2018. Planck intermediate results. XV. A study of anomalous microwave emission in Galactic clouds (Corrigendum). *Astronomy and Astrophysics* 610, C1.
- [16] Planck Collaboration, and 149 colleagues 2017. Planck intermediate results. LII. Planet flux densities. *Astronomy and Astrophysics* 607, A122.
- [17] Planck Collaboration, and 157 colleagues 2017. Planck intermediate results. LI. Features in the cosmic microwave background temperature power spectrum and shifts in cosmological parameters. *Astronomy and Astrophysics* 607, A95.
- [18] Planck Collaboration, and 158 colleagues 2017. Planck intermediate results. L. Evidence of spatial variation of the polarized thermal dust spectral energy distribution and implications for CMB B-mode analysis. *Astronomy and Astrophysics* 599, A51.
- [19] Planck Collaboration, and 150 colleagues 2016. Planck intermediate results. XLIX. Parityviolation constraints from polarization data. *Astronomy and Astrophysics* 596, A110.
- [20] Planck Collaboration, and 159 colleagues 2016. Planck intermediate results. XLVIII. Disentangling Galactic dust emission and cosmic infrared background anisotropies. *Astronomy and Astrophysics* 596, A109.
- [21] Planck Collaboration, and 167 colleagues 2016. Planck intermediate results. XLVII. Planck constraints on reionization history. *Astronomy and Astrophysics* 596, A108.
- [22] Planck Collaboration, and 172 colleagues 2016. Planck intermediate results. XLVI. Reduction of large-scale systematic effects in HFI polarization maps and estimation of the reionization optical depth. *Astronomy and Astrophysics* 596, A107.
- [23] Planck Collaboration, and 186 colleagues 2016. Planck intermediate results. XLV. Radio spectra of northern extragalactic radio sources. *Astronomy and Astrophysics* 596, A106.
- [24] Planck Collaboration, and 167 colleagues 2016. Planck intermediate results. XLIV. Structure of the Galactic magnetic field from dust polarization maps of the southern Galactic cap. *Astronomy and Astrophysics* 596, A105.
- [25] Planck Collaboration, and 181 colleagues 2016. Planck intermediate results. XLIII. Spectral energy distribution of dust in clusters of galaxies. *Astronomy and Astrophysics* 596, A104.
- [26] Planck Collaboration, and 177 colleagues 2016. Planck intermediate results. XLII. Large-scale Galactic magnetic fields. *Astronomy and Astrophysics* 596, A103.
- [27] Planck Collaboration, and 180 colleagues 2016. Planck intermediate results. XLI. A map of lensing-induced B-modes. *Astronomy and Astrophysics* 596, A102.
- [28] Planck Collaboration, and 204 colleagues 2016. Planck intermediate results. XL. The Sunyaev-Zeldovich signal from the Virgo cluster. *Astronomy and Astrophysics* 596, A101.
- [29] Planck Collaboration, and 190 colleagues 2016. Planck intermediate results. XXXIX. The Planck list of high-redshift source candidates. *Astronomy and Astrophysics* 596, A100.
- [30] Planck Collaboration, and 222 colleagues 2016. Planck 2015 results. XXVIII. The Planck Catalogue of Galactic cold clumps. *Astronomy and Astrophysics* 594, A28.
- [31] Planck Collaboration, and 259 colleagues 2016. Planck 2015 results. XXVII. The second Planck catalogue of Sunyaev-Zeldovich sources. *Astronomy and Astrophysics* 594, A27.
- [32] Planck Collaboration, and 242 colleagues 2016. Planck 2015 results. XXVI. The Second Planck Catalogue of Compact Sources. *Astronomy and Astrophysics* 594, A26.
- [33] Planck Collaboration, and 239 colleagues 2016. Planck 2015 results. XXV. Diffuse lowfrequency Galactic foregrounds. *Astronomy and Astrophysics* 594, A25.
- [34] Planck Collaboration, and 235 colleagues 2016. Planck 2015 results. XXIV. Cosmology from Sunyaev-Zeldovich cluster counts. *Astronomy and Astrophysics* 594, A24.
- [35] Planck Collaboration, and 201 colleagues 2016. Planck 2015 results. XXIII. The thermal Sunyaev-Zeldovich effect-cosmic infrared background correlation. *Astronomy and Astrophysics* 594, A23.
- [36] Planck Collaboration, and 201 colleagues 2016. Planck 2015 results. XXII. A map of the thermal Sunyaev-Zeldovich effect. *Astronomy and Astrophysics* 594, A22.
