

AperTO - Archivio Istituzionale Open Access dell'Università di Torino

Accessibilità di contenuti digitali per le STEM: un problema aperto. Alcune soluzioni inclusive per l'accessibilità di formule e grafici

This is a pre print version of the following article:

Original Citation:

Availability:

This version is available <http://hdl.handle.net/2318/1778447> since 2021-03-08T16:35:17Z

Terms of use:

Open Access

Anyone can freely access the full text of works made available as "Open Access". Works made available under a Creative Commons license can be used according to the terms and conditions of said license. Use of all other works requires consent of the right holder (author or publisher) if not exempted from copyright protection by the applicable law.

(Article begins on next page)

Accessibilità di contenuti digitali per le STEM: un problema aperto. Alcune soluzioni inclusive per l'accessibilità di formule e grafici.

Tiziana Armano, Anna Capietto, Dragan Ahmetovic, Cristian Bernareggi, Sandro Coriasco, Mattia Ducci, Chiara Magosso, Alessandro Mazzei, Nadir Murru, Adriano Sofia

Sommario.

Il livello di sviluppo delle tecnologie in vari campi è attualmente molto elevato: siamo nell'era della società digitale, delle Smart cities, dei Big Data, del Cloud Computing e dell'IoT (Internet of Things). In questo contesto sono e saranno sempre più richiesti lavoratori con competenze scientifiche e tecnologiche. Paradossalmente però alcune tecnologie, assistive o compensative, ancora non gestiscono opportunamente contenuti scientifici digitali. Queste barriere disincentivano persone con disabilità e disturbi specifici di apprendimento (DSA) ad accedere a percorsi di formazione di tipo scientifico e precludono in seguito la possibilità di accedere a professioni STEM.

Abstract.

The level of development of technologies in various fields is currently very high: we are in the era of digital society, Smart cities, Big Data, Cloud Computing and IoT (Internet of Things). In this context, workers with scientific and technological skills are and will be increasingly required. Paradoxically, however, some technologies, assistive or compensatory, still do not properly manage digital scientific contents. These barriers discourage people with disabilities and specific learning disabilities (SLD) from accessing scientific training courses and subsequently preclude the possibility of accessing STEM professions.

Keywords: Accessibility, inclusion, STEM, assistive technologies, learning disorders.

1 Introduzione: garantire il diritto allo studio

Per indagare le tecnologie e strategie per assistere le persone con disabilità visive nel loro percorso di studi scientifico è nato nel 2012 all'interno del Dipartimento di Matematica "G. Peano" dell'Università di Torino il progetto "Per una matematica accessibile e inclusiva".

Questo progetto si è poi evoluto nel 2018 con la creazione del Laboratorio "S. Polin" per la ricerca e sperimentazione di nuove tecnologie assistive per le STEM (acronimo inglese che indica le quattro discipline scientifico-tecnologiche: scienza, tecnologia, ingegneria e matematica). Lo spettro delle sue attività è stato ampliato a disabilità motorie e sensoriali e, più di recente, ai disturbi specifici di apprendimento (DSA).

Il Laboratorio, una struttura unica nel suo genere in Italia e tra le pochissime in Europa, si occupa non solo di sviluppare nuove soluzioni tecnologiche che facilitino l'accesso a studi e professioni nell'ambito STEM da parte di persone con disabilità e DSA ma anche di testare, adattare e diffondere le tecnologie già esistenti.

Il principio ispiratore del progetto e quindi del Laboratorio è garantire il diritto allo studio, diritto fondamentale ed inalienabile della persona sancito nel diritto internazionale dalla Dichiarazione universale dei diritti umani dell'ONU. Purtroppo attualmente, nonostante lo sviluppo avanzato delle tecnologie in generale e in particolare di quelle assistive, risulta difficoltoso l'accesso da parte di persone con disabilità e con DSA a studi scientifici e di conseguenza a professioni tecnico/scientifiche. In apparenza tale problema pare relativo a pochi ambiti di studio ma questo è del tutto falso poiché nella maggior parte dei corsi universitari ci sono insegnamenti di matematica e fisica di base e in molti corsi di laurea di ambito umanistico sono presenti insegnamenti di statistica. Anche nel mondo del lavoro la richiesta di competenze scientifiche, tecniche ed informatiche è in forte crescita.

