



Università degli Studi di Padova

Corso di laurea triennale di ingegneria gestionale

Sorgente di fascio per ioni negativi: relazione tra aspetti elettrotecnici e gestione dell'operazione

Candidato

Raja Sabri

Relatore:

Emanuele Sartori

Anno accademico 2022-2023

Indice

Indice	1
Riepilogo	3
1 Introduzione	3
1.1 Fusione nucleare: una panoramica.....	7
1.2 Sorgente di fascio di ioni negativi: una componente cruciale degli esperimenti di fusione nucleare.....	8
1.3 Obiettivo della tesi	10
2 Iniettori di neutri come riscaldamento addizionale per ITER	12
2.1 Introduzione a SPIDER e MITICA: progressi nella ricerca sulla fusione nucleare .	14
2.1.1 SPIDER.....	14
2.1.2 MITICA.....	18
2.2 Introduzione a ELISE e BATMAN; Progressi nella ricerca sulla fusione nucleare a Monaco	19
2.2.1 BATMAN.....	19
2.2.2 ELISE.....	20
3 Analisi del processo di gestione degli esperimenti ed interviste ai ricercatori	23
3.1 Operazione di una sorgente di ioni negativi	23
3.2 Approcci organizzativi e gestionali al Consorzio di Padova e al IPP di Monaco	24
3.2.1 Gestione delle operazioni	25
3.2.2 Pianificazione degli esperimenti e dell'intera campagna sperimentale	26
3.2.3 Gestione della sala controllo	26
3.2.4 Gestione della condivisione dei dati e della campagna sperimentale fra i ricercatori.....	28
3.3 Procedimento di attuazione delle interviste ed estrapolazione delle informazioni relative all'approccio organizzativo dei due centri	29
3.3.1 Panoramica dei colloqui effettuati con i ricercatori.....	29
3.3.2 Descrizione ed analisi dei colloqui effettuati con i ricercatori di NBTF	31
3.3.3 Descrizione ed analisi dei colloqui effettuati con i ricercatori di IPP Garching	34
4 Conclusione	36
Allegato: riassunti delle interviste.....	38
Intervistato #1.....	38
Intervistato #2.....	39
Intervistato #3.....	40

Intervistato #4.....	42
Intervistato #5.....	43
Intervistato #6.....	44
Riferimenti	47

Riepilogo

Nell'epoca attuale, la considerazione dell'impatto ambientale è essenziale per progetti, aziende e attività. Di fronte alle gravi conseguenze ambientali del consumo prolungato di combustibili fossili, la fusione nucleare si presenta come una promettente fonte di energia sostenibile. Questo processo implica la fusione di nuclei atomici leggeri per generare energia, differenziandosi dalla fissione nucleare. La fusione nucleare, simile al processo nel sole, offre il vantaggio di minimizzare o eliminare le emissioni di gas serra e assicura un approvvigionamento illimitato di combustibile con scarse quantità di scorie radioattive. Tuttavia, raggiungere una fusione nucleare stabile è una sfida complessa che richiede il confinamento di un plasma ad alta temperatura attraverso un intenso campo magnetico. Nel contesto del progetto ITER, un esperimento di fusione nucleare, è necessario riscaldare il plasma utilizzando microonde o fasci di particelle neutre. La potenza richiesta per il riscaldamento del plasma in ITER è notevole, variando tra 70 MW e 85 MW, rispetto ai 500 MW che si prevede vengano prodotti dalla reazione di fusione.

La fusione nucleare è un processo esotermico che si verifica mediante la fusione di deuterio e trizio, offrendo una soluzione promettente per il fabbisogno energetico. A differenza della fissione nucleare, i prodotti finali non sono radioattivi, rendendo la fusione nucleare un'opzione a basso impatto ambientale. La sua elevata densità energetica la rende una delle fonti più promettenti, utilizzando combustibili abbondanti come deuterio e trizio. Tuttavia, ci sono sfide tecniche, come raggiungere un tasso di calore nel plasma di fusione che superi il tasso di energia iniettata. I reattori Tokamak e Stellarator sono focalizzati sul confinamento magnetico del plasma. La fusione avviene a temperature molto elevate, trasformando la miscela di gas in un plasma. Il confinamento magnetico, con bobine attorno a una camera toroidale, evita il contatto del plasma con le pareti, essenziale per mantenere l'energia. La macchina ITER utilizza l'iniezione di particelle neutre ad alta energia per riscaldare il plasma. L'analisi della fusione nucleare comprende la gestione del plasma e delle sue interazioni con il campo magnetico.

Il fascio di neutri gioca un ruolo cruciale negli esperimenti di fusione nucleare, contribuendo alla creazione e al controllo degli ioni ad alta energia. La tesi si propone di esaminare gli aspetti tecnici e organizzativi dei grandi impianti di ricerca dedicati alla fusione nucleare, concentrandosi in particolare nel caso delle test-facilities dedicate allo sviluppo dell'iniettore di neutri per ITER. La produzione di fasci di neutri ad alta energia è spesso ottenuta da ioni di idrogeno negativi, poiché è più probabile neutralizzarli durante l'interazione con un bersaglio. Tuttavia, l'aggiunta di elettroni ad un atomo dipende dalla sua struttura elettronica, e non tutti gli elementi sono ionizzabili negativamente. Il cesio viene utilizzato come donatore di elettroni nelle sorgenti di fasci per fusione, ma la sua efficacia è instabile e richiede ottimizzazioni empiriche. Durante il trasporto del fascio, la collimazione è una preoccupazione significativa a causa della repulsione tra particelle cariche dello stesso segno. La compensazione della carica spaziale, grazie alla collisione con un gas di fondo a bassa pressione, è un fenomeno che permette al fascio di mantenere la sua coerenza durante il percorso. Questi studi sulla fusione nucleare come fonte di produzione di energia elettrica sono condotti da ITER e dai suoi laboratori partner, evidenziando la complessità e l'importanza della gestione dei fasci di neutri in questo contesto.

La presente ricerca si propone di condurre un'analisi comparativa degli approcci organizzativi e gestionali adottati presso i centri di ricerca di Padova e Monaco per le sorgenti di fasci destinati alla fusione nucleare, prendendo in considerazione i vincoli tecnici e tecnologici presenti. Particolare attenzione sarà dedicata agli strumenti sperimentali chiave, come

SPIDER, MITICA e BATMAN, e al loro ruolo fondamentale nello sviluppo della ricerca sulla fusione nucleare.

Successivamente, la tesi si concentrerà sull'esame approfondito delle procedure decisionali, delle reti di collaborazione e delle filosofie di gestione progettuale implementate nei due centri. L'obiettivo principale sarà quello di esplorare le somiglianze e le differenze nelle tecniche organizzative e gestionali adottate a Padova e Monaco. Saranno analizzati i vantaggi e gli svantaggi di ciascuna strategia al fine di comprendere appieno gli approcci collaborativi, sottolineando come, pur adottando lo stesso modello, i risultati possano variare.

Nella fase conclusiva, la tesi si concentrerà su una valutazione critica delle dinamiche esaminate. Parallelamente, la ricerca analizzerà le strategie di gestione degli esperimenti per lo sviluppo degli iniettori di neutri per la fusione nucleare, con un focus specifico sui due centri di ricerca di spicco: il Consorzio RFX di Padova e l'Institute of Plasma Physics di Garching, Monaco. Si esamineranno i progetti MITICA e SPIDER a Padova, nonché l'esperimento BATMAN a Monaco, con un'analisi approfondita degli aspetti tecnici, delle politiche di gestione e delle strategie organizzative. La ricerca si concentrerà sull'assegnazione dei team, valutando successi e fallimenti, al fine di formulare suggerimenti per migliorare l'efficienza delle operazioni e delle politiche strategiche del consorzio di Padova.

Entrambi i centri di ricerca hanno conseguito risultati di rilievo nel campo della fusione nucleare, con SPIDER e MITICA a Padova e ELISE e BATMAN a Monaco, ciascuno apportando un contributo unico allo sviluppo di questa tecnologia avanzata.

1 Introduzione

Nell'epoca contemporanea, la sensibilità verso l'impatto ambientale è diventata una caratteristica prominente che riguarda quasi ogni progetto, comportamento, impresa o attività. In tale contesto, la concentrazione su idee capaci di promuovere processi innovativi che tutelino l'ambiente è diventata cruciale per la comunità globale. Il consumo prolungato di combustibili fossili per la produzione di energia ha avuto gravi conseguenze sull'ambiente a livello globale (Dincer & Rosen, 2007). In risposta a questa sfida, la fusione nucleare promette di affermarsi come una fonte di energia sostenibile e pulita che offre soluzioni per soddisfare la crescente domanda energetica in tutto il mondo.

La fusione nucleare implica il processo di fusione dei nuclei atomici leggeri, come gli isotopi dell'idrogeno deuterio e trizio, per formare nuclei più pesanti, generando un'enorme quantità di energia come risultato. È importante sottolineare che la fusione nucleare si differenzia dalla fissione nucleare, in cui gli atomi vengono divisi per generare energia nucleare. La fusione nucleare è un processo analogo a quello che avviene nel sole per produrre energia, con l'importante vantaggio di ridurre al minimo o eliminare completamente le emissioni di gas serra, garantendo un approvvigionamento illimitato di combustibile e producendo quantità significativamente inferiori di scorie radioattive. Tuttavia, va notato che raggiungere una fusione nucleare completamente stabile rappresenta una sfida estremamente impegnativa per la comunità scientifica. In particolare, le condizioni necessarie per ottenere una probabilità di fusione sufficientemente alta richiedono di confinare un plasma di alta temperatura ionica, confinamento che si può ottenere soltanto grazie ad un intenso campo magnetico, in luogo del confinamento gravitazionale presente invece nelle stelle. La densità di energia contenuta nei plasmi in tali condizioni è molto elevata, e corrispondentemente, la densità di potenza termica che sollecita i componenti affacciati al plasma è estremamente elevata (dell'ordine delle decine di MW per metro quadro). Per raggiungere la necessaria densità di energia nel plasma, si adottano meccanismi di riscaldamento: per esempio, microonde a diverse frequenze (electron-cyclotron resonance heating ECRH, ion-cyclotron resonance heating ICRH) oppure fasci di particelle neutre (Heating Neutral Beam, HNB). Per l'esperimento ITER, è prevista una potenza installata dei sistemi di riscaldamento del plasma (vedi Figura 1) compresa tra circa 70 MW e 85 MW, a fronte di una potenza attesa per la potenza prodotta dalla fusione di circa 500 MW.

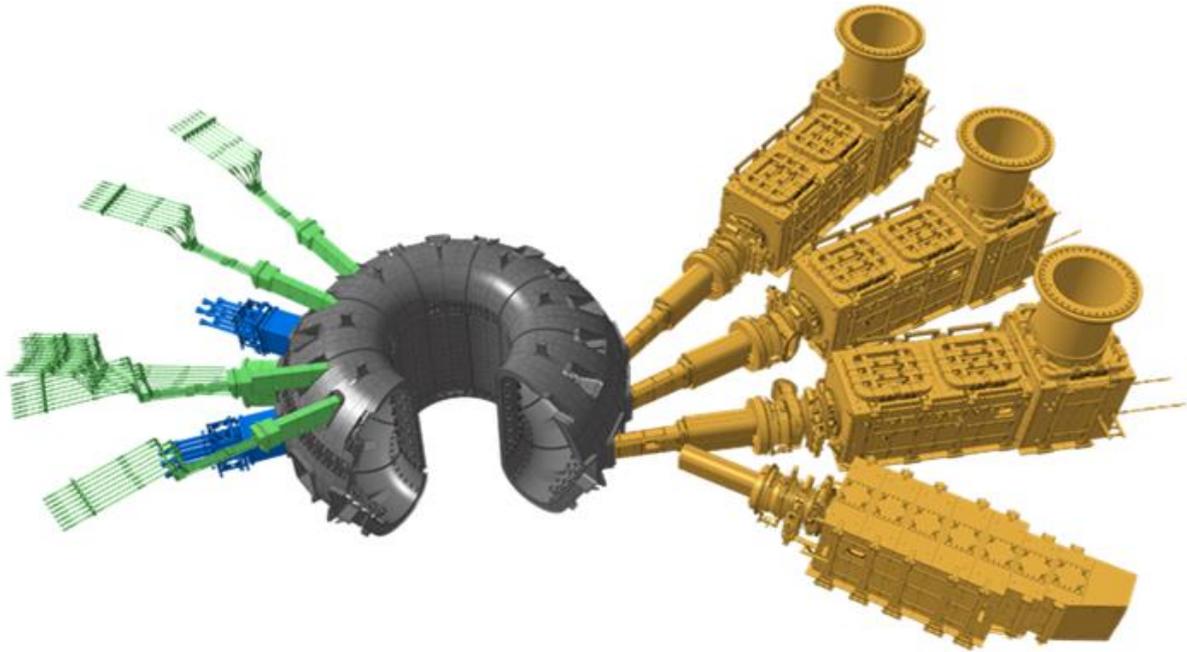


Figura 1.1: Meccanismi aggiuntivi di riscaldamento per l'esperimento ITER: in verde ICRH, in blu ECRH, in giallo tre HNB ed un neutral beam diagnostico

Nello specifico, lo sviluppo delle tecnologie e del progetto degli iniettori di neutri di riscaldamento per ITER richiede uno sforzo congiunto di diversi istituti di ricerca: in particolare, è stata realizzata presso il laboratorio Consorzio RFX di Padova (consorzio di CNR, UNIPD, ENEA, INFN, e Acciaierie Venete) la Neutral Beam Test Facility, in cui i prototipi dell'iniettore per ITER stanno venendo realizzati e testati. In particolare, un iniettore di neutri sfrutta in un vessel da vuoto una sorgente di ioni (plasma a bassa temperatura) ed un acceleratore elettrostatico ad alta tensione, per realizzare un fascio di ioni di alta corrente (per ITER, 40 A) ed alta energia (~ 1 MV), che successivamente verrà neutralizzato passando attraverso una nube di gas (qualche Pa).

La presente tesi si propone di condurre un'analisi comparativa delle strategie di gestione degli esperimenti dedicati allo sviluppo degli iniettori di neutri per fusione, adottate dai due principali centri di ricerca europei impegnati in questo contesto: il consorzio di ricerca Consorzio RFX di Padova e la struttura dell'Institute of Plasma Physics di Garching, Monaco. In particolare, si intendono esaminare in dettaglio gli aspetti tecnici dei progetti MITICA e SPIDER sviluppati a Padova, così come l'esperimento BATMAN condotto a Monaco, e le implicazioni di queste peculiarità nelle politiche di gestione, le strategie organizzative e le loro modalità di attuazione all'interno di ciascuna organizzazione.

Vari aspetti verranno analizzati in modo critico dall'assegnazione dei team ai singoli progetti fino alla valutazione dei successi e dei fallimenti ottenuti. Alla luce delle differenze e delle sfide emerse durante la ricerca, saranno formulati suggerimenti mirati per migliorare l'efficienza e l'efficacia delle operazioni e delle politiche strategiche adottate dal consorzio di Padova, anche considerando i vincoli e le particolarità tecniche degli iniettori.

Va sottolineato che sia il centro di ricerca di Padova che quello di Monaco hanno raggiunto risultati di grande rilevanza nel campo della fusione nucleare. SPIDER, ad esempio, rappresenta una tappa cruciale nello sviluppo di dispositivi di fusione su vasta scala, mentre

MITICA ha l'obiettivo di sviluppare l'intero iniettore di fasci neutri per ITER, con parametri di funzionamento mai raggiunti precedentemente, pertanto un progetto globale di fusione nucleare di grande importanza.

Per quanto riguarda Monaco, l'esperimento ELISE è finalizzato all'ottimizzazione della produzione di ioni nella sorgente sorgenti, contribuendo a una migliore comprensione delle sorgenti di ioni e delle loro prestazioni in condizioni particolari. BATMAN, invece, si concentra sull'estrazione avanzata del fascio e sul trasporto del fascio a bassa energia, aspetti cruciali per lo sviluppo futuro dei reattori a fusione.

1.1 Fusione nucleare: una panoramica

Prima di esaminare gli aspetti tecnici e gli approcci organizzativi connessi a un vasto impianto di ricerca, è essenziale acquisire una comprensione approfondita del processo di fusione nucleare e valutare il suo impatto ambientale. La fusione nucleare, una reazione esotermica, si verifica attraverso la fusione di deuterio e trizio, offrendo una prospettiva promettente per affrontare le sfide legate alla crescente richiesta energetica globale. Questa necessità è destinata a crescere ulteriormente con l'aumento del tenore di vita e, di conseguenza, del consumo energetico nei paesi emergenti, i quali aspirano a minimizzare l'impatto ambientale.