- [37] Planck Collaboration, and 231 colleagues 2016. Planck 2015 results. XXI. The integrated Sachs-Wolfe effect. *Astronomy and Astrophysics* 594, A21.

- [38] Planck Collaboration, and 246 colleagues 2016. Planck 2015 results. XX. Constraints on inflation. *Astronomy and Astrophysics* 594, A20.
- [39] Planck Collaboration, and 232 colleagues 2016. Planck 2015 results. XIX. Constraints on primordial magnetic fields. *Astronomy and Astrophysics* 594, A19.
- [40] Planck Collaboration, and 225 colleagues 2016. Planck 2015 results. XVIII. Background geometry and topology of the Universe. *Astronomy and Astrophysics* 594, A18.
- [41] Planck Collaboration, and 241 colleagues 2016. Planck 2015 results. XVII. Constraints on primordial non-Gaussianity. *Astronomy and Astrophysics* 594, A17.
- [42] Planck Collaboration, and 244 colleagues 2016. Planck 2015 results. XVI. Isotropy and statistics of the CMB. *Astronomy and Astrophysics* 594, A16.
- [43] Planck Collaboration, and 229 colleagues 2016. Planck 2015 results. XV. Gravitational lensing. *Astronomy and Astrophysics* 594, A15.
- [44] Planck Collaboration, and 236 colleagues 2016. Planck 2015 results. XIV. Dark energy and modified gravity. *Astronomy and Astrophysics* 594, A14.
- [45] Planck Collaboration, and 261 colleagues 2016. Planck 2015 results. XIII. Cosmological parameters. *Astronomy and Astrophysics* 594, A13.
- [46] Planck Collaboration, and 230 colleagues 2016. Planck 2015 results. XII. Full focal plane simulations. *Astronomy and Astrophysics* 594, A12.
- [47] Planck Collaboration, and 223 colleagues 2016. Planck 2015 results. XI. CMB power spectra, likelihoods, and robustness of parameters. *Astronomy and Astrophysics* 594, A11.
- [48] Planck Collaboration, and 239 colleagues 2016. Planck 2015 results. X. Diffuse component separation: Foreground maps. *Astronomy and Astrophysics* 594, A10.
- [49] Planck Collaboration, and 239 colleagues 2016. Planck 2015 results. IX. Diffuse component separation: CMB maps. *Astronomy and Astrophysics* 594, A9.
- [50] Planck Collaboration, and 225 colleagues 2016. Planck 2015 results. VIII. High Frequency Instrument data processing: Calibration and maps. *Astronomy and Astrophysics* 594, A8.
- [51] Planck Collaboration, and 227 colleagues 2016. Planck 2015 results. VII. High Frequency Instrument data processing: Time-ordered information and beams. *Astronomy and Astrophysics* 594, A7.
- [52] Planck Collaboration, and 200 colleagues 2016. Planck 2015 results. VI. LFI mapmaking. *Astronomy and Astrophysics* 594, A6.
- [53] Planck Collaboration, and 208 colleagues 2016. Planck 2015 results. V. LFI calibration. *Astronomy and Astrophysics* 594, A5.
- [54] Planck Collaboration, and 202 colleagues 2016. Planck 2015 results. IV. Low Frequency Instrument beams and window functions. *Astronomy and Astrophysics* 594, A4.
- [55] Planck Collaboration, and 170 colleagues 2016. Planck 2015 results. III. LFI systematic uncertainties. *Astronomy and Astrophysics* 594, A3.
- [56] Planck Collaboration, and 216 colleagues 2016. Planck 2015 results. II. Low Frequency Instrument data processings. *Astronomy and Astrophysics* 594, A2.
- [57] Planck Collaboration, and 369 colleagues 2016. Planck 2015 results. I. Overview of products and scientific results. *Astronomy and Astrophysics* 594, A1.
- [58] Planck Collaboration, and 194 colleagues 2016. Planck intermediate results. XXXVIII. E- and B-modes of dust polarization from the magnetized filamentary structure of the interstellar medium. *Astronomy and Astrophysics* 586, A141.
- [59] Planck Collaboration, and 191 colleagues 2016. Planck intermediate results. XXXVII. Evidence of unbound gas from the kinetic Sunyaev-Zeldovich effect. *Astronomy and Astrophysics* 586, A140.
- [60] Planck Collaboration, and 190 colleagues 2016. Planck intermediate results. XXXVI. Optical identification and redshifts of Planck SZ sources with telescopes at the Canary Islands observatories. *Astronomy and Astrophysics* 586, A139.