2 **Axessibility: produrre documenti scientifici accessibili**

Prima della nascita del Laboratorio Polin il gruppo di ricerca *Tecnologie assistive per le STEM* ha operato nell'ambito del progetto "Per una matematica accessibile e inclusiva". Tale progetto ha avuto come obiettivo principale la ricerca di un metodo efficace per la lettura e la scrittura di formule da parte di persone con disabilità visiva.

Con l'utilizzo di computer o dispositivi mobili e ausili quali sintesi vocali, display braille e ingranditori, la lettura e la scrittura di testi ben strutturati senza formule non rappresentano un problema per persone con disabilità visiva. Invece l'accesso a testi scientifici contenenti formule rimane un problema aperto: la gestione di formule, oggetti *non in linea* ma bidimensionali risulta complessa da parte degli ausili sopra citati. Nell'ambito del web il problema della lettura di formule è stato risolto con l'utilizzo di MathML. Tale linguaggio di marcatura risulta tuttavia troppo complesso e poco efficace per essere utilizzato da persone con disabilità visiva nell'ambito di studi universitari e nella scuola secondaria di secondo grado per la scrittura di formule. Inoltre, attualmente è quasi impossibile reperire testi scolastici redatti in HTML/MathML e non tutti i browser supportano MathML. Il problema della lettura / scrittura di formule è stato affrontato, ma non del tutto risolto, in svariate modalità. Alcune di queste soluzioni sono state presentate a Didamatica 2015 [1]: tra queste, una delle più significative riguarda il software Lambda (Linear Access to Mathematics for Braille Device and Audio-synthesis) che integra funzionalmente un nuovo codice matematico lineare con un editor per la visualizzazione, la scrittura e la manipolazione. Lo svantaggio principale di tale soluzione è che non è inclusiva, inoltre attualmente il software è disponibile solo per sistemi Windows e non comprende tutti i simboli matematici necessari per gli studi universitari.

In seguito a collaborazioni con lo Study Center for the Visually Impaired (SZS) del Karlsruhe Institute of Technology e con il centro Sinapsi dell'Università Federico II di Napoli e confronti con docenti universitari con esperienza di studenti con disabilità visiva, l'utilizzo del linguaggio LaTeX è apparso essere la migliore soluzione possibile.

LaTeX è un linguaggio per la scrittura di testi con formule usato da oltre 20 anni dalla comunità scientifica per la stesura di testi e pubblicazioni scientifici. È un linguaggio di marcatura con funzionalità di desktop publishing e automazione di gran parte della composizione tipografica, come numerazione, riferimenti incrociati, tabelle e figure, bibliografie, ecc. È distribuito con una licenza di software libero ed è disponibile per i più diffusi sistemi operativi (Windows, MacOS, Linux). Il funzionamento è di tipo WYSIWYM (acronimo di what you see is what you mean): si parte da un file testuale con comandi di marcatura in linea che poi dovrà essere compilato per ottenere un file PDF per stampa o archivi digitali. Essendo un linguaggio di marcatura, esso è adatto ad essere maneggiato e letto dalle tecnologie assistive. I software di sintesi vocali possono infatti leggere direttamente le formule scritte in LaTeX dal momento che esse sono linearizzate come nel caso del linguaggio MathML. Con l'utilizzo di LaTeX la scrittura di una formula è molto più breve, compatta e comprensibile rispetto alla stessa scritta in MathML. LaTeX ha il vantaggio di poter essere usato dagli studenti anche per la scrittura ed è una soluzione del tutto inclusiva e condivisa. Inoltre si ritiene possa essere utilizzato con successo anche nella scuola secondaria di secondo grado [2]. In molti casi però non si dispone del file LaTeX sorgente ma solo del file PDF prodotto dalla compilazione: i contenuti matematici di tale file non sono in generale accessibili. Questo è un problema noto da tempo nella comunità degli sviluppatori LaTeX ed esistono numerosi progetti per lo sviluppo di pacchetti aggiuntivi per rendere il file PDF accessibile. Il Laboratorio Polin nel 2018 ha sviluppato [3] il pacchetto *Axessibility* v. 1.0 basato sul pacchetto *Accsup* che permette, con l'aggiunta di una sola riga di codice nel file LaTeX sorgente, di ottenere PDF con formule accessibili. Più in dettaglio, il pacchetto *Axessibility* inserisce in modo automatico, durante la compilazione, il codice LaTeX delle formule nel file PDF. Tale codice è identificato tramite gli attributi **/Alt** e **/ActualText**, che vengono gestiti correttamente dagli screen reader. A supporto del pacchetto sono stati sviluppati e resi disponibili dizionari [4] per i software di sintesi vocali più diffusi, Jaws e NVDA, e il software *Accscleaner* [5] per la "pulizia" delle macro.

