

Intriduzione al IV meeting Campagna di Analisi di FTU

Francesco Paolo Orsitto

ENEA C R Frascati Aula B Brunelli

16 dic 2024 ore 10.30

Introduzione e contesto

Le conoscenze prodotte dal lavoro svolto su FTU sono uniche e per molti aspetti ancora da sintetizzare.

Infatti , Non esiste un luogo (articolo di rivista, oppure un volume di una rivista) in cui siano sintetizzate le conoscenze prodotte da FTU dal 2005 al 2022.

Ci sono gli articoli di rivista pubblicati come overviews IAEA in tale periodo 2005-2022 .

Inoltre un volume di Fusion Science and Technology (vol 45 , Nr.3 may 2004) e' stato dedicato alle conoscenze acquisite e pubblicate tra il 1990 ed il 2004 su FTU

Campagna di analisi di FTU

La proposta consiste nella realizzazione di un volume analogo al vol 45 di FUSION SCIENCE and TECHNOLOGY in cui si riassumano I risultati di FTU dal 2005 al 2022 (18 anni) nelle varie topiche .

Per tale obiettivo potrebbe essere utile la organizzazione di una campagna di analisi dei dati di FTU della durata di tre mesi , definendo delle topiche con dei responsabili .

Obiettivo di tale campagna e' quello di consolidare gli elementi di novità prodotte da FTU nel periodo 2005-2022 ed **arrivare ad una sintesi delle conoscenze prodotte su FTU.**

Topics .

Per ogni topica un gruppo di lavoro .

- 1. Le topiche seguenti estratte dalla analisi delle Nuclear Fusion Overviews(NFO) di FTU dal 2005 al 2022 possono essere prese come riferimento preliminare per il lavoro della campagna di analisi:
- Physics and technology of RF heating systems
- Operation at high density
- MHD and its Stabilization by ECRH
- Diagnostics
- Liquid Lithium Limiter experiments
- Runaways (REIS)
- Impurity seeding
- **Operazione e controlli (nuova)**
- **Theory**

Metodo di lavoro

- 2. Nella stesura del volume 45 di FUS SCI TECH 2004 dedicata a FTU, il lavoro dei vari capitoli e' stato fatto usando solo le pubblicazioni fatte nel periodo 1990-2004.
- Il lavoro era stato strutturato con un responsabile per capitolo.
- **Il lavoro relativo alla Campagna di analisi di FTU si puo' organizzare seguendo tale esempio : ogni capitolo ha un titolo tratto dalle topiche elencate al punto 1 , con un responsabile.**

Metodo di lavoro

- Prima parte del lavoro :
- analisi delle OV di FTU pubblicate su Nuclear Fusion e presentazione della analisi in meetings dedicati
- dividere il lavoro per topiche
- seconda parte del lavoro :
- scrivere dei lavori riassuntivi delle conoscenze acquisite nelle topiche

Publicazione

- **2.1. la sintesi delle conoscenze prodotte su FTU relative alle topiche considerate saranno inserite in articoli dedicati da pubblicare su un volume speciale di Fus Sci Tech .**
- **2.2. Tali articoli (vedi punto 2.1) saranno raccolti (anche ed in prima istanza) in un volume pubblicato a cura dell'ENEA.**

Teams

- 3. E' stato creato un Working Group (GdL_FTU) su Teams.
- E' stata creata una cartella con le Overviews di FTU pubblicate su Nuclear Fusion e gli articoli del volume 45 di Fusion Science Technology dedicati a FTU .
- Tale spazio su Teams potra essere utilizzato per comunicazioni nell'ambito del WG: utilizzando la mail GdL_FTU@enea.it. Per utilizzare tale mail e' necessario essere inclusi nella mailing list del WG.

