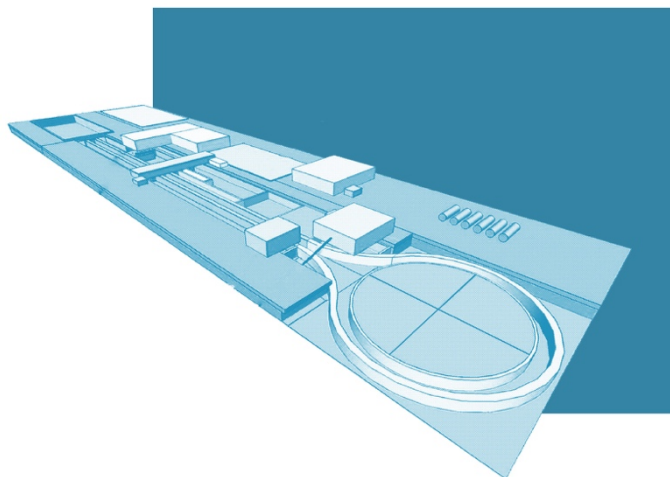




MariX

Multi-disciplinary Advanced

Research Infrastructure

for the generation and application of X-rays

Una sonda X ultra-veloce per la materia atomica
e ultra-precisa per i tessuti organici

Prefazione

MariX è un'infrastruttura di ricerca ottimizzata per lo studio della materia con tecniche basate sull'effetto fotoelettrico e sulla diffusione di raggi X coerenti, con risoluzione temporale alla scala dei femtosecondi e con frequenze di ripetizione degli impulsi fino a 1 MHz.

I raggi X sono la sonda principalmente utilizzata per la struttura fine della materia, grazie alle caratteristiche di interazione che permettono indagini ad alta risoluzione energetica e per l'imaging ad alto contrasto di struttura, dalla scala nanometrica alla scala macroscopica come ad esempio nelle applicazioni biomediche. La produzione di fasci di raggi X ha raggiunto alta efficienza sfruttando le macchine acceleratrici di elettroni, sia nella configurazione ad anello di accumulazione con sorgenti di luce di sincrotrone che generano impulsi della durata di 10^{-11} s e frequenza di ripetizione 500 MHz, sia nella configurazione lineare con sorgenti Laser a Elettroni Liberi (Free Electron Laser) ad altissima brillantezza (9 ordini di grandezza maggiore della luce di sincrotrone) e impulsi ultrabrevi ($< 10^{-14}$ s) con frequenze di ripetizione da 10 Hz a 10 kHz.

Le sorgenti attualmente operative, o in costruzione, non sono ottimizzate per la spettroscopia ultraveloce in quanto o gli impulsi non sono sufficientemente brevi temporalmente per seguire le eccitazioni e diseccitazioni della materia e delle sue configurazioni ordinate (proprietà elettroniche, magnetiche, superconduttive), pur avendo le buone caratteristiche di risoluzione energetica, controllo della polarizzazione e regime lineare di eccitazione ad alta frequenza per accumulare rapidamente alta statistica, oppure sono eccessivamente intensi nel singolo impulso (10^{10} – 10^{12} fotoni/impulso), provocando risposte non-lineari della materia, e a frequenza di ripetizione troppo bassa (10 Hz – 10 kHz), benchè ultrabrevi sulla scala temporale (10^{-14} - 10^{-13} s).