Nel 2019 è stata rilasciato il pacchetto v. 2.0, in cui tali funzionalità sono state estese agli ambienti multilinea del package standard *Amsmath*. Nel 2020, con la collaborazione di ricercatori esperti di standard PDF, è stato sviluppato e reso disponibile il pacchetto *Axessibility* v. 3.0 [6]. Esso si basa su un pacchetto più evoluto per

l'accessibilità, *TagPDF*, sviluppato da Ulrike Fisher [7] e permette di ottenere un PDF con tag di struttura del testo.

Il pacchetto *Axessibility* è gratuito e disponibile sul repository CTAN. È incluso nelle principali distribuzioni standard di LaTeX.

2.1 *Axessibility* per DSA

Il problema della gestione delle formule interessa anche gli strumenti compensativi usati da persone con disturbi specifici di apprendimento (DSA). Alcuni di questi strumenti sono a supporto della lettura di testi scolastici in formato digitale, pagine web e documenti PDF; essi però non funzionano bene in presenza di formule. Il Laboratorio Polin ha testato ePico! [8] un software compensativo con moltissime funzionalità. Esso è composto da diversi ambienti: in particolare è stato testato l'ambiente "lettore". Esso funziona molto bene in presenza di testo ed è in grado di leggere formule molto semplici; non riesce invece a gestire formule mediamente complesse. Queste ultime vengono gestite nel caso di file PDF prodotti con *Axessibility*. Il problema ora è che la formula viene letta in LaTeX e quindi risulta di difficile comprensione: sono stati pertanto sviluppati dei dizionari per il lettore di ePico! che convertono il LaTeX in linguaggio naturale per le lingue italiano e inglese [9]. *Axessibility* risulta utile anche per un altro strumento compensativo questa volta a supporto della scrittura: MateMitica [10]. Esso permette di scrivere con facilità operazioni, formule, espressioni e altre strutture matematiche. *Axessibility*, oltre a permettere la lettura della formula in LaTeX, permette di fare copia/incolla del codice LaTeX da un documento PDF. Questa operazione viene gestita bene da MateMitica infatti si può incollare nel programma il codice LaTeX ed esso viene visualizzato correttamente in formula automatizzando così il passaggio della trascrizione e permettendo subito di proseguire nello svolgimento dell'operazione.

Poiché l'utilizzo di *Axessibility* con software compensativi risulta molto promettente il Laboratorio Polin ha avviato una sperimentazione per avere una valutazione approfondita dell'utilizzo del pacchetto e dei relativi dizionari con strumenti compensativi e per poter procedere ad eventuali miglioramenti o all'aggiunta di ulteriori funzionalità. La sperimentazione, appena iniziata, coinvolge oltre al gruppo di ricerca del Laboratorio molti studenti dell'università con diagnosi di DSA.

2.2 Biblioteca scientifica accessibile

In seguito allo sviluppo del pacchetto *Axessibility* e dell'applicazione web *Audiofunctions.web*, che verrà illustrata nel prossimo paragrafo, il Laboratorio ha avviato un progetto per rendere disponibili testi scientifici in formato digitale accessibile. Il Laboratorio intende rendere disponibili libri per corsi universitari a indirizzo scientifico (matematica, fisica, ingegneria, economia, ecc...), libri di matematica di base e statistica per corsi universitari anche non a indirizzo scientifico. Essi saranno disponibili in formato PDF e, se possibile, HTML nella sezione apposita del sito web del laboratorio [11]. Attualmente sono già disponibili alcuni libri di testo e dispense universitarie. I documenti in formato PDF sono stati realizzati appunto grazie al pacchetto *Axessibility* e all'applicazione *Audiofunctions.web*. I documenti in formato HTML sono stati convertiti dal LaTeX usando il software LaTeXML.