Analisi della OV 2007

- 3. La analisi del test della OVFTU del 2007 (V Pericoli et al et al , Nuc Fus 2007) ha condotto alle seguenti osservazioni:
- Le topiche rilevanti incluse in tale OV2007 sono :
 1. **RF:** Physics and technology of RF heating systems
 2. **Liquid Lithium Limiter**
 3. **MHD** and its Stabilization by ECRH, disruption control by ECRH
 4. **Theory** and measurements of electron fishbones
 5. **Diagnostics**

Questions

- Esiste una spiegazione chiara della correlazione tra la forma del profilo di corrente e la formazione della e-ITB ?
- Cioe' la sua posizione ed estensione radiale ?
- E' pensabile l'uso della LHCD in un reattore?

Analisi OV's 2009/2011

(A A Tuccillo et al Nuc Fus 49(2009)10413 and ibid.
51(2011)094011)

- Argomenti:
- Liquid Lithium Limiter: improved performance in high density discharges with lithized wall
- Electron Fishbones : theory and modelling of experimental observations
- ECRH control of disruptions
- Dust dynamics in tokamak plasmas
- Diagnostics: oblique ECE measurements

Confinement improvement H97 vs DENSITY peaking in LLL

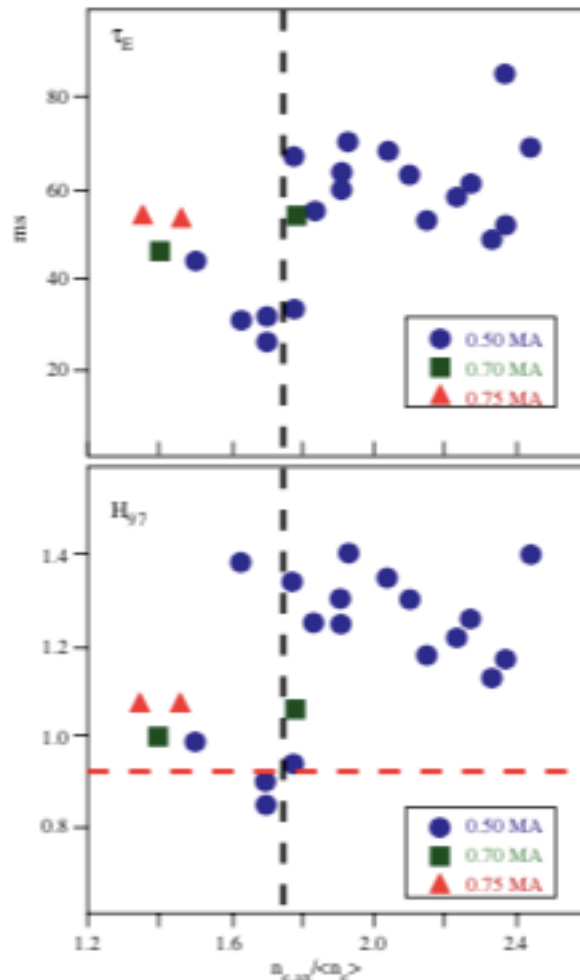


Figure 3. τ_E (Top) and H_{97} (Bottom) versus volume density peaking factor in 'lithized' discharges.

As consequence of lithized wall the density peaking $n_{e0}/\langle n \rangle$ Increases.

There is a peaking threshold where the confinement start to improve. With $H_{97} \leq 1.4$ Density $> 1.8 * f_G$ (Greenwald dens)

The comparison of τ_E (energy Confinement time) of the lithized Discharges with the 'pre-lithium' Shows that the density for SOC regime Increases from 45ms to 65-70ms .