La fusione nucleare, a differenza della fissione, emerge come una fonte di energia pulita, in quanto produce quantità considerevoli di elettricità senza rilasciare in atmosfera sostanze inquinanti come ossidi di azoto, ossidi di zolfo o anidride carbonica, che è il principale gas responsabile dell'effetto serra. Un aspetto distintivo della fusione nucleare è la generazione di prodotti finali non radioattivi, consentendo il rilascio sicuro nell'ambiente senza provocare danni significativi. Anche se i componenti strutturali dei reattori a fusione rimangono attivati a seguito delle collisioni dei neutroni energetici generati nel processo di fusione, la loro durata di vita attesa è inferiore ai 100 anni, garantendo una gestione sostenibile dei materiali residui.

I vantaggi della fusione nucleare sono notevoli. Questo processo rappresenta una delle fonti di energia più promettenti poiché produce una quantità significativa di energia. La sua densità energetica supera di gran lunga tutte le altre fonti energetiche conosciute, compresi i combustibili fossili e la fissione nucleare. Ciò che lo rende ancora più attraente è che i combustibili necessari per le reazioni di fusione nucleare, ovvero deuterio e trizio, sono elementi abbondanti. Il deuterio può essere estratto dall'acqua, mentre il trizio può essere prodotto in-situ a partire dal litio. L'energia derivante dalla fusione nucleare promette fonti di energia praticamente inesauribili per le future generazioni, tuttavia, affronta sfide tecniche cruciali. Una di queste sfide consiste nel raggiungere un tasso di calore nel plasma di fusione che superi il tasso di energia iniettata nel plasma (Nuclear Fusion: WNA - World Nuclear Association, nd). Gli sforzi predominanti sono diretti verso i reattori tokamak e stellarator, i quali confinano magneticamente un plasma di deuterio-trizio (Nuclear Fusion: WNA - World Nuclear Association, nd).

È rilevante notare che, nonostante la densità energetica eccezionalmente elevata di queste reazioni nucleari, con una produzione di energia milioni di volte superiore rispetto alle reazioni chimiche come la combustione dei combustibili fossili, le quantità di combustibile richieste per la fusione nucleare sono minime, rendendo il processo estremamente efficiente.

Perché tale reazione tra deuterio e trizio si verifichi è necessario portare la miscela di gas di Deuterio e Trizio a livelli di densità e di temperatura molto elevate (dell'ordine di 100 milioni di Kelvin). A queste temperature la miscela di gas di deuterio e di trizio diventa un plasma: un gas caldo, globalmente neutro, nel quale gli atomi si separano in elettroni ed ioni carichi positivamente. Questo plasma deve essere confinato per un tempo sufficientemente lungo, in modo che l'energia liberata dalle reazioni di fusione possa compensare le perdite che producono un raffreddamento del plasma. In particolare, il plasma che è racchiuso in una camera a vuoto non deve venire a contatto con le pareti, perché in tal caso perderebbe immediatamente la propria energia. Poiché i Plasmi da fusione sono costituiti da particelle cariche, che, se immerse in un campo magnetico si muovono a spirale lungo le linee del campo, per evitare che il plasma venga a contatto con le pareti si utilizza il confinamento magnetico. Le macchine da fusione che funzionano tramite confinamento (chiamati Tokamak) hanno grandi bobine che vengono collocate attorno a una camera da vuoto di forma toroidale, questi magneti creano un campo magnetico lungo il toroide, e le particelle cariche che costituiscono il plasma seguono spiraleggiando le linee di campo secondo la forza di Lorentz, riuscendo così a confinare il plasma in uno spazio finito. Per ottenere alte temperature, oltre a minimizzare le perdite di energia (confinamento), è necessario riscaldarlo attivamente: nel caso di ITER, tra gli altri modi possibili, si cerca di ottenere questo tramite l'iniezione di particelle neutre ad alta energia. Questo fascio di neutri è ottenuto da un fascio precursore di ioni negativi, accelerato elettrostaticamente attraverso vari elettrodi. In questo metodo vengono prodotti ed accelerati ioni negativi, successivamente questi vengono neutralizzati e gli atomi neutri, dunque, possono entrare liberamente nella struttura magnetica che confina il plasma. Successivamente nell'interazione con il plasma da fusione, vengono privati degli elettroni per urto e trattenuti nel plasma come ioni energetici. Questi ioni intrappolati rallentano gradualmente, trasferendo energia anche agli altri ioni presenti nel plasma.

1.2 Sorgente di fascio di ioni negativi: una componente cruciale degli esperimenti di fusione nucleare

Il fascio di neutri è un componente importante che è necessario menzionare durante gli esperimenti di fusione nucleare perché è solo il loro contributo che consente la creazione e il controllo degli ioni negativi ad alta energia prodotti durante il processo (Kuriyama et al., 1997). Il fascio deve essere realizzato da atomi (o molecole) della stessa specie del plasma da fusione che si vuole riscaldare, o in ogni caso da isotopi dello stesso elemento, quindi idrogeno.

Viene chiamato ione un atomo di un qualsiasi elemento al quale vengono tolti o aggiunti uno o più elettroni, e l'entità della carica elettrica dello ione è un multiplo della carica elettrica del protone (e dell'elettrone), che può quindi essere assunta come carica elementare ovvero misura della carica, ed è indicata solitamente con $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{C}$. Una unità di misura comunemente utilizzata nella fisica delle particelle per l'energia è l'elettronvolt [eV], equivalente all'energia di una particella di carica elementare e accelerata ad un potenziale di un volt.

In particolare, i fasci di neutri si possono ottenere da fasci di ioni precedentemente accelerati, e lo stato di carica può essere positivo o negativo. Esistono due possibilità:

- Nel caso di difetto di elettroni, si parla di ione positivo: l'energia di ionizzazione per un atomo di idrogeno è 15.4 eV;

- Nel caso di eccesso di elettroni, si parla di ione negativo, e la energia di legame per l'elettrone aggiuntivo per un atomo di idrogeno è 0.75eV.

Considerate la differenza di energia rispetto ad un atomo, è più difficile neutralizzare uno ione positivo H^+ aggiungendo un elettrone, piuttosto che perdere l'elettrone aggiuntivo di un H^- nell'interazione del fascio con un bersaglio. Per questa maggiore probabilità di neutralizzazione, i fasci di neutri ad alta energia vengono ora realizzati a partire da ioni di idrogeno negativi.

Dal punto di vista della produzione, mentre è sempre possibile trovare un metodo per togliere elettroni ad un atomo, non è sempre possibile invece un metodo analogo per aggiungerne. L'aggiunta di un elettrone, infatti, comporta l'esistenza di un livello energetico disponibile da parte dell'atomo, e non sempre ciò si verifica. Questo dipende dalla struttura elettronica dell'atomo stesso. Inoltre, gli ioni negativi hanno la caratteristica di essere quasi tutti di carica unitaria, uno ione negativo di carica superiore a uno è difficilmente producibile. Un parametro molto utile ad esprimere quantitativamente questo concetto è detto affinità elettronica che esprime numericamente la disponibilità dell'atomo ad acquistare un elettrone. Quanto più alto è tale valore tanto più alta è la probabilità di produrre uno ione negativo. Da ciò ci si può rendere conto che non tutti gli elementi sono ionizzabili negativamente. Nel caso delle sorgenti di fasci per fusione, si aggiunge cesio alla scarica di plasma: il cesio funziona da donatore di elettroni, in particolare quando ricopre le superfici interne della sorgente di plasma. Purtroppo, la sua efficacia è relativamente instabile, e sono necessarie ricette empiriche per ottimizzarne la funzionalità, che possono variare da sorgente a sorgente.

Una delle principali preoccupazioni quando si lavora con sorgenti di ioni negativi è la collimazione del fascio durante il trasporto. Le particelle che compongono il fascio hanno tutte la stessa carica elettrica, quindi tendono a respingersi l'un l'altra: questo fa sì che il fascio si allarghi dopo essere stato accelerato. In ambienti in cui il fascio deve percorrere lunghe distanze prima di raggiungere il bersaglio questo allargamento comporta un effetto dannoso. Se il fascio viaggia nel vuoto assoluto esso si allarga come descritto sopra, tuttavia se è presente un gas di fondo a bassa pressione, la collisione delle particelle del fascio con questo gas può creare coppie ionizzate di ioni ed elettroni. Questo effetto è chiamato "compensazione della carica spaziale" e, come detto, si realizza automaticamente. Gli elettroni, grazie alla loro maggiore mobilità e al potenziale negativo causato dal fascio, tendono ad allontanarsi dal fascio, mentre gli ioni positivi rimangono intrappolati nel fascio. Nel tempo, gli ioni positivi compensano la carica negativa del fascio e il potenziale si innalza, ma questo effetto non si ferma quando si raggiunge lo zero, è comunemente riscontrato che all'equilibrio il potenziale è sovracompensato e quindi è leggermente positivo. Il potenziale positivo che si crea in questo modo permette alle particelle del fascio di rimanere vicine l'una all'altra, consentendo così al fascio di viaggiare più a lungo. Tutto ciò implica che una profonda comprensione della compensazione delle cariche spaziali è fondamentale quando si utilizzano sorgenti di ioni negativi, e la possibilità di misurare il potenziale sovracompensato permette ai ricercatori di individuare congiurazioni più efficienti.

Questi studi sulla fusione nucleare come fonte di produzione dell'energia elettrica vengono portati avanti da ITER e dai laboratori partner.

1.3 Obiettivo della tesi

La tesi si è concentrata sullo sviluppo degli iniettori di neutroni per la fusione, analizzando le strategie di gestione di due centri europei: il Consorzio RFX di Padova e L'Istituto Max Planck di fisica del plasma (IPP) Monaco. Progetti come MITICA, SPIDER a Padova e BATMAN a Monaco sono stati esaminati in dettaglio, valutando aspetti tecnici, politiche di gestione e successi/fallimenti. Sono state fornite raccomandazioni per migliorare l'efficienza operativa. La fusione nucleare, con deuterio e trizio, genera energia senza emissioni significative. Il plasma, mantenuto tramite confinamento magnetico, richiede riscaldamento tramite fasci neutri o microonde. La produzione di questi fasci, essenziale per raggiungere le temperature estreme necessarie al processo, è stata esplorata nella tesi, evidenziando sfide come la compensazione della carica spaziale. L'obiettivo principale della tesi è stato condurre un'analisi comparativa delle strategie organizzative di Padova e Monaco per le sorgenti di fasci di fusione, considerando vincoli tecnici. SPIDER, MITICA e BATMAN sono stati analizzati come strumenti fondamentali per la ricerca sulla fusione. Le procedure decisionali, le reti di collaborazione e le filosofie di gestione sono state esaminate, mettendo in luce similitudini e differenze. La conclusione si focalizza su una valutazione critica delle debolezze riscontrate a Padova, cercando di identificare le ragioni delle differenze osservate a Monaco. Sono state fornite raccomandazioni specifiche per migliorare le prestazioni di Padova, basate sul confronto con Monaco. La tesi contribuisce a comprendere approcci organizzativi efficaci nel contesto della ricerca sulla fusione nucleare. Il progetto ITER, coinvolgendo 35 nazioni nella costruzione del più grande tokamak al mondo, mira a dimostrare la possibilità di utilizzare la fusione nucleare come fonte di energia su larga scala. ITER utilizza diversi sistemi di riscaldamento esterno, tra cui il riscaldamento a radiofrequenza e iniettori di fasci di neutroni. Progetti come BATMAN ed ELISE a Monaco, insieme a PRIMA, SPIDER e MITICA a Padova, contribuiscono significativamente allo sviluppo delle tecnologie necessarie. La sezione successiva della tesi ha analizzato l'approccio organizzativo dei due centri di ricerca, identificando cinque aree fondamentali per garantire il corretto funzionamento delle giornate sperimentali: definizione degli obiettivi scientifici/tecnici, pianificazione degli esperimenti, gestione della sala controllo, organizzazione dei turni di lavoro dei ricercatori e condivisione dei dati. Attraverso un'analisi delle priorità, è emerso che la condivisione delle informazioni e la gestione della sala di controllo sono aspetti predominanti per assicurare l'efficienza nell'esecuzione degli esperimenti. Successivamente, sono state condotte interviste con ricercatori di entrambi i centri per approfondire la comprensione dell'approccio organizzativo. Le domande riguardanti la definizione degli obiettivi, il ruolo individuale nel raggiungimento degli obiettivi del centro e il lavoro di squadra hanno fornito una visione dettagliata delle dinamiche interne. Dall'analisi delle risposte è emersa la necessità di maggiore coerenza nella comunicazione degli obiettivi a tutti i livelli dell'organizzazione. Le interviste hanno rivelato sfide nella condivisione delle informazioni a diversi livelli e la mancanza di strutturazione nella comunicazione interna. Sono state proposte soluzioni praticabili, come riunioni più brevi e frequenti tra colleghi, per migliorare la comunicazione e la condivisione delle informazioni. La gestione della sala controllo è stata analizzata attraverso domande sulle modalità di gestione, la risoluzione delle difficoltà e il passaggio delle consegne. Le interviste hanno evidenziato la complessità di questo ambiente operativo, con quattro ruoli distinti, ciascuno con responsabilità specifiche. Sono emerse sfide legate al passaggio delle consegne e alla chiarezza degli obiettivi all'interno della sala di controllo, sottolineando la necessità di una comunicazione più efficace. Infine, la sezione sulla condivisione delle informazioni ha rivelato criticità nella gestione della condivisione dei risultati durante il periodo di shutdown. La mancanza di condivisione tra colleghi e la difficoltà di ottenere informazioni rilevanti sono emerse come problematiche

significative. Sono state proposte soluzioni, come riunioni periodiche coinvolgenti fisici e ingegneri, per migliorare la comunicazione e la trasparenza. Nell'analisi comparativa tra i due centri, il Consorzio RFX di Padova ha evidenziato debolezze nella gerarchia, nell'organizzazione delle riunioni e nel passaggio delle consegne. Le interviste hanno indicato una mancanza di chiarezza negli obiettivi e nelle attività quotidiane, con sfide nella gestione delle informazioni e delle comunicazioni. Le raccomandazioni per il miglioramento si basano su una maggiore strutturazione gerarchica, riunioni più organizzate e una comunicazione più efficace. D'altra parte, il MaxPlanck Institute di Monaco si è contraddistinto per una struttura organizzativa più efficace, con riunioni chiare e regolari, un passaggio delle consegne ben pianificato e una comunicazione aperta tra i livelli decisionali. Tuttavia, sono emerse sfide nella pianificazione degli esperimenti e nella condivisione delle informazioni durante il periodo di shutdown. Le raccomandazioni si concentrano sulla miglior pianificazione delle campagne sperimentali e sull'implementazione di strategie per migliorare la comunicazione durante le pause. In conclusione, la tesi ha offerto un'analisi dettagliata delle strategie organizzative dei centri di ricerca sulla fusione nucleare a Padova e Monaco. Attraverso l'analisi delle interviste e la comparazione delle pratiche, sono state identificate aree di miglioramento per entrambi i centri, contribuendo alla comprensione di pratiche organizzative efficaci nel campo della ricerca avanzata.

2 Iniettori di neutri come riscaldamento aggiuntivo per ITER

ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) è un progetto mondiale che coinvolge 35 nazioni al fine di costruire nel sud della Francia quello che è destinato a diventare il più grande tokamak del mondo, cioè una macchina in grado di sfruttare l'energia prodotta nel processo di fusione nucleare, per poter dimostrare la possibilità di sfruttare la fusione come fonte di energia su larga scala. All'interno del tokamak l'energia prodotta nella fusione verrà assorbita sotto forma di calore dalle pareti della camera toroidale contenente gas di idrogeno, opportunamente sottoposto ad elevatissime temperature e pressione al fine di ottenere un plasma, e quindi le condizioni ottimali per far avvenire la fusione. Come in una classica centrale elettrica il calore assorbito verrà poi usato per produrre vapore e successivamente elettricità, attraverso un sistema di turbine e generatori. Il progetto ITER produrrà e metterà in funzione la prima macchina in grado di mantenere la fusione per una durata relativamente lunga (tra svariati minuti ed una ora), con l'obiettivo di ottenere un rapporto tra potenza prodotta e potenza spesa di circa 10, in particolare producendo una potenza di circa 500 MW. Al fine di raggiungere le temperature necessarie per innescare il processo di fusione, ITER sfrutta diversi sistemi di riscaldamento esterni, in particolare il riscaldamento a radiofrequenza, si sfruttano cioè onde elettromagnetiche ad alta frequenza e dunque molto energetiche, e i sopracitati iniettori di fasci di neutri. Nell'ambito del progetto ITER sono attualmente previsti due iniettori di fasci di neutri, ciascuno dei quali trasporterà un fascio di deuterio di 16.5 MW, con particelle di energia circa pari a 1 MeV. Un terzo iniettore potrà essere installato. Sarà inoltre utilizzato un fascio di neutri per diagnostica del plasma di fusione. Gli ioni negativi che devono essere accelerati sono prodotti all'interno di una camera (sorgente di plasma) in cui viene generato un plasma, a partire da gas idrogeno (o deuterio). Generalmente, il plasma della sorgente può essere prodotto in due modi differenti: il primo prevede la presenza di un catodo (tipicamente un filamento di tungsteno) che viene portato ad alta temperatura cosicché riesca ad emettere elettroni per effetto termoionico, che andranno a ionizzare le particelle del gas, collidendo con esse; tale metodo però richiede una sostituzione periodica dei filamenti di tungsteno, che sono soggetti ad usura oltre al fatto che possono introdurre impurità nel plasma. Per questa ragione per ITER si è scelto di utilizzare una sorgente a radiofrequenza. Questo tipo di sorgente presenta una bobina avvolta attorno alla camera, che viene usata per generare una scarica induttiva (RF driver). Nel caso della sorgente di ITER, vi saranno otto RF drivers collegati alla stessa camera di plasma. Come detto precedentemente, per ITER è stato scelto di impiegare fasci precursori di ioni idrogeno negativi: poiché in una scarica di plasma di idrogeno, non sarebbero presenti ioni negativi, nella sorgente di plasma si introduce vapore di cesio, per rendere possibile la produzione di ioni negativi H^- o D^- : il cesio ricopre le pareti, e quando lo strato è ottimizzato atomi e ioni positivi vengono convertiti alla superficie in ioni negativi. Per raggiungere una ottima funzionalità, una lunga procedura di condizionamento dello strato di cesio è necessaria.