- [61] Planck Collaboration, and 197 colleagues 2016. Planck intermediate results. XXXV. Probing the role of the magnetic field in the formation of structure in molecular clouds. *Astronomy and Astrophysics* 586, A138.
- [62] Planck Collaboration, and 199 colleagues 2016. Planck intermediate results. XXXIV. The magnetic field structure in the Rosette Nebula. *Astronomy and Astrophysics* 586, A137.
- [63] Planck Collaboration, and 192 colleagues 2016. Planck intermediate results. XXXIII. Signature of the magnetic field geometry of interstellar filaments in dust polarization maps. *Astronomy and Astrophysics* 586, A136.
- [64] Planck Collaboration, and 203 colleagues 2016. Planck intermediate results. XXXII. The relative orientation between the magnetic field and structures traced by interstellar dust. *Astronomy and Astrophysics* 586, A135.
- [65] Planck Collaboration, and 162 colleagues 2016. Planck intermediate results. XXXI. Microwave survey of Galactic supernova remnants. *Astronomy and Astrophysics* 586, A134.

- [66] Planck Collaboration, and 233 colleagues 2016. Planck intermediate results. XXX. The angular power spectrum of polarized dust emission at intermediate and high Galactic latitudes. *Astronomy and Astrophysics* 586, A133.
- [67] Planck Collaboration, and 197 colleagues 2016. Planck intermediate results. XXIX. All-sky dust modelling with Planck, IRAS, and WISE observations. *Astronomy and Astrophysics* 586, A132.
- [68] Gjerløw, E., Colombo, L. P. L., Eriksen, H. K., Górski, K. M., Gruppuso, A., Jewell, J. B., Plaszczynski, S., Wehus, I. K. 2015. Optimized Large-scale CMB Likelihood and Quadratic Maximum Likelihood Power Spectrum Estimation. *The Astrophysical Journal Supplement Series* 221, 5.
- [69] Planck Collaboration, and 200 colleagues 2015. Planck intermediate results. XXVIII. Interstellar gas and dust in the Chamaeleon clouds as seen by Fermi LAT and Planck. *Astronomy and Astrophysics* 582, A31.
- [70] Planck Collaboration, and 199 colleagues 2015. Planck intermediate results. XXVI. Optical identification and redshifts of Planck clusters with the RTT150 telescope. *Astronomy and Astrophysics* 582, A29.
- [71] Planck Collaboration, and 204 colleagues 2015. Planck intermediate results. XXV. The Andromeda galaxy as seen by Planck. *Astronomy and Astrophysics* 582, A28.
- [72] Planck Collaboration, and 277 colleagues 2015. Planck 2013 results. XXXII. The updated Planck catalogue of Sunyaev-Zeldovich sources. *Astronomy and Astrophysics* 581, A14.
- [73] Planck Collaboration, and 169 colleagues 2015. Planck intermediate results. XXIV. Constraints on variations in fundamental constants. *Astronomy and Astrophysics* 580, A22.
- [74] Planck Collaboration, and 191 colleagues 2015. Planck intermediate results. XXIII. Galactic plane emission components derived from Planck with ancillary data. *Astronomy and Astrophysics* 580, A13.
- [75] Planck Collaboration, and 179 colleagues 2015. Planck intermediate results. XXII. Frequency dependence of thermal emission from Galactic dust in intensity and polarization. *Astronomy and Astrophysics* 576, A107.
- [76] Planck Collaboration, and 195 colleagues 2015. Planck intermediate results. XXI. Comparison of polarized thermal emission from Galactic dust at 353 GHz with interstellar polarization in the visible. *Astronomy and Astrophysics* 576, A106.
- [77] Planck Collaboration, and 188 colleagues 2015. Planck intermediate results. XX. Comparison of polarized thermal emission from Galactic dust with simulations of MHD turbulence. *Astronomy and Astrophysics* 576, A105.
- [78] Planck Collaboration, and 202 colleagues 2015. Planck intermediate results. XIX. An overview of the polarized thermal emission from Galactic dust. *Astronomy and Astrophysics* 576, A104.
- [79] BICEP2/Keck Collaboration, and 279 colleagues 2015. Joint Analysis of BICEP2/Keck Array and Planck Data. *Physical Review Letters* 114, 101301.
- [80] Planck Collaboration, and 160 colleagues 2015. Planck intermediate results. XVIII. The millimetre and sub-millimetre emission from planetary nebulae. *Astronomy and Astrophysics* 573, A6.