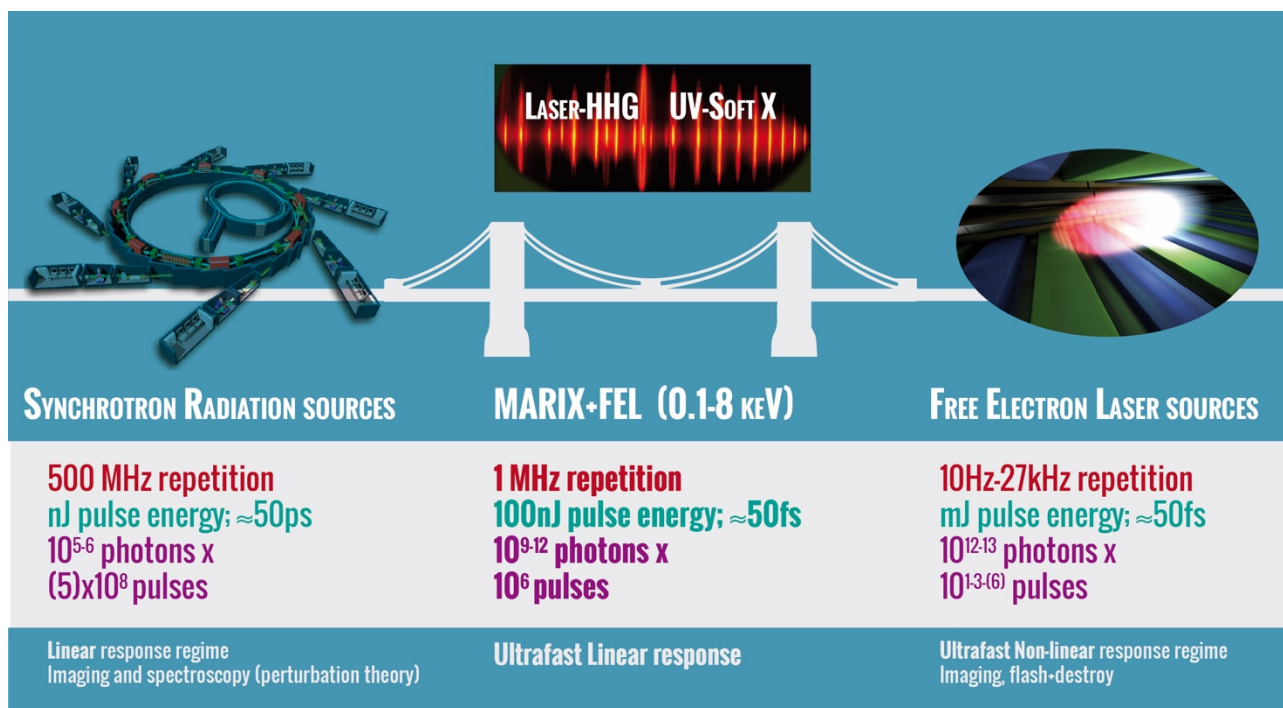


Figura 1. **MariX** come ibrido-ponte tra le sorgenti di luce di sincrotrone e i Free Electron Lasers

La scienza dei raggi X necessita urgentemente di sorgenti capaci di generare impulsi ultra-brevi ($< 10^{-14}$ s), di intensità compatibile con il regime di risposta lineare (10^8 fotoni/impulso), e con frequenza di ripetizione dell'ordine di 1 MHz, ideale per l'alta statistica e la modalità pompa/sonda con recupero dello stato fondamentale fra un impulso e il successivo. Queste nuove sorgenti costituirebbero un ponte ideale tra le sorgenti di luce di sincrotrone ed i Laser a Elettroni Liberi (FEL), come simbolicamente rappresentato in Figura 1, e potrebbero riunire sinergicamente in un'unica sorgente di raggi X i rispettivi punti di forza.

Queste caratteristiche uniche potranno essere sfruttate in svariati campi dalle scienze della vita, a quelle dei materiali innovativi, dalla fisica al patrimonio culturale e naturale, aprendo possibilità non altrimenti accessibili con le sorgenti di raggi X attuali.

MariX è la prima infrastruttura di ricerca per lo studio multidisciplinare della materia basata su una sorgente ottimizzata per la spettroscopia ultraveloce, altamente efficiente sul piano energetico, compatta per minimizzare l'occupazione di suolo, e con una distribuzione dei servizi e spazi per la sperimentazione idealmente inseriti nel tessuto di un campus scientifico universitario.

MariX è basata su un originale sistema combinato di acceleratori di elettroni e di sorgenti laser che ne fanno uno strumento d'avanguardia a livello mondiale, e che consentiranno di produrre raggi X su un ampio spettro di energia sfruttando due diversi principi fisici, il laser a elettroni liberi o Free Electron Laser (FEL) e l'effetto Compton inverso (ICS).

I raggi X prodotti tramite il FEL, di energia compresa tra 0,2 keV e 8 keV, saranno generati sotto forma di impulsi estremamente brevi ($< 10^{-14}$ s) e di altissima brillantezza ripetuti con frequenza fino a 1 MHz. A questa scala temporale diventano accessibili la visualizzazione di stati eccitati di macromolecole e proteine e la spettroscopia degli stati eccitati degli atomi e della materia aggregata a tutte le scale di lunghezza e in tutte le fasi.