Una volta prodotti, gli ioni devono essere estratti e accelerati per poi essere immessi nella camera contenente il plasma utilizzato per il processo di fusione. Il più semplice sistema di estrazione è il cosiddetto "diode type", che consiste di due elettrodi separati posti a tensioni

differenti; in ITER si utilizzano addirittura sette elettrodi posti a tensioni via via crescenti. In generale, per sistemi di questo tipo, si possono distinguere tre diverse fasi di accelerazione: l'estrazione degli ioni dalla sorgente per mezzo di un campo elettrostatico, la pre-accelerazione (tipicamente fino a 10 keV) e infine l'accelerazione ad alta energia (circa pari a 1 MeV). Per poter raggiungere la tenuta di tensione tra gli elettrodi, necessaria per l'operazione del fascio, una lunga procedura di condizionamento è necessaria: si incrementa la tensione progressivamente, fino a causare una scarica tra le griglie; durante la scarica la tensione si azzerava; riapplicando tensione subito dopo, è possibile raggiungere una tensione leggermente maggiore di quella che aveva causato la scarica. Per condizionare le sette griglie fino alla tenuta di tensione complessiva di 1MV, ci si aspetta sia necessaria una procedura di condizionamento tra tre e cinque giorni.

Il Consorzio RFX di Padova tramite PRIMA (progetto che mira alla realizzazione di un impianto per testare e sviluppare il sistema a iniettori in grado di portare il plasma all'elevatissima temperatura necessaria per consentire il processo di fusione) partecipa alla realizzazione del primo reattore sperimentale a fusione ITER. Questo progetto prevede la realizzazione di un impianto denominato Neutral Beam Test Facility (NBTF) e lo sviluppo di due prototipi del sistema di iniezione:

- la sorgente di ioni SPIDER (Source for the Production of Ions of Deuterium Extracted from a Radio frequency plasma) utilizzato per concentrarsi sulla produzione ed estrazione di ioni negativi per l'iniezione del fascio neutro, il quale ha un ruolo centrale nel controllo e nella produzione degli ioni negativi ad alta corrente necessari per il riscaldamento del plasma. Il plasma ha dimensioni trasversali di circa 0.8 x 1.6 m, ed una profondità di 0.4 m, con 8 driver a radiofrequenza.
- l'iniettore di particelle neutre MITICA (Megavolt ITER Injector & Concept Advancement), è il prototipo della sorgente e dell'acceleratore a 1 MV in scala 1:1 con lo scopo di provare e sviluppare l'iniettore di neutri vero e proprio che, in base ai risultati della sperimentazione, verrà replicato in due unità in ITER iniettato nel plasma di ITER o intercettato all'interno dell'iniettore da un calorimetro a pannelli mobili che può accettare l'intera potenza del fascio neutro.

Per quanto riguarda Monaco partecipa al progetto ITER tramite:

- BATMAN; una parte essenziale dei sistemi NBI è una grande sorgente a radiofrequenza per ioni negativi di idrogeno o deuterio. La sorgente ionica deve fornire un grande fascio di ioni negativi intenso, stabile e omogeneo. La progettazione di queste sorgenti si basa sul prototipo BATMAN (Bavarian test machine for negative ions). Il design del prototipo BATMAN di IPP è in scala 1/8 rispetto a ITER e ha introdotto onde a radiofrequenza (RF) iniettate attraverso un'antenna esterna per generare il plasma
- ELISE : ELISE (Extraction from a Large Ion Source Experiment) dispone di una sorgente ionica di dimensioni pari alla metà di quelle delle sorgenti di ITER, ovvero con quattro RF driver accoppiati ad una unica camera di espansione.rilevanti per la sorgente multi-driver.

2.1 Introduzione a SPIDER e MITICA: progressi nella ricerca sulla fusione nucleare

Il Consorzio RFX di Padova tramite PRIMA (progetto che mira alla realizzazione di un impianto per testare e sviluppare il sistema a iniettori in grado di portare il plasma all'elevatissima temperatura necessaria per consentire il processo di fusione) partecipa alla realizzazione del primo reattore sperimentale a fusione ITER. Questo progetto prevede la realizzazione di un impianto denominato Neutral Beam Test Facility (NBTF) e lo sviluppo di due prototipi del sistema di iniezione: la sorgente di ioni (SPIDER) e l'iniettore di particelle neutre (MITICA).

SPIDER (Source for the Production of Ions of Deuterium Extracted from a Radio frequency plasma) oltre ad essere una fonte di ioni negativi, possiede sofisticati sistemi diagnostici che permettono la misurazione dei parametri del fascio generato, lo studio del funzionamento e la sua messa a punto. I parametri obiettivo che devono essere raggiunti sono:

- Energia del fascio a 100 keV
- Produzione di ioni negativi di Deuterio e Idrogeno con una densità di corrente rispettivamente di: 258 A/m² e 355 A/m²
- Potenza del sistema a Radio Frequenza di 800 kW
- Durata dell' impulso di un'ora (3600 s)
- Pressione interna della Sorgente di 0,3 P

2.1.1 SPIDER

SPIDER (Source for the Production of Ions of Deuterium Extracted from an RF plasms) viene utilizzato per testare i sistemi di riscaldamento del reattore ITER. La sorgente di plasma e l'acceleratore sono contenute all'interno di un vessel da vuoto, come indicato nella figura 2.1.1. Il fascio accelerato (rappresentato in giallo nella figura) impatta su un calorimetro diagnostico denominato "STRIKE", realizzato con pannelli di Carbon-Fiber-Carbon matrix (CFC), con proprietà di conduzione termica ottimizzate per realizzare imaging infrarosso dell'impronta del fascio. Questa è la principale diagnostica per studiare la uniformità e le altre proprietà del fascio realizzato. Alternativamente, questo calorimetro diagnostico può aprirsi e il fascio viene intercettato da un calorimetro raffreddato ad acqua, adatto a gestire la potenza durante impulsi lunghi.

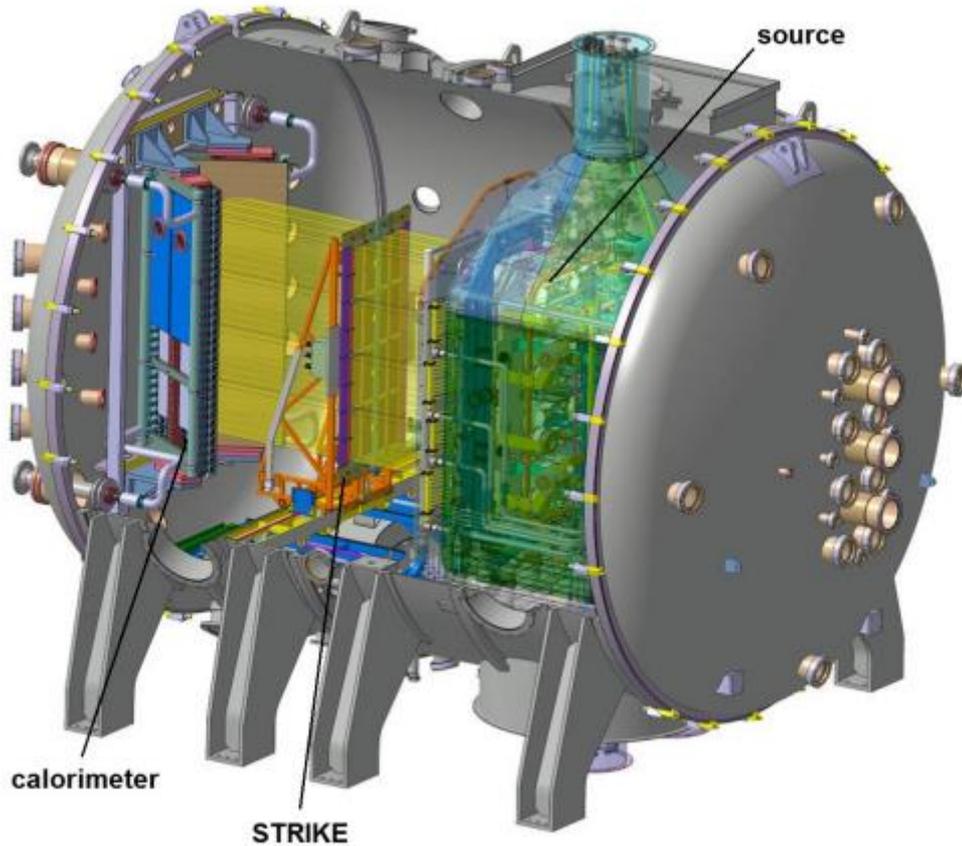


Figura 2.1.1: Rappresentazione 3D dell'esperimento SPIDER

Le 3 griglie PG (-100 kV), EG (~ -90 kV) e GG (0 V) sono responsabili dell'estrazione e dell'accelerazione degli ioni. La griglia ha 120 fori, distanziati verticalmente e orizzontalmente, di diametro. Per rimuovere efficacemente il gas prodotto dal PG il sistema di pompaggio in fase di accelerazione è aperto ai lati. Nella figura 2.1.2 è presentato lo schema completo delle aperture dell'acceleratore di SPIDER.

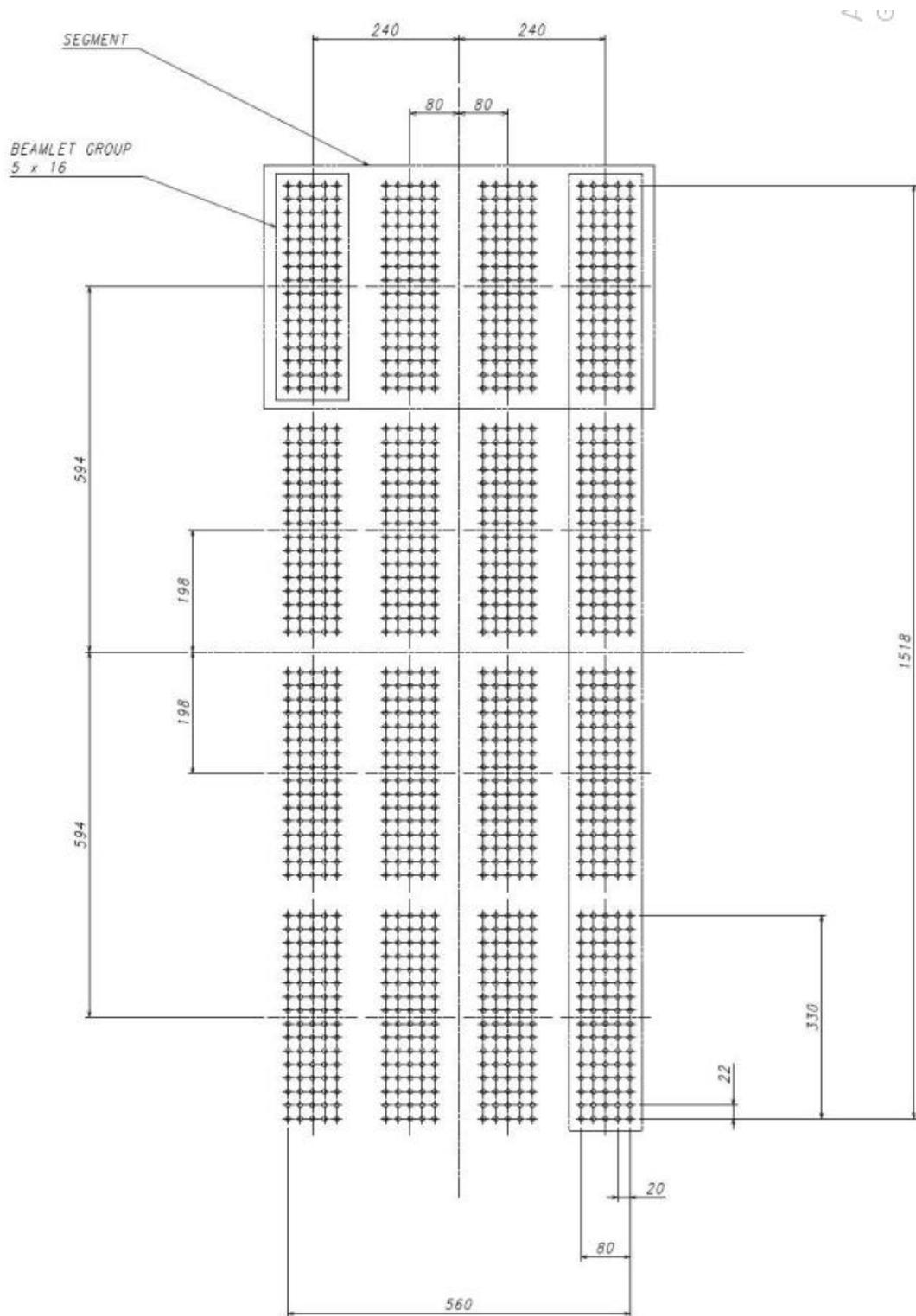


Figura 1.1.2: Rappresentazione della disposizione delle aperture delle tre griglie PG, EG, GG (tutte le dimensioni sono in mm)

Tabella 2.1.1 Obiettivo prestazionale della sorgente di ioni negativi SPIDER

Source H ₂ /D ₂ pressure	< 0.3 Pa
Energy of the ions	100 keV
Extracted current density	285 A/m ² (D), 350 A/m ² (H)
Accelerated current	40 A (D), 46 A (H)
Pulse duration	> 3600 s (D) > 400 s (H)
Beam homogeneity	> 90 %
beamlet divergence ϵ (e-folding)	≤ 7 mrad
halo divergence (e-folding)	≤ 30 mrad
current density ratio of electrons to ions accelerated	$j_e/j_{D^-} < 1$ $j_e/j_{H^-} < 0.5$

Nel monitoraggio del funzionamento dello SPIDER vengono utilizzati diversi metodi diagnostici. Per il monitoraggio del plasma vengono utilizzate sonde Langmuir posizionate sulle piastre bias e sul PG. Il sistema OES (Optical Emission Spectroscopy) viene utilizzato per fornire parametri più complessi relativi al plasma nella sorgente: si tratta di varie linee di vista, da cui si raccoglie la luce emessa dal plasma. Poichè la luce emessa dipende dagli stati elettronici eccitati di atomi e molecole presenti nel plasma, dalle misure spettroscopiche OES si possono ottenere molte quantità incorporando modelli collisionali-radiativi (CR) che simulano la maggioranza dei processi elementari che avvengono nel plasma. Alternativamente, si può utilizzare l'intensità di emissione come diagnostica; è più semplice ma data la risposta immediata (non richiede analisi complesse) è comunque utile per l'operazione della sorgente. Di seguito l'elenco delle quantità coperte da OES.

Tabella 2.1.2: Dati di input e quantità misurate da OES

Plasma parameters	Experimental data
Driver ignition	Plasma light
Cs density and density of impurities (O, Cu,...)	Absolute line intensities
$\langle T_e \rangle, \langle n_e \rangle$	ratio of Balmer lines
vibrational and rotational temperature of molecules	Fulcher band spectrum
dissociation degree of H ₂ /D ₂	H _γ /H _{Fulcher} , D _γ /D _{Fulcher}
negative ion density	H _α /H _β , D _α /D _β

La spettroscopia di emissione del fascio (BES) viene utilizzata per misurare la divergenza e l'uniformità dei fasci. Il BES, che interagisce con il gas di fondo sfruttando l'effetto doppler portato dalla luce emessa dal fascio, viene utilizzato per misurare la divergenza e l'uniformità

dei fasci. D'altra parte, la tecnica tomografica viene utilizzata per misurare la densità di potenza del fascio. La tecnica opera assorbendo le radiazioni emesse dal fascio. Infine come detto precedentemente, il calorimetro strumentato STRIKE può essere utilizzato anche per misurare la densità di potenza. In questo caso il calorimetro è composto dalle telecamere IR che vengono utilizzate per registrare l'impronta termica. Il calorimetro viene utilizzato per un altro scopo: misurare la forma del fascio.