3 Accessibilità dei grafici: sonificazione

Per quanto riguarda l'accessibilità dei grafici per persone con disabilità visiva le soluzioni e le ricerche più recenti sono relative alla sonificazione

La sonificazione è una tecnica che consente di trasformare e veicolare informazioni, che per loro natura non sono sonore, sotto forma di stimoli uditivi. Essa consente di percepire informazioni facendo leva sulle capacità

che l'udito umano ha di distinguere le variazioni dei parametri del suono quali l'ampiezza, frequenza, durata, timbro e direzione. Inoltre vi è la possibilità di percepire più fonti sonore contemporaneamente e di ricostruirle mentalmente (polifonia), nella quale tanti strumenti diversi per timbro, potenza e frequenza del suono [12] suonano contemporaneamente.

La possibilità di sonificare grafici che rappresentano dati complessi aiuta coloro i quali devono leggerli ad interpretarli. Vi sono esempi in astronomia, in astrofisica [13,14,15] e in cardiologia [16] e nelle scienze ambientali [17].

La sonificazione apre una finestra alle persone con disabilità visive [12] e rende accessibili grafici che potevano essere esplorati con sole descrizioni verbali oppure stampe tattili [18, 19, 20].

Esistono attualmente diverse applicazioni on-line che consentono la sonificazione dei grafici originati da set di dati oppure da funzioni matematiche espresse in forma analitica [21, 22, 23], oltre alla sonificazione tali applicazioni consentono di ricevere anche informazioni tramite audio e feedback tattile (sistemi touch e display braille [21]) che aggiungono l'aspetto propriocettivo all'esplorazione dei grafici.

Una di queste applicazioni è Sas Graphics Accelerator (SGA) che è un componente aggiuntivo per il browser Google Chrome rilasciato per la prima volta nel 2017 ed attualmente arrivato alla versione 5.1. Tale componente aggiuntivo è liberamente e gratuitamente scaricabile dal Chrome Web Store [24]; esso consente a persone con disabilità visive di avere a disposizione una "cassetta degli attrezzi" per poter lavorare gestendo pacchetti di dati di varie origini, dimensioni e formato.

L' applicazione SGA ci mette a disposizione molteplici strumenti di importazione, creazione, consultazione ed esportazione di dati con la possibilità di settare l'ambiente di lavoro a seconda delle proprie esigenze.

Si hanno a disposizione più canali per importare dati. Il primo canale è costituito dall' estrazione di tabelle direttamente da una pagina web, mentre il secondo canale si basa sul caricamento di file con i dati in diversi formati tra cui quelli proprietari di SAS (con cui SGA è ovviamente compatibile) oppure nei formati .csv, .tsv, .xlsx.

L' applicazione SGA permette la modifica dei dati importati applicando filtri, il cambiamento delle intestazioni delle colonne ed altre operazioni molto utili quando si devono manipolare pacchetti di dati organizzati in tabelle. La creazione di grafici di diversa natura (istogrammi, a barre, a torta, a linea, ecc.) partendo dalle tabelle importate è un'operazione semplice che consente di inserire commenti, note ed etichette per migliorare l'accessibilità e la chiarezza del grafico stesso.

La consultazione del grafico è il "cuore" dell'applicazione SGA: possiamo infatti sonificare il grafico così da sentire associato ad ogni dato un suono che varia in frequenza in proporzione al suo valore e varia in direzione a seconda della posizione sul grafico, da destra se il punto che sto sonificando si trova a destra, dal centro se il punto si trova al centro e da sinistra se il punto si trova a sinistra. Tutto ciò consente ad una persona non vedente di ricostruire mentalmente l'andamento del grafico trovandosi alla pari con chi lo può vedere.

SGA è accessibile con gli screen reader JAWS e NVDA per il sistema operativo Microsoft Windows e Voice Over per Mac di Apple

Tra le numerose opzioni modificabili una persona ipovedente può impostare i colori di sfondo e scritte, e di quest' ultime di variarne le dimensioni. Oltre altre impostazioni regolabili per quanto riguarda l'aspetto visivo per migliorare il confort degli utenti, inoltre vi è la possibilità di curare la sonificazione dei grafici abilitando la lettura dei dati del grafico mentre lo si consulta, impostare un audio mono o stereo ed altro ancora.

In questo ambito di ricerca il Laboratorio Polin ha sviluppato e reso disponibile una applicazione web per la sonificazione dei grafici di funzione di una variabile: AudioFunctions.web [25].