Confinement with LLL

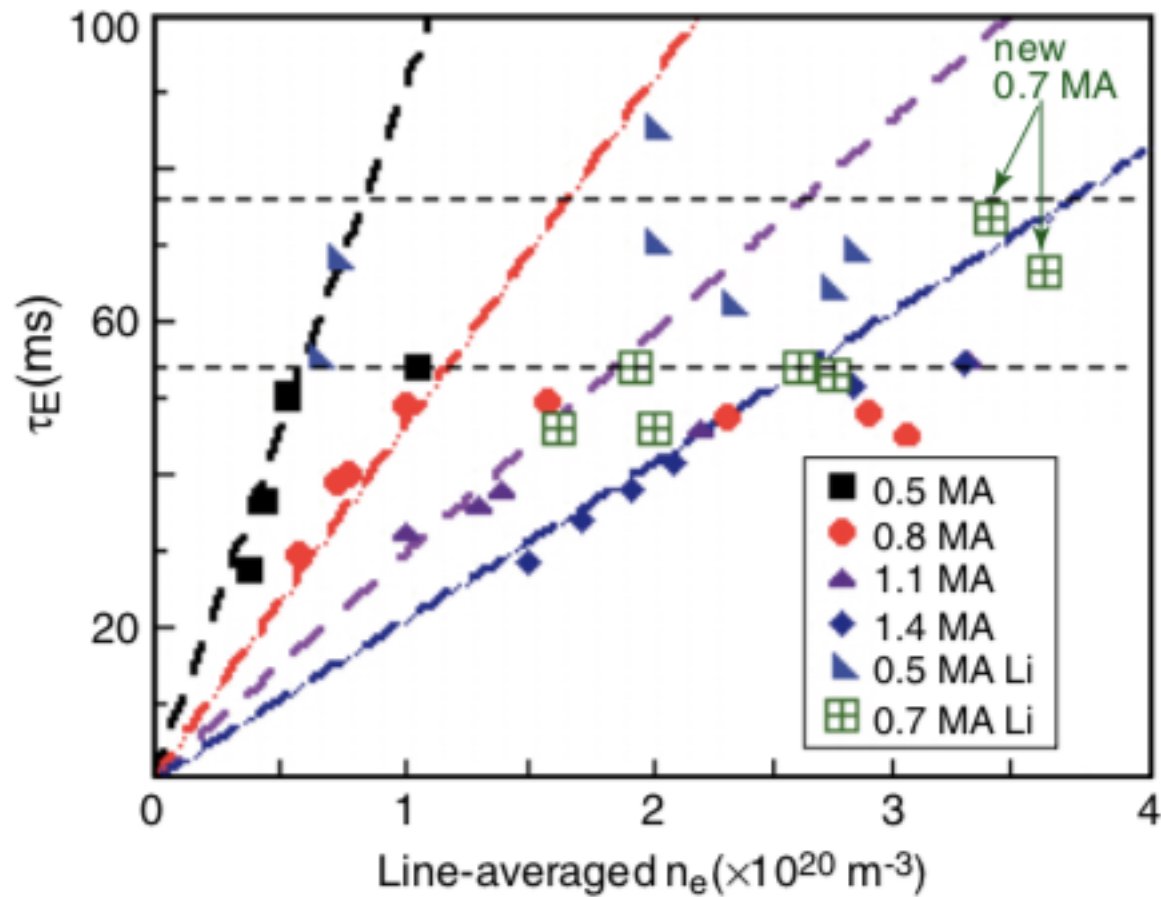


Figure 1. Energy confinement time versus line-averaged density in ohmic FTU 'lithized' discharges.

Comparison of LLL confinement with SOC(saturated ohmic confinement)

There is a density peaking threshold for the improved confinement
Above this threshold which is $n_e/\langle n_e \rangle = 1.75-1.8$

the confinement improvement H97 factor is ≤ 1.4

In the peaked high density ($n_e = 1-2 \times 10^{20} \text{ m}^{-3}$) phase χ_e decreases by a factor 2X.