2.1.2 MITICA

L'esperimento MITICA è necessario per testare ed ottimizzare il progetto dell'iniettore di neutri per ITER. Il suo prototipo è basato sulla sorgente di plasma di SPIDER, e sfrutta gran parte delle osservazioni effettuate dalle sorgenti di ioni negativi SPIDER ed ELISE. La prescrizione del suo acceleratore e quella della sua sorgente di ioni negativi sono le stesse di SPIDER sopra descritte, con la fondamentale differenza dell'energia degli ioni (1 MV per il deuterio e 870 kV per l'idrogeno). Il progetto delle sue griglie ha seguito la configurazione sviluppata da JAEA Japan, chiamata Multi-aperture Multi-Grid (MaMuG). Nella sorgente MITICA abbiamo l'estrazione degli ioni che avviene nelle griglie PG ed EG, mentre le 4 griglie l'ultima delle quali è GG completa la loro accelerazione. La tensione tra le griglie è diversa e diminuisce man mano che ci si allontana dalla griglia di 200 kV. Ci sono magneti nella griglia EG e in quelle intermedie, che deviano gli elettroni. Per contrastare l'effetto, le aperture sono configurate in forme particolari per accogliere magneti permanenti per annullare il campo magnetico. I fasci vengono guidati secondo uno schema specifico spostando l'apertura delle griglie.

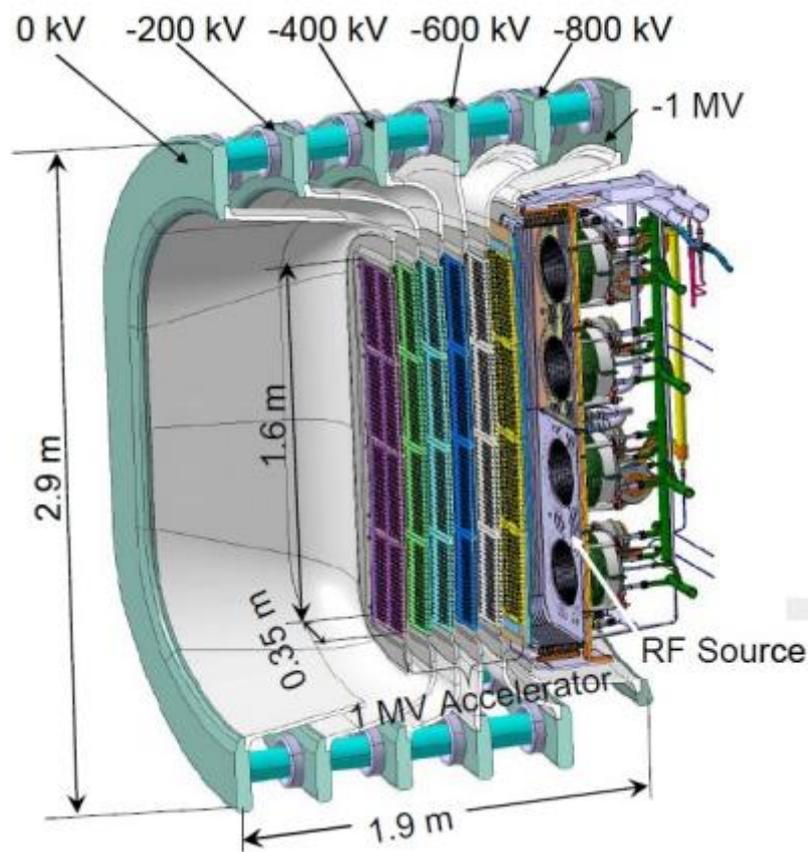


Figura2.1.3: Rappresentazione 3D della sorgente MITICA

Dalla descrizione operativa di cui sopra, MITICA e SPIDER hanno molte somiglianze; pertanto, la loro diagnostica è quasi la stessa. Come in MITICA, avremo linee di vista di BES. Inoltre, tra RID e calorimetro, RID e neutralizzatore, e tra neutralizzatore e GG avremo ancora la tomografia. Non avremo però il calorimetro strumentato e la sorgente non avrà bisogno di sonde elettrostatiche.

2.2 Introduzione a ELISE e BATMAN; Progressi nella ricerca sulla fusione nucleare a Monaco

2.2.1 BATMAN

Il progetto BATMAN è stato istituito con lo scopo di testare le prestazioni dei materiali dei reattori nel progetto ITER. L'esperimento è stato impostato per determinare le prestazioni di diversi materiali quando esposti a una serie di condizioni, per introdurre le diverse condizioni desiderate all'interno del reattore.

Il prototipo BATMAN di IPP è composto da un driver con un driver al plasma come sorgente e 3 griglie per le accelerazioni degli ioni. Le tre griglie sono PG, EG e GG (Plasma Grid, Extra Grid e Ground Grid). Il posizionamento delle aperture e le loro forme originariamente era progettato secondo lo schema Large Area Grid (LAG), e recentemente è stato sostituito con lo schema di aperture di un singolo "beamlet group" di SPIDER/MITICA, in modo da operare in condizioni più rilevanti per ITER. La griglia di terra ha un diametro di 8 mm per una superficie di circa complessivamente. I travetti del GG sono progettati con una divergenza di alcuni gradi.

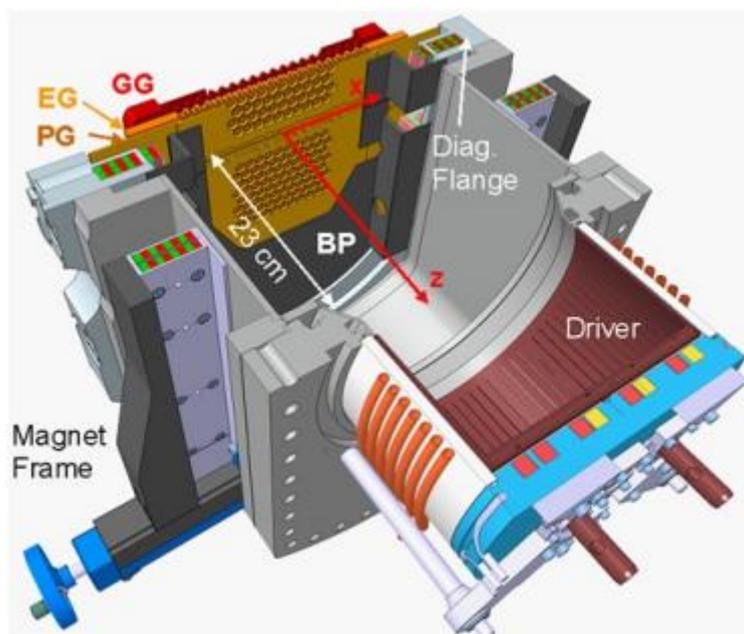
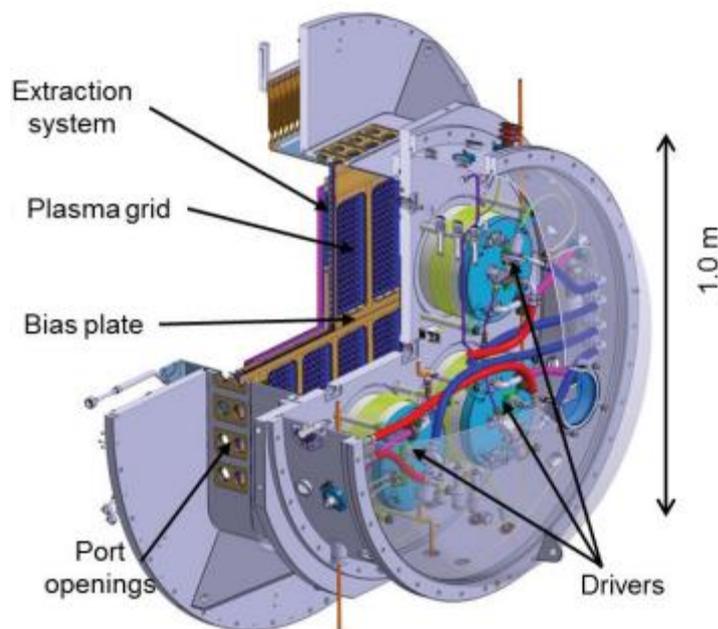


Figura2.2.1: Sorgente BATMAN nella rappresentazione 3D

Nella sorgente BATMAN illustrata sopra, il plasma viene generato induttivamente nel driver e procede all'espansione nella camera di espansione. Nella maggior parte dei casi, la conversione superficiale del PG di atomi di idrogeno/deuterio viene utilizzata per generare ioni negativi per la fusione nucleare. Un campo di filtraggio magnetico viene utilizzato per abbassare la temperatura degli elettroni allo scopo di ridurre la distruzione degli ioni negativi. Le proprietà standard della sorgente sono: densità del plasma di circa 10^{18} m^{-3} , temperatura degli elettroni di circa 10 eV, temperatura degli elettroni del plasma anteriore $\sim 1 \text{ eV}$ e densità di $\sim 10^{17} \text{ m}^{-3}$. Come già detto, le tre griglie PG, EG e GG sono utilizzate per estrarre e accelerare gli ioni negativi per la fusione nucleare. La sorgente Batman è costituita da due fasi pulsate principali: la fase di vuoto e l'impulso di plasma. Nella fase di vuoto, la pressione di fondo è di circa 10^{-4} Pa , mentre nella fase di plasma la pressione del gas è impostata nell'intervallo 0,3 Pa-0,8 Pa e la radiofrequenza è attivata. Durante la fase di impulso al plasma, il fascio di elettroni negativi viene generato applicando un'alta tensione al sistema di estrazione.

2.2.2 ELISE

L'esperimento ELISE esegue il test dei componenti della sorgente, dei materiali e l'ottimizzazione del plasma per l'operazione dell'iniettore di ITER. E' entrato in funzione prima di SPIDER e ha raggiunto finora risultati molto importanti, dimostrandolo per esempio l'estrazione di corrente di H^- fino a $\sim 300 \text{ A/m}^2$ dalle aperture della PG.



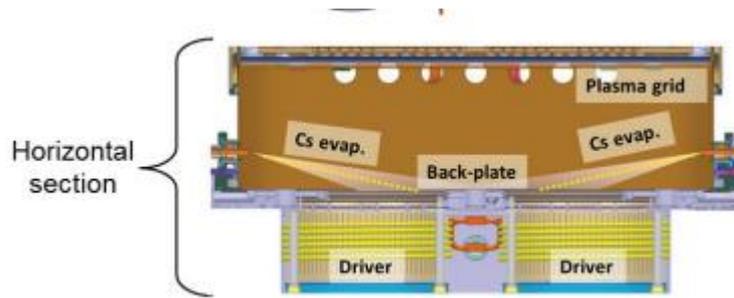


Figura2.2.2: Rappresentazione 3D del prototipo della sorgente ELISE

La sorgente di ioni ELISE è stata progettata per soddisfare i requisiti di densità di corrente e durata del fascio di ITER. Il suo design è di dimensioni pari alla metà di quello del NBI (Neutral Beam Injection) di ITER, composto da 4 driver di plasma aperti a una regione di espansione. Per ottimizzare l'intensità del campo magnetico e ottenere migliori condizioni operative, la corrente che produce il campo di filtraggio scorre verticalmente nel PG a causa delle dimensioni della sorgente. Le griglie del sistema hanno 640 aperture sia in direzione verticale che orizzontale, con un diametro di 14 mm e una distanza di 20 mm l'una dall'altra. Durante il funzionamento, il plasma nella sorgente viene mantenuto fino a 1 ora e l'estrazione degli ioni avviene in intervalli di 10 s separati da 3 minuti per evitare il pericolo di alimentazione ad alta tensione.

Come nella sorgente BATMAN, il plasma viene generato induttivamente nel driver e procede all'espansione nella camera di espansione. Nella maggior parte dei casi, la conversione superficiale del PG di atomi di idrogeno/deuterio viene utilizzata per generare ioni negativi per la fusione nucleare. Un campo di filtraggio magnetico viene utilizzato per abbassare la temperatura degli elettroni allo scopo di ridurre la distruzione degli ioni negativi. Le proprietà standard della sorgente sono: densità del plasma di circa 10^{18} m^{-3} , temperatura degli elettroni di circa 10 eV, temperatura degli elettroni del plasma anteriore $\sim 1 \text{ eV}$ e densità di $\sim 10^{17} \text{ m}^{-3}$. Come già detto, le tre griglie PG, EG e GG sono utilizzate per estrarre e accelerare gli ioni negativi.

La sorgente ELISE è costituita da due fasi pulsate principali, come nel caso di BATMAN: la fase di vuoto e l'impulso di plasmam durante il quale può venire applicata la tensione di estrazione per estrarre ed accelerare il fascio. Nella fase di vuoto, la pressione di fondo è di circa 10^{-4} Pa , mentre nella fase di plasma la pressione del gas è impostata nell'intervallo 0,3 Pa-0,8 Pa e la radiofrequenza è attivata. Durante la fase di impulso al plasma, il fascio di elettroni negativi viene generato applicando un'alta tensione al sistema di estrazione.

Le sonde OES (Optical Emission Spectroscopy) e Langmuir vengono utilizzate per monitorare la sorgente e la diagnostica per esaminare il fascio.

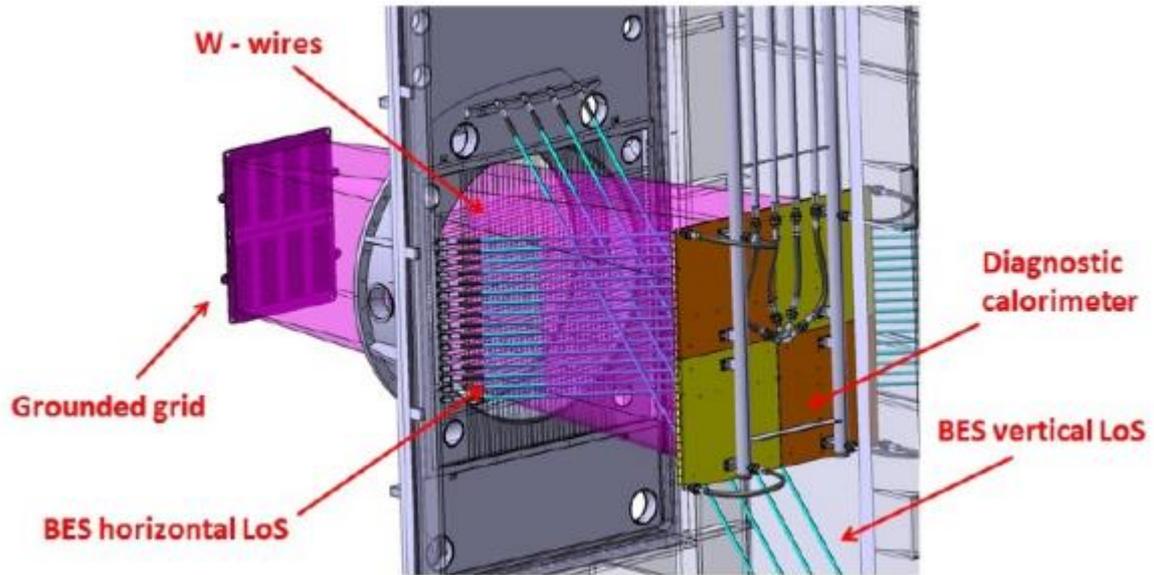


Figura2.2.3: Varie diagnostiche per analizzare il fascio in ELISE: fili di tungsteno (si scaldano in maniera proporzionale alla potenza del fascio che intercettano e, incandescenti, vengono inquadrati da una camera); Beam Emission Spectroscopy (analizzando l'effetto Doppler della luce emessa dal fascio si riesce a desumere la velocità trasversale, ovvero l'allargamento del fascio) ed il calorimetro diagnostico (realizzato in rame, raffreddato ad acqua, strumentato con molte termocoppie).

3 Analisi del processo di gestione degli esperimenti ed interviste ai ricercatori

3.1 Operazione di una sorgente di ioni negativi

Prima di discutere il processo di gestione degli esperimenti, è importante descrivere le modalità di utilizzo delle sorgenti di ioni negativi: questo permetterà nella sezione seguente di identificare gli aspetti chiave del processo.