I raggi X generati tramite l'effetto Compton avranno energia maggiore, tra 20 keV e 180 keV, facilmente regolabile nell'ambito di una stessa misura, sia mono-cromatici che multi-colore. Queste proprietà li rendono estremamente efficaci per applicazioni in ambito medico e biologico, per esempio per sviluppare la diagnostica di formazioni tumorali nelle fasi iniziali del loro sviluppo, e nel campo della scienza dei materiali, della scienza del patrimonio culturale (ad esempio la lettura dei papiri di Ercolano carbonizzati o la diagnostica non distruttiva sensibile alle componenti chimiche di dipinti, campioni bronzei, manufatti lapidei) e naturale (paleontologia).

La sorgente **MariX** è ottimizzata per un programma scientifico che non ha nelle sorgenti esistenti una possibilità di sviluppo, ma è anche da confrontare con altri impianti quali per esempio il nuovo FEL superconduttivo di Stanford (LCLS-II) che offrirà prestazioni analoghe, ma basate su un acceleratore molto più costoso e di dimensioni almeno doppie rispetto a **MariX**. La compattezza di **MariX** si rifletterà sui costi di costruzione e di funzionamento ridotti del 50% rispetto ai Free Electron Laser già operanti o in costruzione (EU-XFEL di Amburgo in Germania, LCLS-II a Stanford negli USA, Shanghai-FEL). Il concetto tecnologico è del tutto innovativo essendo basato sulla combinazione di un acceleratore lineare superconduttivo, che utilizza le cavità a radio-frequenza per un doppio passaggio del fascio di elettroni (andata e ritorno). Questo schema permette di ridurre di circa la metà il numero di cavità necessarie per portare il fascio di elettroni fino alla massima energia prevista di 3.8 GeV.

Lo studio concettuale di **MariX** è estensivamente riportato nel *Conceptual Design Report*, disponibile al sito web www.marix.eu, preparato da una collaborazione nazionale fra ricercatori in fisica degli acceleratori e sorgenti di radiazione FEL/ICS insieme a fisici della materia, utenti spettroscopisti di luce di sincrotrone e FEL, e rappresentanti della comunità medica e radiologica di vari ospedali della città metropolitana milanese (San Raffaele, Istituto Nazionale dei Tumori, Niguarda).

Le competenze maturate a partire dagli anni '80 nella fisica e tecnologia degli acceleratori di particelle, da parte dei fisici della Sezione di Milano dell'INFN e del Laboratorio LASA, direttamente coinvolti nella progettazione e costruzione di elementi chiave degli acceleratori superconduttivi per EU-XFEL (Amburgo) e per la Sorgente di Spallazione di Neutroni (ESS-Lund), nonché nella progettazione delle sorgenti Compton ICS a SPARC-Lab, a ELI-NP e a STAR, si sono virtuosamente applicate alla definizione degli obiettivi di progetto di **MariX**, dando luogo ad una combinazione unica nel panorama nazionale che ha permesso di ideare e progettare un sistema di acceleratori assolutamente originale nel panorama mondiale.

La preparazione del Conceptual Design Report è quindi frutto di circa un anno di attività di questo gruppo di fisici e ricercatori dell'INFN (Sezione di Milano e Laboratorio LASA) e dell'Università degli Studi di Milano, coadiuvati da ricercatori del Politecnico di Milano e di altre Università e Istituzioni italiane ed europee (Ferrara, Napoli, Bologna, Roma Tor Vergata, Roma La Sapienza, Istituto di Fotonica e Nanotecnologie del CNR, Università de Paris Sud) e grandi Laboratori (Orsay-LAL, DESY, Elettra Sincrotrone Trieste e CERN).



Figura 2. Rendering di MIND (Milan INnovation District)

L'infrastruttura **MariX** è stata pensata per essere un elemento centrale di competenze ed attrattività per il distretto dell'innovazione MIND, in fase di progetto a Milano nell'area ex-Expo, e in sinergia con il nuovo Campus scientifico dell'Università degli Studi di Milano (vedi Figura 2). Il *Conceptual Design Report* è stato peraltro sviluppato come progetto non dipendente da una particolare localizzazione.