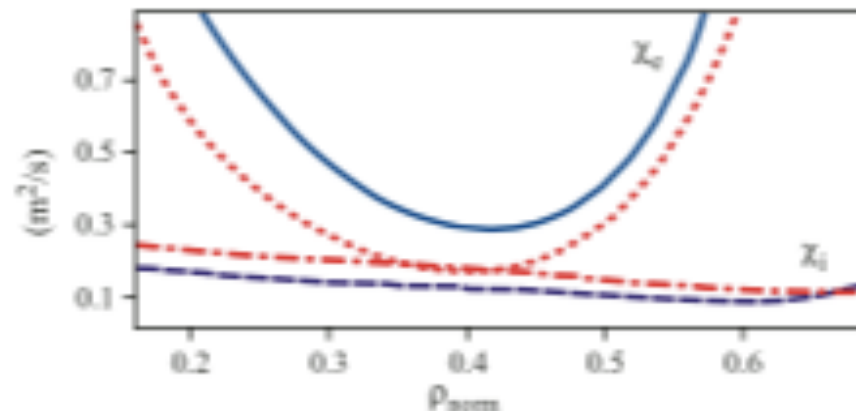


Figure 2. Electron and ion thermal conductivity for shot #28573 before and after the increase in the volume density peaking factor. Electrons: continuous line before density peaking, dotted line after; ions: dashed line before, dashed-dotted line after.

Microstability analysis of LLL

Physics Reasons of the density peaking :

- Lithium triggers a turbulent inward flux **at mid-radius of the discharge** for electron and deuterium by changing the growth rates and phase of the ion driven turbulence (ITG) .
- The inward flux is sustained **in the central region of the discharge** through electron gradient (ETG) dominated transport.

Electron fishbones

- The interaction of trapped alpha particles with low frequency modes is characterized by a small $\rho^* = \rho L/a$ a ratio of larmor radius to machine minor radius.
- The trapped particle bounce.averaged dynamics depends on energy NOT ON THE MASS together with the small ρ^* , makes trapped fusion alphas behaviour similar to that of the trapped suprathermal electrons triggered by LHCD.