La tipica sequenza giornaliera necessaria per operare le sorgenti prototipo di ioni negativi sono indicativamente le seguenti:

- Attivazione degli impianti di alta tensione, di raffreddamento ad acqua, dei generatori a radiofrequenza; Attivazione dei sistemi di acquisizione delle varie diagnostiche;
- Esecuzione di un impulso di test;
- Serie di impulsi in cui si applica tensione tra le griglie dell'acceleratore (senza accendere plasma o accelerare fascio); il tempo necessario a questa attività dipende dal livello di tensione che si intende raggiungere; inoltre viene verificato lo stato dell'impianto da vuoto, considerando la risposta all'iniezione di gas.
- Apertura dei forni che evaporano cesio all'interno della sorgente, e ripetizione di serie di impulsi di plasma (con estrazione del fascio a basse tensioni); questa fase serve a condizionare le pareti della sorgente ed ottimizzare la copertura di cesio; il criterio durante questa fase è l'aumento progressivo della corrente di fascio che si estrae, e la riduzione della corrente di elettroni co-estratti dal plasma;
- Aumento progressivo della potenza dei driver a radiofrequenza, e in concomitanza delle tensioni a cui il fascio viene accelerato; in questa fase si cerca di raggiungere performances uguali (o maggiori) rispetto alle giornate precedenti, o una determinata condizione a seconda degli obiettivi della campagna sperimentale;
- Se il condizionamento del cesio e della tensione sono stati mantenuti anche durante l'aumento progressivo delle performances, si procede alla esecuzione di scansioni di alcuni parametri della sorgente, determinando il comportamento del plasma e del fascio, per studiarne il funzionamento (tipicamente in questa fase si concretizza l'obiettivo della giornata sperimentale, spesso orientata a migliorare i risultati raggiunti o ottimizzare la sorgente);
- Al termine della giornata sperimentale, gli impianti attivati al mattino devono essere disattivati per sicurezza;
- Il sistema di pompe da vuoto, che non può mai venire spento, durante la notte è in una fase di rigenerazione durante la quale le pompe criogeniche rilasciano gradualmente il gas, impiegato dalla sorgente durante il giorno ed intrappolato in esse. In alcuni casi, la rigenerazione potrebbe avvenire durante il fine settimana (invece che ogni sera) a seconda della capacità dell'impianto da vuoto.

Come si può evincere, per l'esecuzione delle diverse fasi sono necessarie competenze differenti:

- Competenze tecniche per eseguire la procedura di attivazione degli impianti e delle diagnostiche; i ricercatori devono essere rintracciabili in caso di problemi;
- Competenza delle varie diagnostiche, dell'operazione della sorgente, o di alta tensione o dell'uso del cesio;
- Responsabilità/capacità di condurre l'attività scientifica/sperimentale, e responsabilità della sicurezza di persone e impianti durante l'attività sperimentale giornaliera.

Per questa ragione, la gestione e l'organizzazione della attività sperimentale, così come le persone coinvolte, dipendono fortemente dal funzionamento delle sorgenti di ioni negativi, e dalle peculiarità e specificità tecniche di un particolare impianto sperimentale.

3.2 Approcci organizzativi e gestionali al Consorzio di Padova e al IPP di Monaco

Nella gestione di esperimenti come SPIDER (e MITICA in futuro) per la Neutral Beam Test Facility al Consorzio RFX (Padova), e Elise e Batman per IPP Garching (Monaco, Germania) sono importanti 4 aree:

- a) la gestione delle operazioni
- b) la pianificazione degli esperimenti e dell'intera campagna sperimentale
- c) la gestione della sala controllo
- d) la gestione della condivisione dei dati e della campagna sperimentale fra i ricercatori

Si deve segnalare che la Neutral Beam Test Facility è un laboratorio direttamente finanziato dalla ITER Organization, tramite un NBTF agreement. Sebbene gli edifici ed il 60% della personale coinvolto sia fornito dall'Italia, tramite i vari enti consociati nel consorzio RFX (in particolare Consiglio Nazionale delle Ricerche, Università di Padova, ENEA, INFN) i finanziamenti da ITER sono dell'ordine di una decina di milioni di euro per anno (con forte variabilità legata in particolare all'acquisto di hardware, nuovi componenti o rifacimento di componenti preesistenti). Per questa ragione, la gestione della NBTF e degli esperimenti SPIDER e MITICA è coadiuvata e coordinata da ITER tramite diversi comitati. I ruoli sono differenti e, in ordine da competenze tecniche a competenze finanziarie e strategiche, si tratta di:

- EAC Experimental Advisory Committee;
- NAC NBTF Advisory Committee;
- Steering committee.

La struttura organizzativa e decisionale dell'NBTF integra questi comitati e pertanto è necessariamente differente da quella presente al laboratorio IPP Garching.

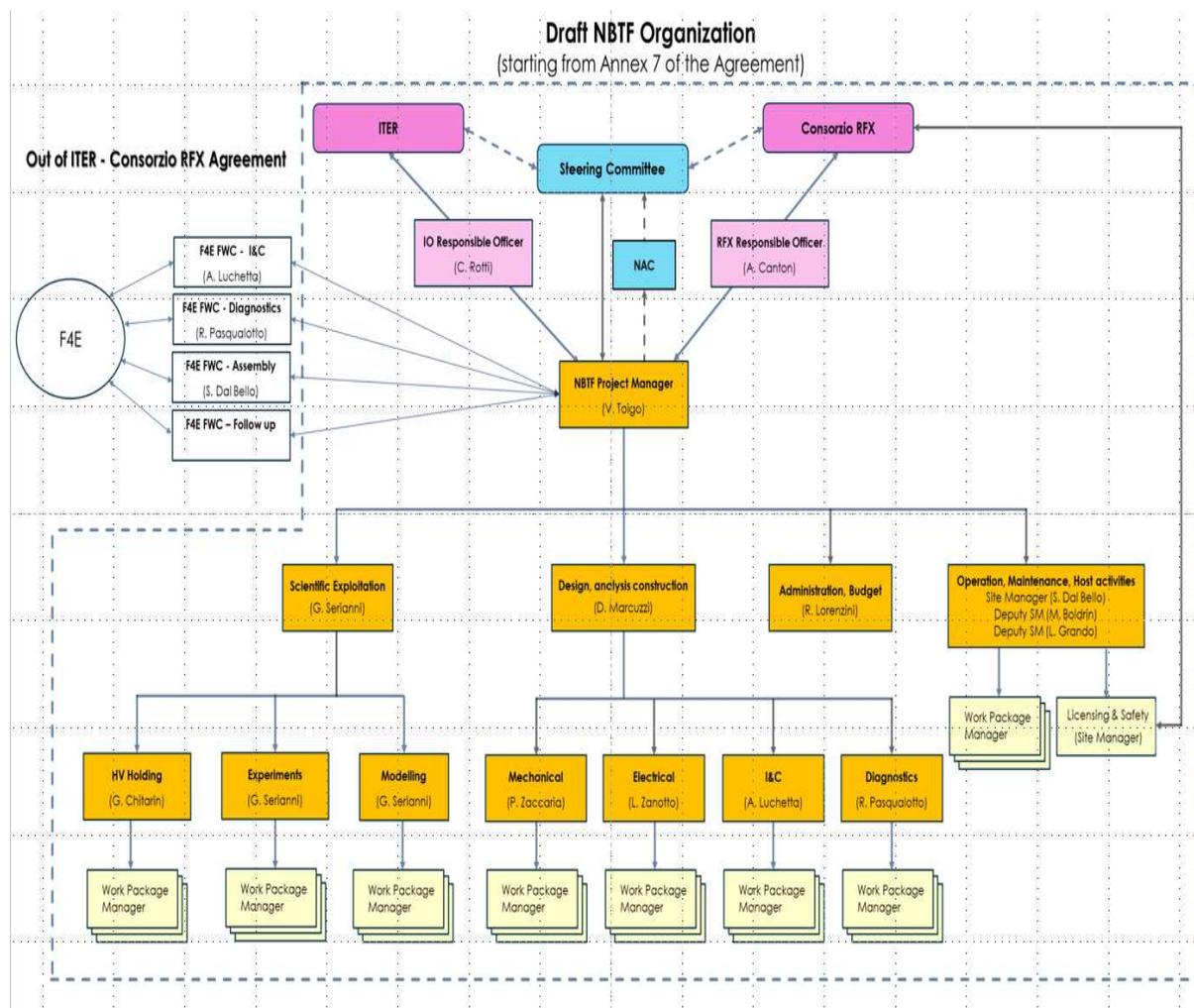


Figura 3.2.1: Struttura gerarchica della NBTF.

3.2.1 Gestione delle operazioni

La gestione delle operazioni prevede la definizione di obiettivi strategici per gli esperimenti e l'assegnazione dei ruoli ai ricercatori. Gli obiettivi possono essere categorizzati come a breve e lungo termine, con le questioni a medio e lungo termine trattate durante incontri regolari che coinvolgono i responsabili degli esperimenti. Il lavoro quotidiano è gestito in modo più dettagliato, spesso sotto la guida del capogruppo. L'obiettivo a lungo termine è definito, ma la strada per raggiungerlo viene discussa in riunioni e incontri. In sintesi, la definizione degli obiettivi strategici dell'organizzazione coinvolge incontri, documenti annuali (in alcuni casi) e discussioni periodiche, con la partecipazione di diversi livelli gerarchici nell'organizzazione. La chiarezza degli obiettivi può variare sia a breve che a lungo termine, in base al contesto e alla regione di operazione dell'organizzazione. Durante le riunioni periodiche, vengono stabiliti obiettivi sperimentali a breve termine (ad esempio, nell'arco di tre mesi), che vengono valutati regolarmente e che influenzano la riorganizzazione delle operazioni in base ai risultati ottenuti. Per quanto riguarda i ruoli, si distinguono responsabili scientifici per le attività sperimentali, mentre chi non ha questo ruolo si occupa spesso di diagnostiche.

3.2.2 Pianificazione degli esperimenti e dell'intera campagna sperimentale

Nell'ambito delle operazioni sperimentali, la definizione della campagna sperimentale assume un ruolo cruciale poiché orienta la determinazione degli obiettivi. Queste campagne sperimentali, spesso protratte per mesi, abbracciano una vasta gamma di obiettivi che possono variare da quelli di natura tecnica a quelli di carattere ingegneristico e scientifico. Per sorvegliare il progresso e assicurare il monitoraggio di questi obiettivi, vengono impiegate fasi intermedie chiamate "mindstorm," che possono riguardare aspetti di natura ingegneristica o scientifica. All'avvio di ogni campagna sperimentale, un responsabile scientifico assume il compito di designare le figure responsabili dell'organizzazione e coordinazione delle attività. Ad esempio per l'operazione di SPIDER, durante le giornate sperimentali, sono presenti due ruoli chiave, il "session leader" e il "scientific coordinator," sono incaricati di supervisionare l'intera operazione. Gli obiettivi sperimentali sono definiti attraverso una collaborazione tra i responsabili scientifici e i rappresentanti di ITER, coinvolgendo varie squadre di lavoro e comitati consultivi. Questi obiettivi generali vengono stabiliti prima dell'avvio della campagna sperimentale, ma possono subire delle modifiche durante lo svolgimento delle operazioni in risposta alle circostanze emergenti.

Il raggiungimento degli obiettivi in una campagna sperimentale rappresenta un pilastro fondamentale per il successo complessivo del progetto. Tuttavia, non è insolito trovarsi di fronte a situazioni in cui questi obiettivi non vengono soddisfatti, e in tali momenti, è imperativo adottare un approccio riflessivo e strategico per affrontare questa sfida. L'organizzazione di riunioni e discussioni è un elemento chiave per rispondere a questa sfida in tutti i contesti. Attraverso queste interazioni, gli obiettivi possono essere rivalutati e riorganizzati, promuovendo un coinvolgimento attivo dei partecipanti e creando uno spazio in cui le soluzioni possono essere cercate in modo collaborativo. La comprensione delle cause del mancato raggiungimento degli obiettivi rappresenta un altro tassello importante in questo processo. Spesso, le difficoltà sono legate a questioni tecniche, problemi con i macchinari o ritardi burocratici (o più in particolare, legati a forniture di nuovi componenti o di ripristino di componenti esistenti), e comprendere queste cause è fondamentale per individuare soluzioni efficaci. La gestione di queste situazioni richiede una discussione approfondita al fine di stabilire se le sfide siano di natura tecnica, fisica o richiedano un apprendimento supplementare. Questi dialoghi all'interno del gruppo sono considerati una prassi comune e un modo per affrontare situazioni in cui gli obiettivi non sono raggiunti. In sintesi, la gestione del mancato raggiungimento degli obiettivi nella campagna sperimentale richiede una risposta attiva che coinvolge discussioni, analisi delle cause e adattamenti strategici. La flessibilità, la collaborazione e l'impegno per il miglioramento continuo emergono come elementi chiave nell'affrontare queste sfide in modo costruttivo, riconoscendo che si tratta di situazioni che si verificano spesso in esperimenti di questo genere. Dopo la definizione della campagna sperimentale, avviene la pianificazione degli esperimenti, in cui i responsabili scientifici definiscono gli obiettivi, sia a breve che a lungo termine, attraverso incontri specifici.

3.2.3 Gestione della sala controllo

In ogni centro di ricerca troviamo la sala controllo, la gestione della sala controllo in un contesto di sperimentazione scientifica riveste un ruolo fondamentale nel garantire il corretto funzionamento e la sicurezza delle operazioni. Questo ambiente è composto da vari attori e componenti che collaborano per raggiungere gli obiettivi dell'esperimento, mentre assicurano

che le procedure siano eseguite in modo preciso e sicuro. Nel caso di SPIDER; in sala controllo, sono presenti quattro ruoli chiave:

1. **Scientific Coordinator (Responsabile Scientifico):** Questa figura è responsabile dell'indirizzo generale della sperimentazione. Il responsabile scientifico conosce il contesto della campagna sperimentale e svolge un ruolo cruciale nella definizione degli obiettivi e delle procedure. Questa persona fornisce una visione d'insieme e orienta il processo sperimentale.
2. **Scientific Leader (Responsabile Scientifico):** Il scientific leader è incaricato di impostare i parametri della macchina in modo da ottenere i risultati richiesti. Questo ruolo richiede una comprensione approfondita dei requisiti sperimentali e la capacità di configurare la macchina di conseguenza.
3. **Responsabile Operativo:** Questa figura è responsabile della sicurezza dell'impianto e delle persone coinvolte nell'esperimento. Assicura che tutte le procedure siano eseguite in modo sicuro e che siano seguite le linee guida per prevenire incidenti o situazioni pericolose.
4. **Tecnico per il Sistema di Controllo:** Questo ruolo si concentra sulla gestione del sistema di controllo principale e assicura che tutto funzioni correttamente. Questo comprende il monitoraggio delle macchine e dei sistemi di acquisizione dati, nonché la risoluzione di eventuali problemi tecnici che potrebbero emergere.

La sala di controllo è costituita da varie postazioni e computer dedicati a diverse funzioni. Alcuni di questi computer sono utilizzati per il controllo diretto dell'esperimento, mentre altri sono dedicati all'acquisizione dei dati e alla diagnostica. Altri sono dedicati a seguire alcuni impianti, ad esempio il sistema di pompaggio da vuoto (in particolare lo stato delle pompe criogeniche potrebbe rapidamente peggiorare, causando l'interruzione dell'esperimento) oppure l'impianto di raffreddamento (il quale è critico per la sopravvivenza dei componenti affacciati al plasma ed al fascio). Gli esperti in diagnostica spesso utilizzano computer specifici per analizzare i risultati in tempo reale e contribuire al processo decisionale. In caso di difficoltà o di situazioni problematiche durante l'esperimento, sono previsti meccanismi di sicurezza che possono intervenire per evitare errori o situazioni pericolose. Ad esempio, i sistemi di sicurezza possono bloccare l'operatore se si verifica un errore significativo, come la rilevazione di valori fuori range per certi parametri. Inoltre, sensori dedicati possono rilevare situazioni di pericolo, come perdite di sostanze pericolose, per avvertire il personale e prendere le misure necessarie.

La gestione delle diagnostiche dedicata è un aspetto critico del processo. Durante la giornata sperimentale, le diagnostiche non sono sempre necessarie, ad esempio nelle fasi iniziali della giornata. Invece durante l'esecuzione delle scansioni, che potrebbero essere l'obiettivo di una certa giornata sperimentale, è desiderabile avere tutte le diagnostiche correttamente in operazione. Se si verificano problemi con i dispositivi di diagnostica, il responsabile della sperimentazione deve decidere se è necessario intervenire immediatamente o se l'operazione può proseguire senza quella diagnostica in quel giorno. Questa decisione dipende dall'urgenza e dall'importanza della diagnostica dedicata per gli obiettivi dell'esperimento. In sintesi, la gestione della sala controllo coinvolge una serie di ruoli chiave e componenti tecnici, tutti finalizzati al raggiungimento degli obiettivi dell'esperimento e alla sicurezza delle operazioni. La presenza di procedure di sicurezza e la gestione delle diagnostiche sono aspetti critici per garantire che le operazioni sperimentali si svolgano in modo efficiente e sicuro.

All'interno di ogni centro di ricerca, la condivisione delle informazioni rappresenta un aspetto di vitale importanza che permea ogni aspetto delle operazioni sperimentali. Questo principio si

estende dalla condivisione dei dati, alla trasmissione delle consegne, fino alla definizione degli obiettivi e delle campagne sperimentali. In altre parole, si tratta di un elemento onnipresente nella vita di tutti coloro che partecipano agli esperimenti, e la sua efficacia può variare a seconda del contesto.