- [81] Planck Collaboration, and 183 colleagues 2014. Planck 2013 results. XXXI. Consistency of the Planck data. *Astronomy and Astrophysics* 571, A31.
- [82] Planck Collaboration, and 241 colleagues 2014. Planck 2013 results. XXX. Cosmic infrared background measurements and implications for star formation. *Astronomy and Astrophysics* 571, A30.
- [83] Planck Collaboration, and 275 colleagues 2014. Planck 2013 results. XXIX. The Planck catalogue of Sunyaev-Zeldovich sources. *Astronomy and Astrophysics* 571, A29.
- [84] Planck Collaboration, and 243 colleagues 2014. Planck 2013 results. XXVIII. The Planck Catalogue of Compact Sources. *Astronomy and Astrophysics* 571, A28.
- [85] Planck Collaboration, and 183 colleagues 2014. Planck 2013 results. XXVII. Doppler boosting of the CMB: Eppur si muove. *Astronomy and Astrophysics* 571, A27.
- [86] Planck Collaboration, and 228 colleagues 2014. Planck 2013 results. XXVI. Background geometry and topology of the Universe. *Astronomy and Astrophysics* 571, A26.
- [87] Planck Collaboration, and 227 colleagues 2014. Planck 2013 results. XXV. Searches for cosmic strings and other topological defects. *Astronomy and Astrophysics* 571, A25.
- [88] Planck Collaboration, and 239 colleagues 2014. Planck 2013 results. XXIV. Constraints on primordial non-Gaussianity. *Astronomy and Astrophysics* 571, A24.
- [89] Planck Collaboration, and 254 colleagues 2014. Planck 2013 results. XXIII. Isotropy and statistics of the CMB. *Astronomy and Astrophysics* 571, A23.
- [90] Planck Collaboration, and 243 colleagues 2014. Planck 2013 results. XXII. Constraints on inflation. *Astronomy and Astrophysics* 571, A22.
- [91] Planck Collaboration, and 238 colleagues 2014. Planck 2013 results. XXI. Power spectrum and high-order statistics of the Planck all-sky Compton parameter map. *Astronomy and Astrophysics* 571, A21.

- [92] Planck Collaboration, and 254 colleagues 2014. Planck 2013 results. XX. Cosmology from Sunyaev-Zeldovich cluster counts. *Astronomy and Astrophysics* 571, A20.
- [93] Planck Collaboration, and 247 colleagues 2014. Planck 2013 results. XIX. The integrated Sachs-Wolfe effect. *Astronomy and Astrophysics* 571, A19.
- [94] Planck Collaboration, and 226 colleagues 2014. Planck 2013 results. XVIII. The gravitational lensing-infrared background correlation. *Astronomy and Astrophysics* 571, A18.
- [95] Planck Collaboration, and 240 colleagues 2014. Planck 2013 results. XVII. Gravitational lensing by large-scale structure. *Astronomy and Astrophysics* 571, A17.
- [96] Planck Collaboration, and 264 colleagues 2014. Planck 2013 results. XVI. Cosmological parameters. *Astronomy and Astrophysics* 571, A16.
- [97] Planck Collaboration, and 261 colleagues 2014. Planck 2013 results. XV. CMB power spectra and likelihood. *Astronomy and Astrophysics* 571, A15.
- [98] Planck Collaboration, and 231 colleagues 2014. Planck 2013 results. XIV. Zodiacal emission. *Astronomy and Astrophysics* 571, A14.
- [99] Planck Collaboration, and 243 colleagues 2014. Planck 2013 results. XIII. Galactic CO emission. *Astronomy and Astrophysics* 571, A13.
- [100] Planck Collaboration, and 260 colleagues 2014. Planck 2013 results. XII. Diffuse component separation. *Astronomy and Astrophysics* 571, A12.
- [101] Planck Collaboration, and 246 colleagues 2014. Planck 2013 results. XI. All-sky model of thermal dust emission. *Astronomy and Astrophysics* 571, A11.
- [102] Planck Collaboration, and 215 colleagues 2014. Planck 2013 results. X. HFI energetic particle effects: characterization, removal, and simulation. *Astronomy and Astrophysics* 571, A10.
- [103] Planck Collaboration, and 219 colleagues 2014. Planck 2013 results. IX. HFI spectral response. *Astronomy and Astrophysics* 571, A9.