3.1 Audiofunctions.web

AudioFunctions.web [25,26] è un'applicazione web basata su sonificazione, icone sonore e sintesi vocale per l'esplorazione multimodale di grafici di funzioni di una variabile da parte persone con disabilità visive. Permette di generare il grafico di una funzione inserendo alcuni parametri in una pagina web. Tale grafico è:

1. fruibile da differenti interfacce quali touchscreen, tastiera, mouse e touchpad;
2. fruibile tramite device mobile e tradizionali;
3. inclusivo poiché ha una rappresentazione simultaneamente grafica e uditiva;
4. di facile inserimento in documenti digitali e pagine web tramite link o codice incorporato.

L'applicazione [22] è sviluppata in HTML e Javascript. Utilizza Web Audio API, un nuovo standard web mediante il quale è possibile manipolare il suono in maniera dinamica, e Web Speech API, che abilita la lettura vocale; le librerie javascript D3 e Function Plot sono utilizzate per disegnare e interagire con i grafici sullo schermo. Insieme, queste tecnologie permettono di esplorare le funzioni mediante touchscreen, mouse o tastiera, sentendo come varia la funzione nel punto esplorato o richiedendo informazioni (coordinate, derivata) sui valori della funzione in qualunque punto esplorato. Nel 2019 AudioFunctions.web ha vinto il primo premio della Tenon Web Accessibility Challenge, Delegates Award - 16th International Web for All Conference a San Francisco.

3.2 Sviluppi futuri

Il Laboratorio Polin in quest'ambito si propone di mettere a punto degli strumenti avanzati con funzioni di comparazione che consentano di sonificare oggetti quali serie di dati, tabelle e grafici. Si prevede di usare il maggior numero di parametri sonori possibili (frequenza, durata, timbro, tridimensionalità) e spiegazioni verbali per cercare di trasmettere il maggior numero di informazioni contemporaneamente. Per quanto riguarda la visualizzazione si punta sulla personalizzazione delle impostazioni (contrasto tra sfondo e linee, colori, ingrandimento, ecc.). per consentire agli ipovedenti il massimo confort.

La messa a punto di tali sistemi permette di rendere grafici complessi accessibili usando l'udito e consentendo una visualizzazione con set up completamente personalizzato. Si aprono così campi finora poco esplorati da parte di persone cieche e ipovedenti sia in ambito formativo che lavorativo.

4 Dettare e trascrivere formule: il progetto Matematica a voce

Il Laboratorio Polin, oltre al problema dell'accesso a testi scientifici da parte di persone con disabilità visive, ha affrontato il problema relativo al riconoscimento vocale di formule. Software o tecnologie per la dettatura e la trascrizione di formule sarebbero molto utili a persone con disabilità motorie (permanenti o temporanee), uditive e a persone con DSA. Attualmente le tecnologie per lo *speech to text* (STT) sono ad un livello molto elevato di sviluppo. Sono disponibili molti software online e non per trascrivere audio e dettare testo. Anche in questo caso in generale però presentano notevoli difficoltà nella gestione di formule. La scrittura della matematica da parte di persone con disabilità motoria è un problema aperto. Ci sono alcuni software come MathTalk e Google EquatIO che sono promettenti, ma funzionano solo per la lingua inglese. Il Laboratorio Polin, in seguito all'iscrizione di uno studente tetraplegico alla Laurea in Matematica, ha avviato due progetti:

1. sviluppo di software per la dettatura e la modifica di formule matematiche con il riconoscimento della lingua italiana, utile a persone con disabilità motorie;
2. sviluppo di software per la trascrizione in testo + LaTeX (o MathML) di lezioni universitarie "con formule", utile a persone con disabilità motorie, uditive e con disturbi dell'apprendimento.

Per quanto riguarda il primo progetto, il Laboratorio ha sviluppato il prototipo del software SpeechMatE [27], per la dettatura e la modifica di formule con riconoscimento della lingua italiana. Il software ha cinque principali componenti: speech recognizer, parser, LaTeX editor, LaTeX compiler, e PDF viewer. L'interazione con il software avviene con comandi vocali, dettatura di testo o formule. L'input vocale viene processato dallo speech recognizer che lo trascrive in lingua italiana. Il testo viene poi processato dal parser che converte la parte di matematica in un frammento di codice LaTeX, che viene successivamente passato all'editor LaTeX e trasformato in PDF. Il modello di interazione vocale utilizza tre ambienti attivati dalle relative parole chiave: testo (per il testo), matematica (per le formule) e comandi (per i comandi di edit). Dopo una fase di sperimentazione e confronto sono stati scelti, per il riconoscimento vocale, i servizi di Google Cloud e, come editor LaTeX, TeXStudio. Attualmente SpeechMatE gestisce una parte limitata di simboli e espressioni matematiche: l'estensione di queste funzionalità è attualmente in corso di sviluppo. Il secondo progetto prevede la realizzazione del prototipo di un software che a partire dal video di una lezione universitaria "con formule" fornisca la trascrizione dell'audio con le formule in LaTeX e i sottotitoli con le formule in LaTeX e/o MathML. Il progetto ha vinto un bando per un finanziamento da parte della Fondazione CRT e verrà avviato nel mese di ottobre 2020.