Nel contesto delle campagne sperimentali e delle giornate di ricerca, è fondamentale coordinare gli sforzi dei ricercatori. Questo processo comporta l'organizzazione di riunioni settimanali o quindicinali, durante le quali i partecipanti collaborano per stabilire gli obiettivi da raggiungere. Durante queste riunioni, i ricercatori ricevono feedback da vari team, inclusi i diagnostici, e documentano in modo strutturato questi obiettivi attraverso e-mail e pagine condivise. Inoltre, per la natura stessa della sperimentazione con sorgenti di ioni negativi (influenza dello stato del condizionamento per esempio) oltre che per la natura prototipale degli impianti (unici nel loro genere), è necessario essere sempre aggiornati sui risultati della giornata precedente e di quella in corso. La documentazione dei progressi avviene tramite riunioni giornaliere o incontri informali. Per facilitare la comunicazione, si fanno ampio uso di strumenti di messaggistica e chiamate, consentendo la creazione di gruppi di discussione e l'organizzazione di riunioni. L'email rimane uno strumento comune per la comunicazione.

La sala di controllo rappresenta un ambiente chiave per il monitoraggio delle operazioni sperimentali. Durante i cambi di turno, si pianifica una sovrapposizione di mezz'ora tra il turno precedente e quello successivo. In questo breve lasso di tempo, i membri del team condividono dettagli relativi al lavoro svolto durante la giornata, discutono problemi riscontrati e identificano le operazioni future che richiedono particolare attenzione. Inoltre, i responsabili dei turni successivi si presentano con 15 minuti di anticipo per discutere in dettaglio le attività svolte e i compiti futuri.

3.2.4 Gestione della condivisione dei dati e della campagna sperimentale fra i ricercatori

La gestione dei dati ricavati dalle giornate sperimentali costituisce una parte importante del processo di condivisione delle informazioni. In molti casi, vi sono informazioni e dati classificati come sensibili, che non possono essere divulgati all'interno dell'organizzazione o all'esterno. Questi dati vengono conservati in directory con accesso ristretto, limitato solo alle persone autorizzate. Per la gestione di altri tipi di dati, si fanno ricorso a piattaforme web condivise. Queste piattaforme offrono uno spazio strutturato in cui è possibile condividere impressioni soggettive, grafici e commenti, fornendo una solida base per lo scambio di informazioni. In sintesi, la condivisione delle informazioni viene gestita in modo attento attraverso una combinazione di comunicazione strutturata, piattaforme web condivise e protocolli rigorosi per la gestione dei dati sensibili. Al termine di una campagna sperimentale, la condivisione delle analisi dei dati si organizza anche al fine di realizzare report o pubblicazioni scientifiche.

3.3 Procedimento di attuazione delle interviste ed estrapolazione delle informazioni relative all'approccio organizzativo dei due centri

3.3.1 Panoramica dei colloqui effettuati con i ricercatori

Durante il 2023, ho condotto interviste con i ricercatori di entrambi i centri di ricerca, identificando gli aspetti più critici che richiedono particolare attenzione. La tabella riporta un riassunto dei ricercatori intervistati

Tabella 3.3.1: colloqui effettuati

Intervistato/a	Laboratorio	Nazionalità	Sesso	Intervista in lingua
1	NBTF	italiana	F	italiana
2	NBTF	italiana	M	italiana
3	NBTF	italiana	M	italiana
4	NBTF	scozzese	M	Inglese
5	IPP Garching	tedesca	M	Inglese
6	IPP Garching	tedesca	M	inglese
7	IPP Garching	italiana	F	italiana
8	NBTF	italiana	M	italiana

Abbiamo individuato cinque aree fondamentali per garantire il corretto funzionamento delle giornate sperimentali:

- a. Definizione degli obiettivi scientifici/tecnici della campagna sperimentale
- b. Pianificazione degli esperimenti
- c. Gestione della sala controllo
- d. Organizzazione dei turni di lavoro dei ricercatori
- e. Condivisione di dati e informazioni

E stata creata una matrice delle priorità (Tabella 3.3.2) creata sulla base delle intervista attribuendo una votazione relativa di ciascuna area fondamentale in riga rispetto alle restanti aree fondamentali in colonna. Il voto va' da 1 (molto meno importante) a 5 (molto più importante), con 3 che significa ugualmente importante.

Attraverso l'analisi emerge che la condivisione delle informazioni e la gestione della sala di controllo sono gli aspetti predominanti per assicurare l'efficienza nell'esecuzione degli esperimenti.

Tabella 3.3.2

	Definizione obiettivi	Pianificazione esperimenti	Gestione sala controllo	Gestione turni	Condivisione dati	Somma pesata voti
Definizione obiettivi		3	2	4	2	11
Pianificazione esperimenti	3		2	4	1	10
Gestione sala controllo	4	4		5	3	16
Gestione turni	2	2	1		1	6
Condivisione dati	4	5	3	5		17

Dalle interviste è stato estrapolato un giudizio quantitativo riguardo le aree fondamentali nei loro ambiti di lavoro. Dai risultati ottenuti, emerge (come evidenziato nel Figura 3.3.1) che tranne per l'organizzazione dei turni di lavoro dei ricercatori, che ha una buona gestione in ambe i centri, la struttura di Monaco presenta in generale una migliore gestione rispetto al consorzio di Padova. In particolare la condivisione dei dati, che nella matrice della priorità risulta estremamente importante, risulta essere l'area critica del Consorzio.

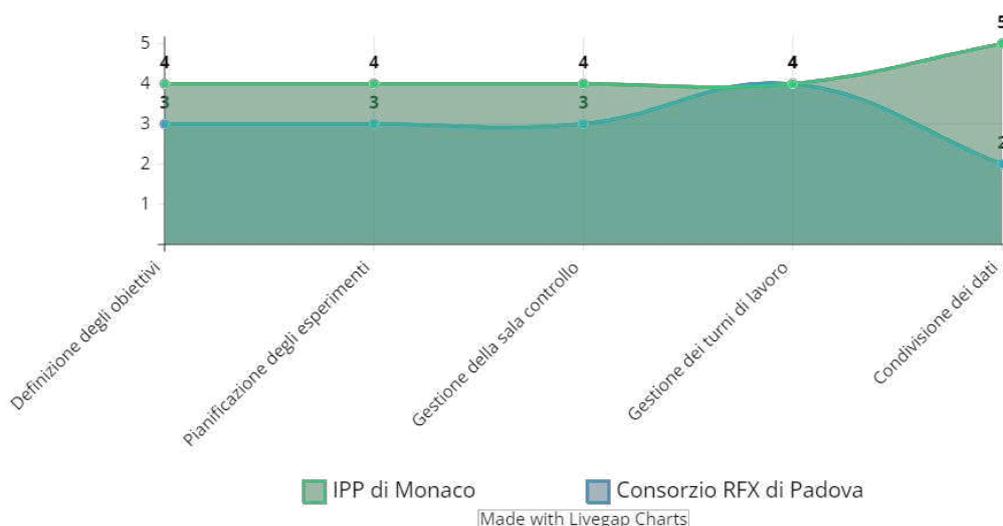


Figura 3.3.1 Grafico comparativo della media dei giudizi espressi dagli intervistati riguardo le aree fondamentali negli esperimenti sopra citati.

Questo ha suscitato il mio interesse nell'approfondire le differenze tra i due centri, nonostante adottino approcci simili, per comprendere le ragioni di tale disparità.

Per ciascuna "categoria" ho proposto determinate domande per cercare di capire quale è il fattore scatenante di tali differenze tra la gestione scientifica/sperimentale di SPIDER presso NBTF/Consorzio RFX, e quella di ELISE/BATMAN ad IPP Garching, Monaco.

Nelle sezioni seguenti discuterò i risultati delle interviste #1-#4,#8, a ricercatori che lavorano presso NBTF, e successivamente delle interviste #5-#7 a ricercatori che lavorano presso IPP Garching, Monaco.

3.3.2 Descrizione ed analisi dei colloqui effettuati con i ricercatori di NBTF

Per quanto riguarda la gestione delle operazioni ho sottoposto agli intervistati le seguenti domande:

- C'è una chiara comprensione degli obiettivi strategici dell'organizzazione?
- Comprendi qual è il tuo ruolo nel raggiungimento degli obiettivi del centro?
- Come avviene il lavoro di squadra?

Analizzando le risposte fornite dai ricercatori intervistati, emergono diverse sfaccettature che delineano il panorama complessivo della gestione degli obiettivi all'interno del centro di ricerca. La definizione degli obiettivi strategici si presenta come un punto di riflessione cruciale. Mentre alcuni intervistati notano chiarezza negli obiettivi a lungo termine, l'incertezza emerge a livello di obiettivi a breve termine. Tuttavia, è interessante notare che, nell'ambito specifico delle mansioni quotidiane, gli obiettivi risultano essere condivisi in modo più chiaro. Questa dualità potrebbe essere indicativa della necessità di una maggiore coerenza nella comunicazione degli obiettivi a tutti i livelli dell'organizzazione. La consapevolezza del proprio ruolo nel raggiungimento degli obiettivi emerge come un altro punto di discussione. Gli intervistati ammettono che all'inizio della giornata potrebbe mancare chiarezza sulle operazioni, ma ci sono sforzi in corso per migliorare la comunicazione e definire obiettivi ben definiti. Tuttavia, la variabilità nella definizione delle attività quotidiane, legata al cambiamento dei leader delle sessioni e dei coordinatori del sito, suggerisce che potrebbe essere necessario un maggiore sforzo per stabilire protocolli più consistenti e persistenti. La dinamica del lavoro di squadra, vitale in un contesto di ricerca scientifica, è analizzata attraverso la prospettiva delle interazioni e della comunicazione. Da un lato, si evidenziano esperienze positive, come il supporto reciproco senza disagi nelle turnazioni e la possibilità di contattarsi telefonicamente e seguire da remoto le diagnostiche, indicando un buon lavoro di gruppo. Dall'altro lato, si rileva una difficoltà nel passaggio di informazioni, specialmente nella sala di controllo, dove la chiarezza degli obiettivi sembra essere una sfida concreta. La mancanza di coinvolgimento di tutte le figure coinvolte e la necessità di un passaggio efficiente delle informazioni evidenziano un'area di miglioramento, suggerendo che la trasparenza e la coerenza nella comunicazione possono contribuire significativamente al successo di una campagna sperimentale.

Per quanto riguarda la pianificazione degli esperimenti e dell'intera campagna sperimentale ho sottoposto agli intervistati le seguenti domande:

- come avviene la condivisione della campagna?
- C'è una buona comprensione degli obiettivi?
- come avviene la pianificazione degli esperimenti?

Le interviste condotte presso il centro di ricerca hanno fornito un'affascinante panoramica sulla complessità della condivisione delle campagne sperimentali e sulla comprensione degli obiettivi all'interno dell'organizzazione. La comunicazione, vitale per il successo di qualsiasi progetto scientifico, emerge come un aspetto cruciale che richiede attenzione e miglioramento.

Una delle sfaccettature interessanti della condivisione delle campagne è la differenziazione della comunicazione a diversi livelli, a seconda degli obiettivi. Le "mindstorm ingegneristiche" vengono discusse e condivise tra ingegneri e tecnici, sottolineando un approccio gerarchico e sequenziale al processo. Gli ingegneri, responsabili dell'operatività della macchina, preparano il terreno per le "mindstorm scientifiche", un passo successivo che coinvolge i fisici. Tuttavia, emerge un punto critico: mentre la gestione strumentale e le mansioni scientifiche di analisi dati sono chiare, la condivisione delle informazioni nella seconda fase, quella più analitica, risulta meno strutturata. Un elemento che richiede attenzione è la mancanza di strutturazione nella comunicazione interna, soprattutto tra colleghi. Le riunioni scientifiche e operative, pur presentando risultati consolidati, mancano di un approccio proattivo durante la fase di definizione. Questo ha un impatto negativo sulla volontà di presentare i risultati, poiché il processo risulta meno coinvolgente e meno inclusivo. La proposta di riunioni più brevi e frequenti tra colleghi, focalizzate sull'aggiornamento delle attività in corso, potrebbe rappresentare una soluzione praticabile per stimolare la condivisione e l'interazione tra i membri del team. Un'altra problematica identificata è la mancanza di comunicazione efficace tra i responsabili di ambiti diversi. Questo porta a situazioni in cui i membri del team si trovano bloccati in attività non correlate o, al contrario, ignorati perché si presume siano già occupati altrove. La proposta di riunioni più frequenti tra i responsabili dei turni, con una rotazione più rapida, potrebbe risolvere questo problema, migliorando la coesione e la comprensione delle attività in corso.

Per quanto riguarda la gestione della sala controllo, ho sottoposto queste domande:

- come è gestita la sala controllo?
- in caso di difficoltà come si procede?
- il passaggio delle consegne presenta delle difficoltà?

La gestione della sala controllo all'interno del centro di ricerca scientifica emerge come un intricato labirinto di responsabilità, comunicazione e sfide dinamiche. Attraverso le interviste condotte, è emerso un quadro dettagliato che svela la complessità di questo ambiente operativo, evidenziando particolari criticità e punti di interesse.

Il cuore pulsante di questa operazione è rappresentato da quattro ruoli distinti, ciascuno con responsabilità specifiche. Il *Scientific Coordinator* guida la sperimentazione, comprendendo il contesto della campagna. Il *Scientific Leader* si occupa di impostare i parametri della macchina per ottenere risultati specifici. Il *Responsabile Operativo* si preoccupa della sicurezza dell'impianto e delle persone coinvolte. Infine, il *Tecnico per il Sistema di Controllo* si dedica alla gestione operativa dei sistemi di controllo. Tuttavia, l'effettiva dinamica di questo quadro organizzativo può risultare complessa e talvolta sfuggire al controllo. Emergono situazioni in cui le autorità vengono scavalcate, con richieste provenienti da varie fonti, inclusi dottorandi e figure gerarchiche superiori. Questa complessità può influenzare i piani di lavoro iniziali, portando a una flessibilità necessaria per adattarsi alle esigenze in continua evoluzione. Particolarmente significativa è la sfida legata al passaggio delle consegne. La riunione preliminare del turno successivo, sebbene progettata per facilitare una transizione fluida, può rivelare divergenze di interessi e obiettivi tra i membri del team. L'esperienza pregressa di alcuni partecipanti può influire sulle loro priorità, rendendo il coordinamento delle attività più complesso del previsto. Un elemento critico che emerge è la chiarezza degli obiettivi all'interno della sala di controllo. Nonostante la necessità di coinvolgere diverse persone per garantire il successo di una campagna sperimentale, sembra che solo un numero limitato di individui abbia una comprensione chiara degli obiettivi. Questa lacuna può causare difficoltà nel passaggio

delle informazioni e influenzare la continuità e l'efficacia dell'esperimento. Inoltre, l'efficacia della comunicazione è messa alla prova quando il passaggio delle consegne si svolge tra chi ha una connessione più approfondita con la campagna e chi è meno coinvolto. Questa discrepanza può portare a momenti di incertezza e attese, rallentando il flusso di lavoro e potenzialmente impattando i risultati dell'esperimento.

Infine, per quanto riguarda la condivisione delle informazioni ho sottoposto le seguenti domande:

- Fai spesso fatica a ottenere informazioni importanti che siano rilevanti per il tuo lavoro quotidiano?
- Il centro ti tiene informato sulle innovazioni e sui cambiamenti che ti riguardano direttamente?
- Hai abbastanza strumenti per comunicare con i tuoi colleghi?

Questo settore non solo identifica la problematica principale ma rappresenta anche un elemento chiave per il corretto funzionamento di un centro di ricerca. La gestione della condivisione delle informazioni e dei dati all'interno del centro di ricerca scientifica emerge come un aspetto cruciale, affrontando una serie di sfide che mettono in evidenza la complessità operativa e organizzativa dell'ambiente di lavoro. Attraverso le interviste condotte, emergono in modo evidente problematiche e lacune che richiedono un approccio strategico e una riflessione approfondita. Un'importante criticità si focalizza sulla mancanza di condivisione dei risultati durante il periodo di shutdown. I ricercatori mostrano una certa resistenza nel condividere informazioni sulle direzioni intraprese e sui programmi in corso. Questo sottolinea l'urgente necessità di stabilire una modalità più efficace e regolare di condivisione delle attività, magari attraverso riunioni periodiche coinvolgenti sia i fisici che gli ingegneri. Tali incontri potrebbero rappresentare un'opportunità per discutere le attività svolte, risolvere potenziali problematiche temporali e pianificare la direzione futura. Il tema della mancanza di condivisione tra colleghi emerge come un elemento ricorrente, con la proposta di introdurre riunioni più brevi ma regolari tra i fisici. Queste riunioni, concentrate sull'aggiornamento delle attività in corso, potrebbero agevolare la comunicazione orizzontale e offrire un'opportunità per risolvere le problematiche di coordinamento tra i responsabili di diversi ambiti. La scarsa strutturazione gerarchica, con una comunicazione prevalentemente unipolare, sottolinea l'importanza di identificare responsabili specifici e stabilire una struttura di comunicazione più chiara e accessibile. La gestione dei dati durante lo shutdown presenta ulteriori sfide, specialmente nella condivisione efficace delle informazioni tra i membri del gruppo. La mancanza di incontri periodici e la difficoltà di adattare riunioni di diversa dimensione e dettaglio sembrano avere un impatto negativo sulla comunicazione. L'individuazione dei responsabili risulta problematica a causa della crescita del gruppo e della gestione unipolare, enfatizzando l'importanza di strutturare una comunicazione più fluida e accessibile. La carenza di comunicazione orizzontale è un ulteriore punto di riflessione, evidenziato dal fatto che le attività dei colleghi sono spesso scoperte in ritardo, tramite riassunti delle attività degli ultimi sei mesi. Ciò sottolinea l'importanza di una comunicazione più aperta e sistematica, specialmente nelle fasi di pianificazione e definizione degli obiettivi. La difficoltà di condividere operazioni quotidiane, nonostante gli sforzi compiuti per migliorare la comunicazione, suggerisce che ulteriori iniziative potrebbero essere necessarie per garantire una comprensione chiara delle attività in corso.