- [104] Planck Collaboration, and 228 colleagues 2014. Planck 2013 results. VIII. HFI photometric calibration and mapmaking. *Astronomy and Astrophysics* 571, A8.
- [105] Planck Collaboration, and 222 colleagues 2014. Planck 2013 results. VII. HFI time response and beams. *Astronomy and Astrophysics* 571, A7.
- [106] Planck Collaboration, and 242 colleagues 2014. Planck 2013 results. VI. High Frequency Instrument data processing. *Astronomy and Astrophysics* 571, A6.
- [107] Planck Collaboration, and 219 colleagues 2014. Planck 2013 results. V. LFI calibration. *Astronomy and Astrophysics* 571, A5.
- [108] Planck Collaboration, and 209 colleagues 2014. Planck 2013 results. IV. Low Frequency Instrument beams and window functions. *Astronomy and Astrophysics* 571, A4.
- [109] Planck Collaboration, and 220 colleagues 2014. Planck 2013 results. III. LFI systematic uncertainties. *Astronomy and Astrophysics* 571, A3.
- [110] Planck Collaboration, and 231 colleagues 2014. Planck 2013 results. II. Low Frequency Instrument data processing. *Astronomy and Astrophysics* 571, A2.
- [111] Planck Collaboration, and 197 colleagues 2014. Planck intermediate results. XVII. Emission of dust in the diffuse interstellar medium from the far-infrared to microwave frequencies. *Astronomy and Astrophysics* 566, A55.
- [112] Planck Collaboration, and 184 colleagues 2014. Planck intermediate results. XVI. Profile likelihoods for cosmological parameters. *Astronomy and Astrophysics* 566, A54.
- [113] Planck Collaboration, and 185 colleagues 2014. Planck intermediate results. XV. A study of anomalous microwave emission in Galactic clouds. *Astronomy and Astrophysics* 565, A103.
- [114] Planck Collaboration, and 194 colleagues 2014. Planck intermediate results. XIV. Dust emission at millimetre wavelengths in the Galactic plane. *Astronomy and Astrophysics* 564, A45.
- [115] Planck Collaboration, and 184 colleagues 2014. Planck intermediate results. XIII. Constraints on peculiar velocities. *Astronomy and Astrophysics* 561, A97.
- [116] Planck Collaboration, and 217 colleagues 2013. Erratum: Planck intermediate results (Corrigendum). V. Pressure profiles of galaxy clusters from the Sunyaev-Zeldovich effect. *Astronomy and Astrophysics* 558, C2.
- [117] Planck Collaboration, and 181 colleagues 2013. Planck intermediate results. XII: Diffuse Galactic components in the Gould Belt system. *Astronomy and Astrophysics* 557, A53.
- [118] Planck Collaboration, and 203 colleagues 2013. Planck intermediate results. XI. The gas content of dark matter halos: the Sunyaev-Zeldovich-stellar mass relation for locally brightest galaxies. *Astronomy and Astrophysics* 557, A52.
- [119] Planck Collaboration, and 209 colleagues 2013. Planck intermediate results. X. Physics of the hot gas in the Coma cluster. *Astronomy and Astrophysics* 554, A140.
- [120] Planck Collaboration, and 188 colleagues 2013. Planck intermediate results. IX. Detection of the Galactic haze with Planck. *Astronomy and Astrophysics* 554, A139.

- [121] Planck Collaboration, and 207 colleagues 2013. Planck intermediate results. VIII. Filaments between interacting clusters. *Astronomy and Astrophysics* 550, A134.
- [122] Planck Collaboration, and 190 colleagues 2013. Planck intermediate results. VII. Statistical properties of infrared and radio extragalactic sources from the Planck Early Release Compact Source Catalogue at frequencies between 100 and 857 GHz. *Astronomy and Astrophysics* 550, A133.
- [123] Planck Collaboration, and 208 colleagues 2013. Planck intermediate results. VI. The dynamical structure of PLCKG214.6+37.0, a Planck discovered triple system of galaxy clusters. *Astronomy and Astrophysics* 550, A132.
- [124] Planck Collaboration, and 217 colleagues 2013. Planck intermediate results. V. Pressure profiles of galaxy clusters from the Sunyaev-Zeldovich effect. *Astronomy and Astrophysics* 550, A131.
- [125] Pietrobon, D., and 12 colleagues 2012. Analysis of WMAP 7 Year Temperature Data: Astrophysics of the Galactic Haze. *The Astrophysical Journal* 755, 69.