5 Conclusione

In questo periodo di emergenza, si è assistito ad un incremento esponenziale dell'utilizzo della didattica a distanza. Essa è stata protagonista indiscussa durante il periodo di lockdown dovuto alla pandemia Covid-19, e costituirà certamente un supporto indispensabile anche dopo la ripresa della didattica in presenza. In questa prospettiva, i progetti del Laboratorio Polin risultano di fondamentale importanza per garantire l'accesso agli studi da parte di persone con disabilità e disturbi specifici dell'apprendimento (DSA). Anche se inizialmente proposte e sviluppate per specifiche classi di utenza, allo scopo di favorire una completa inclusione, le soluzioni innovative proposte dal Laboratorio forniranno un supporto utile all'intera comunità studentesca.

Riferimenti bibliografici

1. Armano T., Capietto A., Murru N., Rossini R., Tornavacca E. (2015) "Accessibilità e inclusività della matematica in percorsi formativi scolastici e aziendali", *Atti del Convegno Didamatica2015 su Mondo Digitale*, Vol. 14, No. 58, p. 564-571.
2. Borsero M., Murru N., Ruighi A. (2016) "Il LaTeX come soluzione al problema dell'accesso a testi con formule da parte di disabili visivi". *ArsTexnica*, Vol. 22, p. 12-18.
3. Armano T., Capietto A., Coriasco S., Murru N., Ruighi A., Taranto E. (2018) "An automatized method based on LaTeX for the realization of accessible PDF documents containing formulae", *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 10896, p. 583-589.
4. <https://github.com/integr-abile/axessdicts> (ultimo accesso novembre 2020)
5. <https://github.com/integr-abile/axesscleaner> (ultimo accesso novembre 2020)
6. Ahmetovic D., Armano T., Bernareggi C., Capietto A., Coriasco S., Doubrov B., Kozlovskiy A., Murru N. (2019) "Axessibility 2.0: creating tagged PDF documents with accessible formulae", *Guit Meeting 2019, Ars Texnica*, vol. 27/28, p. 138-145.
7. <https://ctan.org/pkg/tagpdf> (ultimo accesso novembre 2020)
8. <https://www.anastasis.it/catalogo-generale/epico/> (ultimo accesso novembre 2020)
9. https://github.com/integr-abile/axessdicts/blob/master/ePico/latex_ePico_it_en.ldm (ultimo accesso novembre 2020)
10. <https://www.anastasis.it/catalogo-generale/matematica/> (ultimo accesso novembre 2020)
11. <http://www.integr-abile.unito.it/knowledge-transfer/accessible-library-2/> (ultimo accesso novembre 2020)
12. Sarkar R., Bakshi S.(2012) "Review on image sonification: a non-visual scene representation", *1st International Conference on Recent Advances in Information Technology (RAIT)*, *IEEE*, pp 86–90.
13. Ye S. Y., Gurnett D. A., Menietti J. D., Kurth W. S., and Fischer G. (2012) "Cassini Observation of Jovian Anomalous Continuum Radiation", *J. Geophys. Res.*, 117, A04211, 15 pages, doi:10/1029/2011JA017135.
14. Diaz-Merced W. L., Candey R. M., Brickhouse N., Schneps M., Mannone J. C. Brewster, S.(2012) "Sonification of Astronomical Data". *New Horizons in Time-Domain Astronomy, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium*, Volume 285, p. 133-136.