3.3.3 Descrizione ed analisi dei colloqui effettuati con i ricercatori di IPP Garching

Terminata le interviste ai ricercatori del Consorzio ho presentato le stesse domande a due ricercatori del centro di ricerca IPP di Monaco in modo da capire cosa nell'effettivo differisce e quali fattori li permette di avere una gestione migliore ed ecco cosa è emerso: Il lavoro di squadra è al centro delle dinamiche organizzative del centro di Monaco. Le numerose riunioni settimanali e periodiche, focalizzate su passi e programmi a breve e lungo termine, indicano un impegno costante nella collaborazione e nella comunicazione. La gestione delle riunioni è resa più agevole da un orario fisso per gli appuntamenti regolari e da doodle o strumenti simili per pianificare quelli non regolari. La flessibilità organizzativa è stata ulteriormente rafforzata dalla regola post-Covid di un solo giorno di home office, enfatizzando l'importanza della presenza fisica per incoraggiare discussioni e interazioni scientifiche. La struttura delle riunioni, inclusi gruppi di lavoro dedicati, evidenzia la volontà di coinvolgere tutte le figure rilevanti, garantendo che le decisioni siano prese con una prospettiva completa. La chiarezza e la regolarità delle riunioni contribuiscono a mantenere un flusso di comunicazione fluido e a evitare possibili conflitti organizzativi. Il passaggio di consegna nella sala controllo è caratterizzato da una pianificazione preventiva, con discussioni all'inizio della settimana o la sera precedente. La suddivisione dei compiti è ben organizzata, garantendo una transizione senza intoppi tra i membri del team. La chiarezza sulle attività da svolgere, derivante dalle discussioni settimanali, facilita il passaggio di consegna. Le attività durante il periodo di shutdown riflettono una gestione pragmatica delle risorse. Gli scienziati si concentrano sull'analisi dei dati registrati, miglioramenti delle macchine e pianificazione futura, dimostrando una capacità di sfruttare al meglio il tempo libero della strumentazione. La flessibilità e la diversificazione delle attività testimoniano un approccio strategico alla gestione dei periodi di inattività.

La struttura gerarchica delineata nell'intervista rivela un approccio piatto e collaborativo all'interno del MaxPlanck Institute, un gruppo tedesco di istituti di ricerca. Il partecipante inizia con una panoramica chiara della gerarchia presente all'interno dell'istituto, presentando tre figure chiave: il capo dell'intero istituto, il capo divisione, e il capogruppo. Il vertice della gerarchia è occupato dal capo dell'intero istituto, che detiene l'autorità e la responsabilità principali sull'intero organismo. Questa figura, seppur coinvolta, si distingue per la partecipazione a discussioni di alto livello, indicando un ruolo più strategico e orientato alla visione complessiva dell'istituto. Segue il capo divisione, che sovrintende alle attività di una specifica divisione scientifica. Il coinvolgimento del capo divisione nelle discussioni settimanali suggerisce una partecipazione attiva alla vita operativa dell'istituto, seppur con un focus più mirato sulla gestione di una divisione specifica. Infine, il capogruppo, rappresentante a livello più dettagliato, partecipa anch'esso alle discussioni settimanali. Questo ruolo sembra avere un'impronta più operativa, concentrandosi su specifici gruppi di lavoro o esperimenti. Tuttavia, il partecipante sottolinea che, nonostante le designazioni gerarchiche come capo divisione, capogruppo, e capo esperimento, la dinamica delle discussioni è aperta e collaborativa. La definizione di una struttura più "piatta" suggerisce che, nonostante le distinzioni gerarchiche formali, vi sia un clima di parità nella conduzione delle discussioni. L'approccio orientato al dialogo e alla collaborazione si manifesta nel fatto che, durante le discussioni, tutti i livelli gerarchici si riuniscono per discutere e prendere decisioni in maniera condivisa. Complessivamente, la gerarchia delineata nell'intervista riflette un modello organizzativo che promuove la partecipazione di diversi livelli decisionali alle discussioni settimanali, suggerendo una gestione più inclusiva e orizzontale all'interno del MaxPlanck

Institute. Gli aspetti positivi del centro di Monaco sono evidenti nella flessibilità operativa e nella capacità di adattare il programma sperimentale in base alle scoperte quotidiane. La mancanza di aspetti negativi sottolinea un ambiente organizzativo ben strutturato e orientato al raggiungimento degli obiettivi comuni. Infine, la definizione degli obiettivi a lungo termine emerge come un processo articolato, suddiviso in discussioni biennali, riunioni di team specifici e incontri settimanali. La chiarezza nella pianificazione riflette la consapevolezza dell'importanza di definire e perseguire obiettivi a lungo termine. Complessivamente, il centro di Monaco emerge come un esempio di eccellenza organizzativa, evidenziando la centralità della comunicazione, del lavoro di squadra e della flessibilità nel contesto della ricerca scientifica.

Perciò dalle interviste condotte nei due centri emerge una differenza significativa nella condivisione delle informazioni tra l'IPP di Monaco e il Consorzio di Padova. Questa disparità è attribuibile a una gerarchia poco strutturata, a meeting carenti in organizzazione e struttura, nonché a un passaggio di consegne poco organizzato nella sala di controllo. Il Centro di Monaco si contraddistingue per una struttura organizzativa più efficace e una comunicazione chiara.

4 Conclusione

In conclusione, il presente studio si è focalizzato sulla operazione dei prototipi degli iniettori di neutri in corso di sviluppo per il reattore a fusione ITER, ha delineato in maniera approfondita le sfide e le opportunità in questo avanzato campo scientifico. L'analisi si è concentrata sulle peculiarità tecniche e scientifiche di questi esperimenti, e sulle strategie organizzative e gestionali adottate dal Consorzio RFX di Padova e dall'Istituto Max Planck di fisica del plasma a Monaco, approfondendo i progetti MITICA e SPIDER a Padova e BATMAN a Monaco.

La prospettiva della fusione nucleare come fonte di energia sostenibile è stata sottolineata, evidenziando il suo potenziale nel risolvere le sfide ambientali legate all'uso prolungato di combustibili fossili. Tuttavia, il raggiungimento di una fusione nucleare stabile è stato riconosciuto come un compito complesso, richiedendo sforzi concentrati e innovative strategie.

L'analisi comparativa dei processi nei due centri di ricerca ha rivelato differenze significative nelle politiche di gestione, nelle strategie organizzative e nell'efficienza operativa degli esperimenti SPIDER e ELISE/BATMAN. Nonostante il contributo sostanziale di entrambi i centri allo sviluppo della fusione nucleare, la ricerca ha identificato alcune debolezze nell'approccio del Consorzio RFX di Padova. Problemi di condivisione delle informazioni, definizione poco chiara degli obiettivi e gestione della sala di controllo durante le giornate sperimentali sono state individuate come aree di miglioramento.

Le interviste condotte con i ricercatori di entrambi i centri hanno arricchito la comprensione delle dinamiche interne, evidenziando la necessità di una maggiore coerenza nella comunicazione degli obiettivi e di soluzioni praticabili per migliorare la condivisione delle informazioni. La gestione della sala di controllo è emersa come un'area critica, dove la complessità degli ambienti operativi richiede una comunicazione più efficace e una definizione chiara dei ruoli.

Le raccomandazioni specifiche fornite alla fine dello studio mirano a migliorare i risultati nell'R&D (research and development) delle sorgenti per ITER presso il Consorzio RFX di Padova, prendendo spunto dalle best practice identificate nel contesto di IPP Garching, Monaco. Queste raccomandazioni includono riunioni più brevi e frequenti per potenziare la comunicazione interna, una maggiore coerenza nella definizione degli obiettivi e soluzioni pratiche per affrontare le sfide della gestione della sala di controllo.

In sintesi, la ricerca ha fornito una comprensione approfondita degli approcci organizzativi nel campo della fusione nucleare. Il confronto tra i due centri ha individuato aree di miglioramento, fornendo raccomandazioni concrete per ottimizzare le operazioni e le politiche strategiche del Consorzio RFX di Padova. L'analisi dettagliata delle dinamiche organizzative e gestionali presso il Consorzio di Padova e il Max Planck Institute di Monaco ha evidenziato sfide e successi cruciali che caratterizzano la conduzione degli esperimenti scientifici complessi.

Le quattro aree identificate, gestione delle operazioni, pianificazione degli esperimenti e dell'intera campagna sperimentale, gestione della sala controllo e condivisione dei dati e della campagna sperimentale, sono state riconosciute come centrali per il successo degli esperimenti. L'analisi dettagliata di queste aree ha sottolineato l'importanza della definizione di obiettivi

strategici, della comunicazione interna, del coordinamento nella sala di controllo e della condivisione efficace dei dati sensibili.

Il confronto tra il Consorzio di Padova e il Max Planck Institute di Monaco ha evidenziato differenze significative nelle dinamiche organizzative, con Monaco che presenta una struttura gerarchica più piatta e un maggiore impegno nel lavoro di squadra. Tuttavia, entrambi i centri possono trarre vantaggio dall'implementazione di strategie per migliorare la comunicazione, la condivisione delle informazioni e la definizione chiara degli obiettivi, contribuendo così a ottimizzare le operazioni sperimentali e il raggiungimento degli obiettivi scientifici.

In conclusione, emerge chiaramente che l'approccio riflessivo, la flessibilità e l'impegno per il miglioramento continuo sono elementi chiave per affrontare le sfide nel campo della ricerca scientifica, specialmente in contesti complessi come quelli legati alla fusione nucleare

Allegato: riassunti delle interviste

Si allega la sintesi delle interviste da 1 a 6.

Intervistato #1

In risposta alle domande, abbiamo ottenuto le seguenti risposte;

Comprensione degli obiettivi strategici:

Ella sottolinea la sua chiara comprensione degli obiettivi strategici dell'organizzazione, sottolineando il loro ruolo cruciale nel dirigere le attività del centro.

Contributo agli obiettivi del Centro:

Dimostra di essere consapevole del proprio ruolo nel perseguire gli obiettivi del centro, evidenziando il proprio coinvolgimento in progetti e obiettivi specifici.

Assegnazione dei compiti:

Ella osserva che l'assegnazione dei compiti è in genere comunicata con chiarezza e spesso tiene conto delle competenze e della disponibilità.

Enfasi sulla collaborazione:

Sottolinea l'importanza del lavoro di squadra e della collaborazione, citando spesso riunioni regolari del team e la condivisione delle responsabilità del progetto.

Obiettivi scientifici e tecnici:

Ella spiega che gli obiettivi scientifici sono generalmente formulati dai ricercatori senior e comunicati efficacemente a tutto il team.

Trasmissione degli obiettivi della campagna:

Indica che gli obiettivi della campagna vengono trasmessi attraverso riunioni e procedure documentate, garantendo l'allineamento tra i ricercatori.

Pianificazione degli esperimenti:

Ella afferma che gli esperimenti sono pianificati in modo collaborativo, incorporando strategie a breve e a lungo termine.

Affrontare gli obiettivi non soddisfatti:

Parla di un approccio sistematico alla risoluzione degli obiettivi non raggiunti, che prevede un feedback e gli aggiustamenti necessari.

Accessibilità delle informazioni:

Ella incontra occasionalmente difficoltà nell'accedere a informazioni cruciali, ma riconosce gli sforzi continui dell'organizzazione per migliorare la diffusione delle informazioni.

Struttura decisionale:

Esiste una struttura decisionale gerarchica che garantisce decisioni rapide, anche quando le questioni vanno oltre la sua autorità immediata.

Strumenti di comunicazione:

Diversi strumenti di comunicazione, tra cui e-mail, applicazioni di messaggistica e software di gestione dei progetti, facilitano una collaborazione efficiente.

Gestione della sala di controllo:

Fornisce informazioni su una sala di controllo ben strutturata con ruoli personalizzati per allinearsi ai requisiti specifici di ogni esperimento.

Affrontare le sfide:

Le sfide vengono affrontate prontamente attraverso la collaborazione collettiva e la risoluzione efficace dei problemi all'interno del team.

Programmazione dei turni:

I turni vengono assegnati mensilmente con ampio preavviso e per la gestione dei turni viene utilizzato uno strumento dedicato.

Aree di miglioramento:

Ella riferisce di occasionali problemi di comunicazione e offre suggerimenti costruttivi per migliorare la condivisione delle informazioni.

Intervistato #2**Comprensione degli obiettivi strategici**

Egli esprime una forte comprensione degli obiettivi strategici dell'organizzazione, sottolineandone l'allineamento con il suo lavoro.

Ruolo nel raggiungimento degli obiettivi del Centro

Articola il suo ruolo in modo chiaro, sottolineando la sua dedizione alla promozione degli obiettivi del centro.

Assegnazione del lavoro

Egli osserva che le mansioni sono flessibili, spesso basate sui punti di forza individuali, e vengono assegnate con una frequenza moderata.

Lavoro di squadra

Sottolinea la cultura collaborativa del team, con riunioni regolari e responsabilità condivise.

Obiettivi tecnico-scientifici

Egli spiega che l'organizzazione definisce in modo collaborativo gli obiettivi scientifici e gli obiettivi tecnici vengono allineati di conseguenza.

Condivisione degli obiettivi della campagna

Gli obiettivi della campagna vengono comunicati attraverso riunioni e documentazione, assicurando la comprensione dei ricercatori.

Pianificazione degli esperimenti

Egli sottolinea un approccio equilibrato alla pianificazione degli esperimenti, combinando strategie a breve e a lungo termine.

Gestire gli obiettivi non raggiunti

L'organizzazione incoraggia un approccio di problem solving per affrontare gli obiettivi non raggiunti.

Accessibilità delle informazioni

Egli osserva che l'accesso alle informazioni rilevanti per il lavoro quotidiano è generalmente agevole, grazie a una comunicazione efficace.

Autorità decisionale

Esiste una gerarchia decisionale ben definita, che consente di prendere decisioni rapide anche al di fuori della sua autorità.

Strumenti di comunicazione

Egli cita una serie di strumenti di comunicazione disponibili, che facilitano una collaborazione efficiente.

Gestione della sala di controllo

Descrive una sala di controllo ben strutturata con ruoli specifici adattati alle esigenze degli esperimenti.

Gestione delle difficoltà

Le difficoltà vengono affrontate collettivamente, con particolare attenzione alla collaborazione e alla risoluzione dei problemi.

Gestione dei turni

I turni vengono assegnati mensilmente con ampio preavviso e uno strumento supporta la gestione dei turni.

Aspetti negativi

Egli cita alcune piccole difficoltà legate alla comunicazione, ma nel complesso esprime soddisfazione per l'operato dell'organizzazione.

Intervistato #3

Comprensione degli obiettivi strategici

Egli riconosce una certa consapevolezza degli obiettivi strategici dell'organizzazione, ma esprime il desiderio di una maggiore chiarezza e comunicazione riguardo a questi obiettivi.

Ruolo nel raggiungimento degli obiettivi del Centro

Descrive il suo ruolo in termini generali, ma ritiene che potrebbe essere meglio definito nel contesto degli obiettivi più ampi del centro.

Assegnazione del lavoro

Egli ritiene che gli incarichi di lavoro siano a volte poco chiari e si verificano di rado, con conseguenti problemi nella distribuzione del carico di lavoro.

Lavoro di squadra

Sottolinea che il lavoro di squadra è essenziale, ma cita occasionali problemi di collaborazione dovuti a ruoli poco chiari.

Obiettivi tecnico-scientifici

Antonio suggerisce che gli obiettivi scientifici devono essere comunicati meglio per garantire l'allineamento con gli obiettivi tecnici.

Condivisione degli obiettivi della campagna

Gli obiettivi della campagna, a suo avviso, dovrebbero essere condivisi in modo più trasparente con i ricercatori per migliorare la comprensione.

Pianificazione degli esperimenti

Antonio sottolinea l'importanza della pianificazione a lungo termine, ma ritiene che la pianificazione a breve termine debba essere migliorata.

Gestire gli obiettivi non raggiunti

Secondo lui, l'organizzazione ha bisogno di un approccio più strutturato per affrontare efficacemente gli obiettivi non raggiunti.

Accessibilità delle informazioni

Egli a volte fatica ad accedere a informazioni cruciali, il che influisce sul suo lavoro quotidiano.

Autorità decisionale

Egli afferma che il processo decisionale può essere lento e che c'è spazio per migliorare lo snellimento del processo.