L'intera infrastruttura ha un'impronta sul suolo di circa 500 metri per circa 100 metri, prevalentemente interrata a 8-10 m di profondità, lasciando la superficie fruibile per area verde o installazioni leggere. È caratterizzata da un tunnel rettilineo radio-schermato che contiene l'acceleratore lineare super-conduttivo di elettroni da 3.8 GeV, oltre ad una struttura ad arco-bolla (*arc compressor* in Figura 3), del diametro di circa 80 metri, che contiene le linee di trasporto magnetiche necessarie a deflettere il fascio di elettroni in uscita dal primo passaggio nell'acceleratore e re-iniettarlo per il secondo passaggio di accelerazione. Una visione CAD-3D è riportata nella Figura 3.

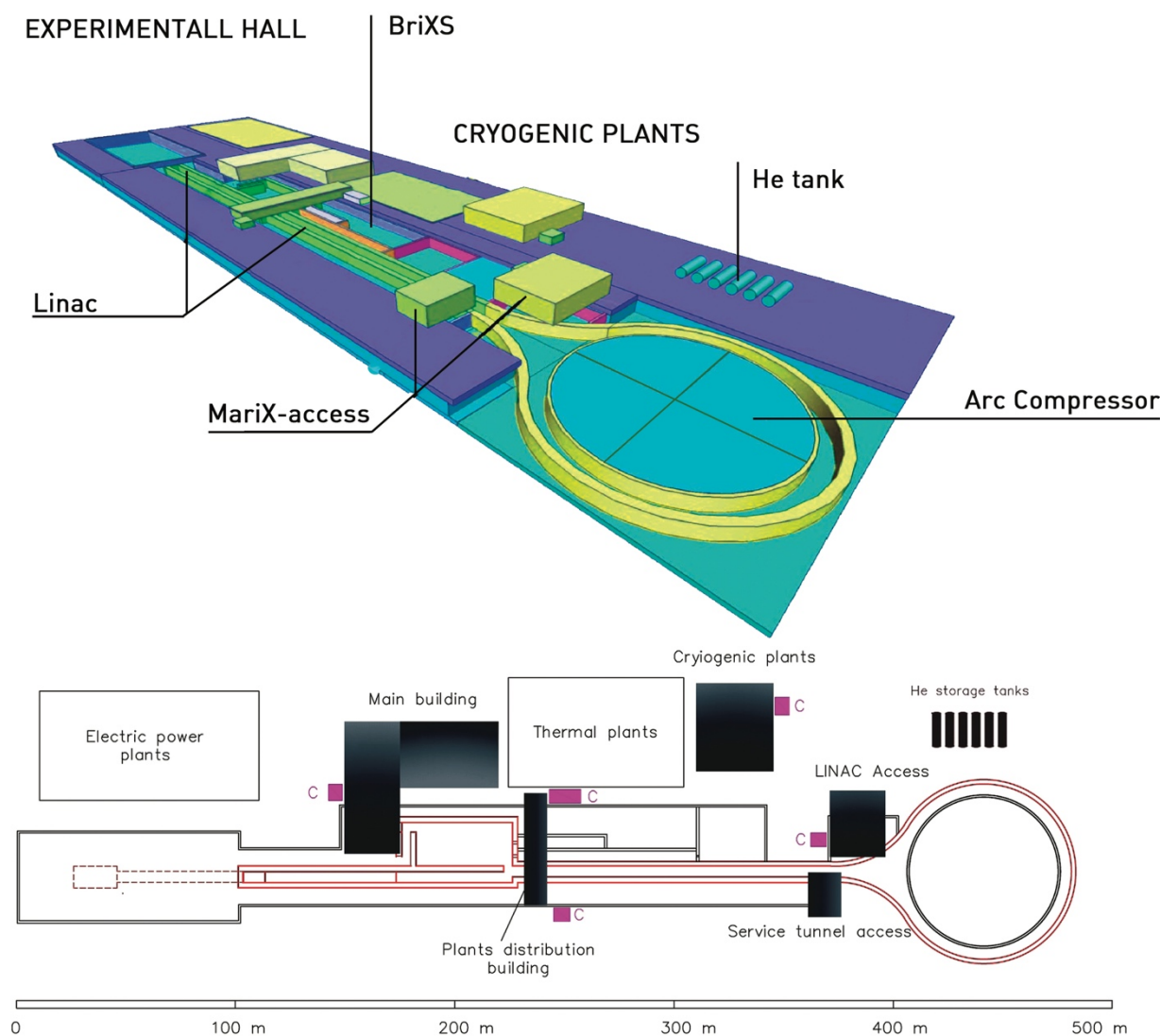


Figura 3. Planimetria e CAD-3D di **MariX**