15. Candey R. M., Schertenleib A. M., Diaz Merced W. L. (2006) "Xsonify sonification tool for space physics", *International Conference on Auditory Display*, (2006).
16. Kather J. N., Hermann T., Bukschat Y., Kramer T., Schad L. R., Gerrit Zöllner F. (2017) "Polyphonic sonification of electrocardiography signals for diagnosis of cardiac pathologies", *Scientific Reports*, volume 7, Article number: 44549.
17. Sawe N., Chafe C., Treviño J. (2020) "Using Data Sonification to Overcome Science Literacy", *Numeracy, and Visualization Barriers in Science Communication. Frontiers in Communication*.
18. Banf M., Blanz V. (2013) "Sonification of images for the visually impaired using a multi-level approach", *Proceedings of the 4th Augmented Human International Conference on - AH '13*.
19. Sorge V., Ahmetovic D., Bernareggi C., Gardner J. (2019) "Scientific Documents", in Yesilada Y., Harper S. (a cura di) *Web Accessibility: A Foundation for Research*, Springer, Chapter 22.
20. Balik S., Mealin S., Stallmann M., Rodman R., Glatz M., Sigler V. (2014) "Including blind people in computing through access to graphs", *ASSETS14 -Proceedings of the 16th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, ACM, pp 91–98.
21. Sensory Interface Project - <https://github.com/S0AndS0/sensory-interface> (ultimo accesso novembre 2020)
22. Ahmetovic D., Bernareggi C., Guerreiro J., Mascetti S., Capietto A. (2019) "AudioFunctions. web: Multimodal Exploration of Mathematical Function Graphs", *International Cross-Disciplinary Conference on Web Accessibility (W4A)*, San Francisco.
23. Sas graphics accelerator. <http://support.sas.com/software/products/graphics-accelerator> (ultimo accesso novembre 2020)
24. Sas Graphics Accelerator (SGA) : <https://chrome.google.com/webstore/detail/sas-graphics-accelerator/ockmipfaiiahknplinepcaogdillgoko> (ultimo accesso novembre 2020)
25. <http://www.integrabile.unito.it/audiofunctions.web/> (ultimo accesso novembre 2020)
26. https://www.youtube.com/watch?v=FLN_PmVyiBA (ultimo accesso novembre 2020)
27. Ahmetovic D., Armano T., Bernareggi C., Coriasco S., Capietto A., Ducci M., Mazzei M., MurruN. (2020) "SpeechMatE: a Speech-driven Maths Editor for motor-impaired people", *ICCHP 2020*.

Dragan Ahmetovic

Università di Milano. dragan.ahmetovic@unimi.it

Dragan Ahmetovic è un ricercatore presso l'Università di Milano. Si occupa della ricerca nell'ambito di tecnologie assistive per superare i limiti nell'accesso al mondo reale ed all'informazione di persone con disabilità. In seguito al dottorato di ricerca in informatica presso l'Università di Milano, lavora come Postdoctoral Fellow presso il Cognitive Assistance Lab della Carnegie Mellon University (Pittsburgh, USA) e come assegnista di ricerca presso il laboratorio "S. Polin" per la Ricerca e Sperimentazione di Nuove Tecnologie Assistive per le STEM dell'Università di Torino.

Tiziana Armano

Dipartimento di Matematica – Università di Torino. tiziana.armano@unito.it

Tiziana Armano è tecnico della ricerca presso il Dipartimento di Matematica "G. Peano" dell'Università degli Studi di Torino. Si occupa di e-learning e tecnologie per la didattica. Ha fatto parte del gruppo di ricerca del progetto "Per una matematica accessibile e inclusiva" dal 2012 ed è membro del Laboratorio Polin. In questo ambito ha seguito in particolare lo sviluppo del pacchetto Axessibility e attualmente si occupa del progetto Matematica a voce.

Cristian Bernareggi

Università di Milano. cristian.bernareggi@unimi.it

Cristian Bernareggi ha conseguito il dottorato di ricerca in informatica nel 2006. Tra il 2004 e il 2009 ha condotto ricerca in ambito HCI nei progetti europei LAMBDA ed @Science. Dal 2007 è collaboratore tecnico scientifico in ambito informatico per l'Università degli Studi di Milano. Tra il 2011 e il 2018 ha partecipato alla fondazione e alla crescita dello spin-off EveryWare Technologies per lo sviluppo di tecnologie assistive su dispositivi mobili. Dal 2018 collabora con il Laboratorio Polin dell'Università degli Studi di Torino sull'accessibilità alle STEM per persone con disabilità.