- [126] Zacchei, A., and 148 colleagues 2011. Planck early results. V. The Low Frequency Instrument data processing. *Astronomy and Astrophysics* 536, A5.
- [127] Mennella, A., and 160 colleagues 2011. Planck early results. III. First assessment of the Low Frequency Instrument in-flight performance. *Astronomy and Astrophysics* 536, A3.
- [128] Kristiansen, J. R., La Vacca, G., Colombo, L. P. L., Mainini, R., Bonometto, S. A. 2010. Coupling between cold dark matter and dark energy from neutrino mass experiments. *New Astronomy* 15, 609-613.
- [129] Colombo, L. P. L., Pierpaoli, E. 2010. Estimates of unresolved point source contribution to WMAP 5. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 407, 247-257.
- [130] La Vacca, G., Kristiansen, J. R., Colombo, L. P. L., Mainini, R., Bonometto, S. A. 2009. Do WMAP data favor neutrino mass and a coupling between Cold Dark Matter and Dark Energy ?. *Nuclear Physics B Proceedings Supplements* 194, 254-259.
- [131] Colombo, L. P. L., Pierpaoli, E., Pritchard, J. R. 2009. Cosmological parameters after WMAP5: forecasts for Planck and future galaxy surveys. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 398, 1621-1637.
- [132] La Vacca, G., Bonometto, S. A., Colombo, L. P. L. 2009. Higher neutrino mass allowed if Cold Dark Matter and Dark Energy are coupled. *New Astronomy* 14, 435-442.
- [133] Vacca, G. L., Colombo, L. P. L., Vergani, L., Bonometto, S. A. 2009. Dark Matter-Dark Energy Coupling Biasing Parameter Estimates from Cosmic Microwave Background Data. *The Astrophysical Journal* 697, 1946-1955.
- [134] Colombo, L. P. L., Pierpaoli, E. 2009. Model independent approaches to reionization in the analysis of upcoming CMB data. *New Astronomy* 14, 269-276.
- [135] La Vacca, G., Kristiansen, J. R., Colombo, L. P. L., Mainini, R., Bonometto, S. A. 2009. Do WMAP data favor neutrino mass and a coupling between Cold Dark Matter and Dark Energy?. *Journal of Cosmology and Astro-Particle Physics* 4, 007.
- [136] La Vacca, G., Colombo, L. P. L. 2008. Gravitational lensing constraints on dynamical and coupled dark energy. *Journal of Cosmology and Astro-Particle Physics* 4, 007.
- [137] Colombo, L. P. L., Gervasi, M. 2006. Constraints on quintessence using recent cosmological data. *Journal of Cosmology and Astro-Particle Physics* 10, 001.
- [138] Mainini, R., Colombo, L. P. L., Bonometto, S. A. 2005. Dark Matter and Dark Energy from a Single Scalar Field and Cosmic Microwave Background Data. *The Astrophysical Journal* 632, 691-705.
- [139] Colombo, L. P. L., Bernardi, G., Casarini, L., Mainini, R., Bonometto, S. A., Carretti, E., Fabbri, R. 2005. Cosmic microwave background polarization and reionization: Constraining models with a double reionization. *Astronomy and Astrophysics* 435, 413-420.
- [140] Cortiglioni, S., and 30 colleagues 2004. The Sky Polarization Observatory. *New Astronomy* 9, 297-327.
- [141] Colombo, L. P. L. 2004. Constraining the reionization history with large angle cosmic microwave background polarization. *Journal of Cosmology and Astro-Particle Physics* 3, 003.
- [142] Colombo, L. P. L., Bonometto, S. A. 2003. Cosmic opacity to CMB photons and polarization measurements. *New Astronomy Reviews* 47, 849-853.
- [143] Mainini, R., Colombo, L. P. L., Bonometto, S. A. 2003. Nature of dark energy and polarization measurements. *New Astronomy* 8, 751-766.
- [144] Colombo, L. P. L., Mainini, R., Bonometto, S. A. 2003. Polarization Measures And Nature Of Dark Energy. *ArXiv Astrophysics e-prints arXiv:astro-ph/0309438*.
- [145] Colombo, L. P. L., Bonometto, S. A. 2003. Cosmic opacity to CMB photons and polarization measurements. *New Astronomy* 8, 313-323.
- [146] Colombo, L. P. L., Bonometto, S. A. 2001. Scaling Laws and Luminosity Segregation. *The Astrophysical Journal* 549, 702-710.

Data

03/06/2021

Luogo

Aicurzio