Strumenti di comunicazione

Sebbene siano disponibili strumenti di comunicazione, egli suggerisce che potrebbero esserci strumenti più efficaci per una migliore collaborazione.

Gestione della sala di controllo

Ritiene che la gestione della sala di controllo sia adeguata, ma ritiene che ci sia un potenziale per ottimizzare i ruoli in base alle specificità dell'esperimento.

Gestione delle difficoltà

Le difficoltà vengono generalmente risolte in modo collaborativo, con alcune aree in cui è possibile apportare miglioramenti.

Gestione dei turni

Le assegnazioni dei turni sono mensili, ma potrebbero beneficiare di un migliore preavviso e di un supporto strumentale.

Aspetti negativi

Egli evidenzia come aree di miglioramento le sfide legate a incarichi poco chiari e a lacune nella comunicazione.

Intervistato #4

Comprensione degli obiettivi strategici

Egli riconosce una solida comprensione degli obiettivi strategici dell'organizzazione e della loro rilevanza per il suo lavoro.

Ruolo nel raggiungimento degli obiettivi del Centro

Descrive il suo ruolo come fondamentale per il raggiungimento degli obiettivi del centro e ritiene che si allinei bene con gli obiettivi dell'organizzazione.

Assegnazione del lavoro

Egli percepisce gli incarichi di lavoro come chiari e frequenti, contribuendo a un carico di lavoro ben bilanciato.

Lavoro di squadra

Egli elogia la cultura del lavoro di squadra dell'organizzazione e l'efficacia delle riunioni periodiche del team.

Obiettivi tecnico-scientifici

Egli osserva che gli obiettivi scientifici e tecnici sono ben definiti e integrati.

Condivisione degli obiettivi della campagna

Gli obiettivi della campagna sono condivisi in modo trasparente con i ricercatori, garantendo una visione comune.

Pianificazione degli esperimenti

Sottolinea l'importanza di una pianificazione a breve e a lungo termine, ben eseguita.

Gestire gli obiettivi non raggiunti

L'organizzazione ha un approccio proattivo per affrontare gli obiettivi non raggiunti, abbracciando l'adattabilità.

Accessibilità delle informazioni

Egli ha un facile accesso alle informazioni essenziali, con notevoli vantaggi per il suo lavoro quotidiano.

Autorità decisionale

Il processo decisionale è semplificato, con un'autorità chiara, che garantisce risoluzioni tempestive.

Strumenti di comunicazione

Cita una serie di strumenti di comunicazione efficaci che facilitano la collaborazione senza soluzione di continuità.

Gestione della sala di controllo

Egli descrive una sala di controllo altamente organizzata, con ruoli adattati alle specificità dell'esperimento.

Gestione delle difficoltà

Le sfide vengono affrontate rapidamente grazie a una collaborazione efficace e alla risoluzione dei problemi.

Gestione dei turni

L'assegnazione mensile dei turni con ampio preavviso e l'efficiente supporto degli strumenti contribuiscono a un processo senza intoppi.

Aspetti negativi

Egli riporta pochissimi aspetti negativi, concentrandosi principalmente su piccoli miglioramenti della comunicazione.

Intervistato #5**Comprensione degli obiettivi strategici:**

Egli dimostra una comprensione completa degli obiettivi strategici dell'organizzazione, sottolineando il loro ruolo centrale nel guidare le operazioni del centro.

Contributi agli obiettivi del Centro:

Mostra una chiara consapevolezza del suo ruolo nel perseguire gli obiettivi del centro, evidenziando in modo eloquente il suo impegno attivo in progetti e obiettivi specifici.

Assegnazione dei compiti:

Egli illustra la comunicazione meticolosa degli incarichi, tenendo conto di fattori quali la competenza e la disponibilità.

Enfasi sugli sforzi di collaborazione:

Sottolinea l'importanza della collaborazione e del lavoro di squadra, alludendo spesso al valore di riunioni regolari del team e alla distribuzione equa delle responsabilità del progetto.

Obiettivi scientifici e tecnici:

Egli si sofferma sulla formulazione collaborativa degli obiettivi scientifici da parte dei ricercatori senior, che vengono diffusi efficacemente a tutto il team.

Trasmissione degli obiettivi della campagna:

Egli fornisce dettagli sulla trasmissione trasparente degli obiettivi della campagna attraverso riunioni e procedure ben documentate, garantendo l'allineamento tra i ricercatori.

Pianificazione degli esperimenti:

Egli fa luce sulla natura collaborativa della pianificazione degli esperimenti, incorporando strategie sia a breve che a lungo termine.

Affrontare gli obiettivi non raggiunti:

Egli descrive un approccio sistematico alla risoluzione degli obiettivi non raggiunti, che prevede meccanismi di feedback e gli aggiustamenti necessari.

Accessibilità delle informazioni:

Riconosce le difficoltà occasionali nell'accesso alle informazioni vitali, ma sottolinea i continui sforzi dell'organizzazione per migliorare la diffusione delle informazioni.

Gerarchia decisionale:

Egli afferma l'esistenza di una struttura decisionale gerarchica che assicura risoluzioni tempestive, anche quando le questioni esulano dalla sua immediata autorità.

Utilizzo degli strumenti di comunicazione:

Sottolinea il ruolo fondamentale svolto dai vari strumenti di comunicazione, tra cui la posta elettronica, le applicazioni di messaggistica e i software di gestione dei progetti, nel facilitare una collaborazione efficiente.

Gestione della sala di controllo:

Egli fornisce informazioni sulla sala di controllo ben strutturata, dove i ruoli sono personalizzati per allinearsi ai requisiti specifici di ogni esperimento.

Gestione delle sfide:

Sottolinea la pronta risoluzione delle sfide attraverso la collaborazione collettiva e la risoluzione efficace dei problemi all'interno del team, mostrando un approccio proattivo al superamento delle difficoltà.

Programmazione dei turni:

Egli spiega che i turni vengono assegnati sistematicamente su base mensile con largo anticipo, con il supporto di uno strumento dedicato.

Aree da migliorare: Riconosce le occasionali difficoltà di comunicazione e offre suggerimenti costruttivi per migliorare la condivisione delle informazioni, indicando un impegno al miglioramento continuo.

Intervistato #6**Comprensione degli obiettivi strategici:**

Come l'intervistato 5, anche l'intervistato 6 trasmette una profonda comprensione degli obiettivi strategici dell'organizzazione, sottolineando il loro ruolo centrale nel guidare le attività del centro.

Contributi agli obiettivi del Centro:

Dimostra inoltre una chiara consapevolezza del proprio ruolo nel perseguire gli obiettivi del centro, articolando il proprio coinvolgimento attivo in progetti e obiettivi specifici.

Assegnazione dei compiti:

Egli fa eco all'idea che le assegnazioni dei compiti sono tipicamente comunicate con precisione, tenendo conto di fattori come la competenza e la disponibilità.

Enfasi sugli sforzi di collaborazione:

Sottolinea l'importanza della collaborazione e del lavoro di squadra, sottolineando spesso il valore di riunioni regolari del team e l'equa distribuzione delle responsabilità del progetto.

Obiettivi scientifici e tecnici:

Egli illustra la formulazione collaborativa degli obiettivi scientifici da parte dei ricercatori senior, assicurandone l'effettiva diffusione all'interno del team.

Trasmissione degli obiettivi della campagna:

Egli fornisce indicazioni sulla trasmissione trasparente degli obiettivi della campagna attraverso riunioni e procedure ben documentate, garantendo l'allineamento tra i ricercatori.

Pianificazione degli esperimenti:

Egli descrive la natura collaborativa della pianificazione degli esperimenti, che comprende strategie a breve e a lungo termine.

Affrontare gli obiettivi non raggiunti:

Il relatore illustra un approccio sistematico alla risoluzione degli obiettivi non raggiunti, che prevede meccanismi di feedback e gli aggiustamenti necessari.

Accessibilità delle informazioni:

Egli riconosce le sfide occasionali nell'accesso alle informazioni cruciali, ma sottolinea i continui sforzi dell'organizzazione per migliorare la diffusione delle informazioni.

Gerarchia decisionale:

Egli afferma la presenza di una struttura decisionale gerarchica che assicura decisioni tempestive, anche quando le questioni vanno oltre la sua immediata autorità.

Utilizzo degli strumenti di comunicazione:

Analogamente all'intervistato #5, egli sottolinea il ruolo fondamentale svolto dai vari strumenti di comunicazione nel facilitare una collaborazione efficiente.

Gestione della sala di controllo:

Egli fornisce informazioni sulla sala di controllo ben strutturata, dove i ruoli sono personalizzati per allinearsi ai requisiti specifici di ogni esperimento.

Gestione delle sfide:

Sottolinea la pronta risoluzione delle sfide attraverso la collaborazione collettiva e la risoluzione efficace dei problemi all'interno del team, mostrando un approccio proattivo al superamento delle difficoltà.

Programmazione dei turni:

Egli spiega che i turni vengono assegnati sistematicamente su base mensile con largo anticipo, con il supporto di uno strumento dedicato.

Aree da migliorare:

Anche lui riconosce le occasionali difficoltà di comunicazione ed esprime l'impegno a migliorare la condivisione delle informazioni, sottolineando la dedizione al miglioramento continuo.

Riferimenti

8° simposio internazionale su ioni negativi, fasci e sorgenti - NIBS'22. (nd). Indico. <https://indico.cern.ch/event/1098715/contributi/>

A. Maistrello et al., Fusion Eng. Des. 131, 96 (2018).

A. Mimo; C. Wimmer; D. Wunderlich; U. Fantz, Modelling of caesium dynamics in the negative ion sources at BATMAN and ELISE AIP Conference Proceedings 1869, 030019 (2017) <https://doi.org/10.1063/1.4995739>

A. Pimazzoni et al., Assessment of the SPIDER beam features by diagnostic calorimetry and thermography, presented at ICIS 2019, submitted to Rev. Sci. Instrum.

Alberts, B. (2002). Canali ionici e proprietà elettriche delle membrane. *Biologia molecolare della cellula* - Libreria NCBI. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK26910/>

B. Bigot, Nucl. Fusion 59, 112001 (2019).

B. Zaniol et al., Rev. Sci. Instrum. 91, 013103 (2020).

Bacal, M. e Wada, M. (2020). Funzionamento della sorgente di ioni negativi con deuterio. *Scienza e tecnologia delle fonti di plasma*, 29(3), 033001. <https://doi.org/10.1088/1361-6595/ab6881>

Bacal, M., Sasao, M. e Wada, M. (2021). Sorgenti di ioni negativi. Edizioni AIP. <https://doi.org/10.1063/5.0049289>

C. Poggi et al., Design and development of an Allison type emittance scanner for the SPIDER ion source, presented at ICIS 2019, submitted to Rev. Sci. Instrum.

Cos'è la fusione nucleare?(nd). <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-is-nuclear-fusion>

Cristofaro, S. (2021). Densità negativa degli ioni idrogeno e deuterio in un plasma a bassa pressione davanti a una superficie del convertitore in diverse funzioni di lavoro. MDPI. <https://doi.org/10.3390/plasma4010007>

E. Sartori et al., Fusion Eng Des. 151, 111398 (2020).

E. Sartori et al., Plasma Fusion Res. 13, 3405092 (2018).

Fantz, U., Briefi, S., Heiler, A., Wimmer, C. e Wunderlich, D. (2021). Sorgenti di ioni idrogeno negativi per la fusione: dalla generazione del plasma alle proprietà del fascio. *Frontiere*. <https://doi.org/10.3389/fphy.2021.709651>

Fusione nucleare: WNA - World Nuclear Association. (nd). <https://world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-fusion-power.aspx>

G. Serianni et al., Fusion Eng. Des. 146, 2539 (2019).

Ghaith, A., Couprie, ME, Oumbarek-Espinos, D., Andriyash, I., Massimo, F., Clarke, J., Courthold, M., Bayliss, V., Bernhard, A., Trunk, M., Valléau, M., Marcouillé, O., Chancé, A., Licciardi, S., Malka, V., Nguyen, F., & Dattoli, G. (2021). Progettazione di un onduttore per

un laser a elettroni liberi basato su plasma laser. *Rapporti di fisica*, 937, 1–73. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2021.09.001>

H. Tobar et al 2018 Completion of dc 1 MV power supply system for ITER neutral beam test facility, Preprint: 2018 IAEA Fusion Energy Conf. (Gandhinagar, India, 22–27 October 2018) FIP/1-10.

Heinemann, B., Wunderlich, D., Kraus, W., Bonomo, F., Fantz, U., Fröschle, M., Mario, I., Riedl, R., & Wimmer, C. (2019a). Realizzazioni dell'impianto di prova ELISE in vista dell'ITER NBI. *Ingegneria e progettazione della fusione*, 146, 455–459. <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2018.12.090>

Heinemann, B., Wunderlich, D., Kraus, W., Bonomo, F., Fantz, U., Fröschle, M., Mario, I., Riedl, R., & Wimmer, C. (2019b). Realizzazioni dell'impianto di prova ELISE in vista dell'ITER NBI. *Ingegneria e progettazione della fusione*, 146, 455–459. <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2018.12.090>

Hopf, C., Starnella, G., Harder, ND e Fantz, U. (2021). Iniezione di fasci neutri per reattori a fusione: vincoli tecnologici rispetto ai requisiti funzionali. *Fusione nucleare*, 61(10), 106032. <https://doi.org/10.1088/1741-4326/ac227a>

Kuriyama, M., Akino, N., Aoyagi, T., Ebisawa, N., Fujiwara, Y., Isozaki, N., Honda, A., Inoue, T., Itoh, T., Kawai, M., Kazawa, M., Koizumi, J., Miyamoto, K., Miyamoto, N., Mogaki, K., Ohara, Y., Ohga, T., Okumura, Y., Oohara, H., . . . Yamazaki, T. (1997a). Funzionamento iniziale del raggio del sistema NBI basato su ioni negativi da 500 keV per JT-60U. eBook Elsevier, 693–696. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-82762-3.50143-9>

Kuriyama, M., Akino, N., Aoyagi, T., Ebisawa, N., Fujiwara, Y., Isozaki, N., Honda, A., Inoue, T., Itoh, T., Kawai, M., Kazawa, M., Koizumi, J., Miyamoto, K., Miyamoto, N., Mogaki, K., Ohara, Y., Ohga, T., Okumura, Y., Oohara, H., . . . Yamazaki, T. (1997b). Funzionamento iniziale del raggio del sistema NBI basato su ioni negativi da 500 keV per JT-60U. eBook Elsevier, 693–696. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-82762-3.50143-9>

L. Zanotto et al., *Fusion Eng. Des.* 146, 2238 (2019).

Lezioni apprese da SPIDER, una sorgente di ioni negativi a grandezza naturale. (2022, 24 gennaio). ITER. <https://www.iter.org/newsline/-/3710>

M. Barbisan et al., *Fusion Eng. Des.* 146, 2707 (2019).

M. Cavenago et al., *Rev. Sci. Instrum.* 91, (2020) 013316.

P. Franzen et al., *Plasma Phys. Control. Fusion* 56, 025007 (2014).

R. Pasqualotto et al., *Fusion Eng. Des.* 146, 709 (2019).

S. Cristofaro et al., *Rev. Sci. Instrum.* 90, 113504 (2019).

Serianni, G., Agostinetti, P., Agostini, M., Antoni, V., Aprile, D., Baltador, C., Barbisan, M., Brombin, M., Cavenago, M., Chitarin, G., Palma, MD, Delogu, R., Fellin, F., Fonnesu, N., Marconato, N., Pasqualotto, R., Pimazzoni, A., Sartori, E., Spagnolo, S., . . . Zaupa, M. (2017).

Neutralizzazione e trasporto di fasci di ioni negativi: fisica e diagnostica. *Nuovo giornale di fisica*, 19(4), 045003. <https://doi.org/10.1088/1367-2630/aa64bd>

SPIDER - *Consorzio RFX*. (2021, 23 settembre). Consorzio RFX. <https://www.igi.cnr.it/it/ricerca/iniezione-di-fasci-neutri-di-ioni-negativi/spider/>

Toigo, V., Boilson, D., Bonicelli, T., Piovan, R., Hanada, M., Chakraborty, A., Agarici, G., Antoni, V., Baruah, U., Bigi, M., Chitarin, G., Bello, SD, Decamps, H., Graceffa, J., Kashiwagi, M., Hemsworth, RS, Luchetta, A., Marcuzzi, D., Masiello, A., . . . Roopesh, G. (2015). Avanzamento nella realizzazione dell'impianto di prova a fascio neutro PRIMA. *Fusione nucleare*, 55(8), 083025. <https://doi.org/10.1088/0029-5515/55/8/083025>

Vantaggi della fusione. (nd). ITER. <https://www.iter.org/sci/Fusione>

Zamengo, A., Bigi, M., Maistrello, A., & Recchia, M. (2021). Sistema di alimentazione per grandi sorgenti di ioni negativi: prima esperienza operativa dell'esperimento SPIDER. *Ingegneria e progettazione della fusione*, 173, 112790. <https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2021.112790>