Anna Capietto

Dipartimento di Matematica – Università di Torino. anna.capietto@unito.it

La Prof.ssa Capietto è Professore Ordinario di Analisi Matematica. Da 15 anni è Referente per le tematiche degli studenti con disabilità presso il Dipartimento di Matematica. Dal 2013 è responsabile del progetto “Per una matematica accessibile e inclusiva”, le cui attività hanno condotto nel novembre 2018 all'istituzione del Laboratorio per la ricerca e la sperimentazione di nuove tecnologie assistive per le STEM “S.Polin”. E' presidente del Comitato Public Engagement dell'Università di Torino e membro del GEV (Gruppo Esperti Valutatori) di Terza Missione presso il MUR.

Sandro Coriasco

Dipartimento di Matematica – Università di Torino. sandro.coriasco@unito.it

Sandro Coriasco è Professore Associato di Analisi Matematica presso il Dipartimento di Matematica “G. Peano” dell'Università degli Studi di Torino. Si occupa di analisi microlocale e di analisi globale su varietà non compatte e su varietà con singolarità. È un componente del gruppo di ricerca sulle tecnologie assistive presso il Laboratorio “S. Polin”, attivo presso il medesimo Dipartimento. In tale ambito si occupa, in particolare, dello sviluppo del pacchetto LaTeX axessibility e, più in generale, dei temi collegati all'accessibilità dei contenuti matematici.

Mattia Ducci

Dipartimento di Matematica – Università di Torino. mattia.ducci@unito.it

Mattia Ducci ha conseguito la laurea magistrale in informatica all'Università degli Studi di Milano nel 2019. Durante e dopo l'università ha collaborato a vari progetti incentrati sul tema dell'accessibilità: da soluzioni su dispositivi mobili per persone con disabilità visive (Università degli Studi di Milano) a soluzioni per rendere più accessibili le materie scientifiche (Università degli Studi di Torino). Dal 2018 lavora come consulente informatico in un'azienda per sviluppo mobile iOS e cross-platform e full-stack.

Chiara Magosso

Dipartimento di Matematica – Università di Torino. chiara.magosso@edu.unito.it

Chiara Magosso è attualmente borsista presso il Laboratorio “S. Polin” del Dipartimento di Matematica “G. Peano” dell'Università degli Studi di Torino, dove si occupa di rendere i progetti attivi nel laboratorio adatti anche a persone con Disturbi Specifici di Apprendimento. In particolare, è dedicata alla ricerca e allo studio di soluzioni accessibili a favore delle stesse e di interfacciare il pacchetto LaTeX Axessibility con i più diffusi software compensativi per DSA. Ha conseguito la laurea di primo livello in fisica ed è attualmente iscritta al corso di laurea magistrale in fisica con indirizzo fisica delle tecnologie avanzate.

Alessandro Mazzei

Dipartimento di Informatica – Università di Torino. alessandro.mazzei@unito.it

Alessandro Mazzei ha conseguito la laurea in Fisica (indirizzo Cibernetico) presso l'Università Federico II di Napoli nel 2000 e il titolo di Dottore di Ricerca in Informatica presso l'Università degli Studi Torino nel 2005, dove è ricercatore presso il Dipartimento di Informatica. I suoi interessi di ricerca includono le ontologie giuridiche, la sintassi e la semantica computazionale, la generazione automatica del linguaggio, i sistemi di dialogo, il ragionamento automatico, le tecnologie assistive e il food computing. È autore di oltre 100 lavori scientifici peer reviewed.

Nadir Murru

Dipartimento di Matematica – Università di Trento. nadir.murru@unitn.it

Nadir Murru è Professore Associato presso il Dipartimento di Matematica dell'Università di Trento. Si occupa principalmente di ricerca in teoria dei numeri e crittografia, ma con attenzione anche ad altre applicazioni dell'algebra. È collaboratore del Laboratorio S. Polin del Dipartimento di Matematica dell'Università di Torino presso cui ha svolto varia attività di disseminazione e sviluppo di nuove tecnologie per il supporto a persone con disabilità e DSA negli studi (in particolare scientifici).

Adriano Sofia

Dipartimento di Matematica – Università di Torino. adriano.sofia@unito.it

Adriano Sofia è attualmente assegnista di ricerca presso il Laboratorio "S. Polin" dell'Università degli Studi di Torino dove si occupa di sonificazione e accessibilità. Conseguita la Laurea Magistrale in Fisica con Lode i suoi interessi scientifici riguardano due filoni: il primo incentrato sulle simulazioni di dinamica molecolare classica ed ab initio applicata alla fisica della materia e alla biochimica, e il secondo riguarda le tecnologie assistive e l'accessibilità.