Electron fishbones

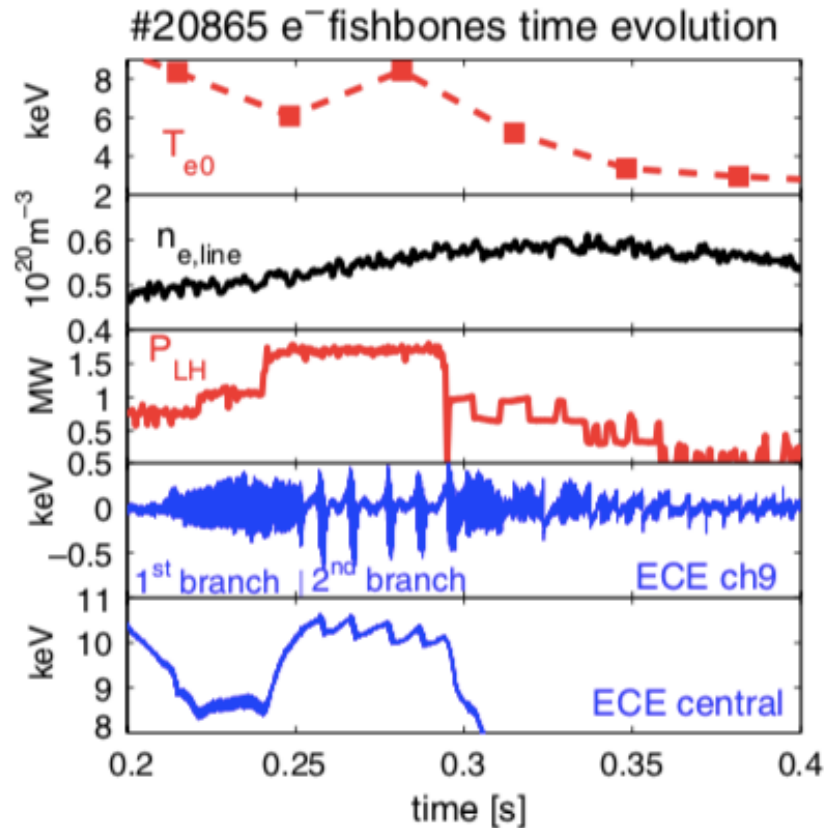
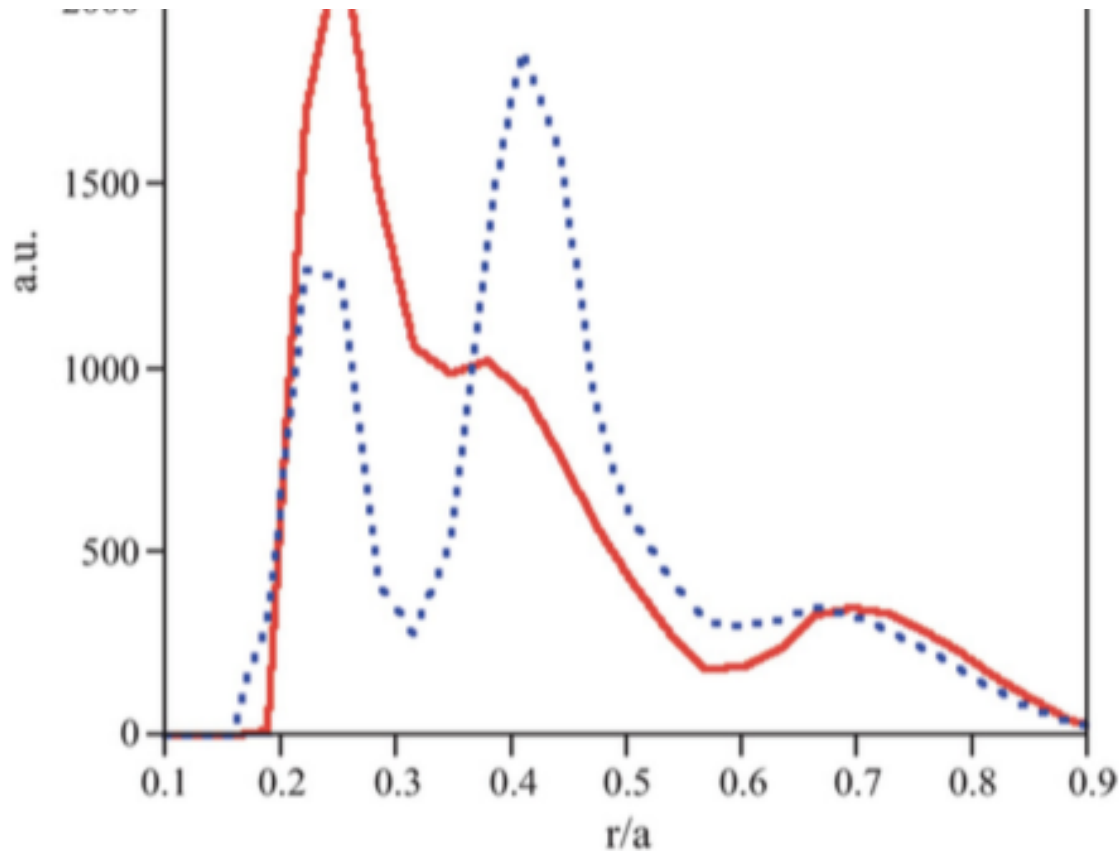


Figure 18. Time evolution (from top to bottom) of thermal e^- temperature, plasma line density, LH coupled power, fast e^- temperature fluctuations and central radiation temperature. The latter shows collapses synchronous to the fishbones activity, displayed in the frame above, which redistribute the supra-thermal population over the radius. Clearly the non-linear behaviour of the electron-fishbones reflects the level of LH power.

Electron fishbones in FTU plasmas



Spatial redistribution of fast electron generated by LHCD
During electron fishbone activity

ECRH control of disruptions

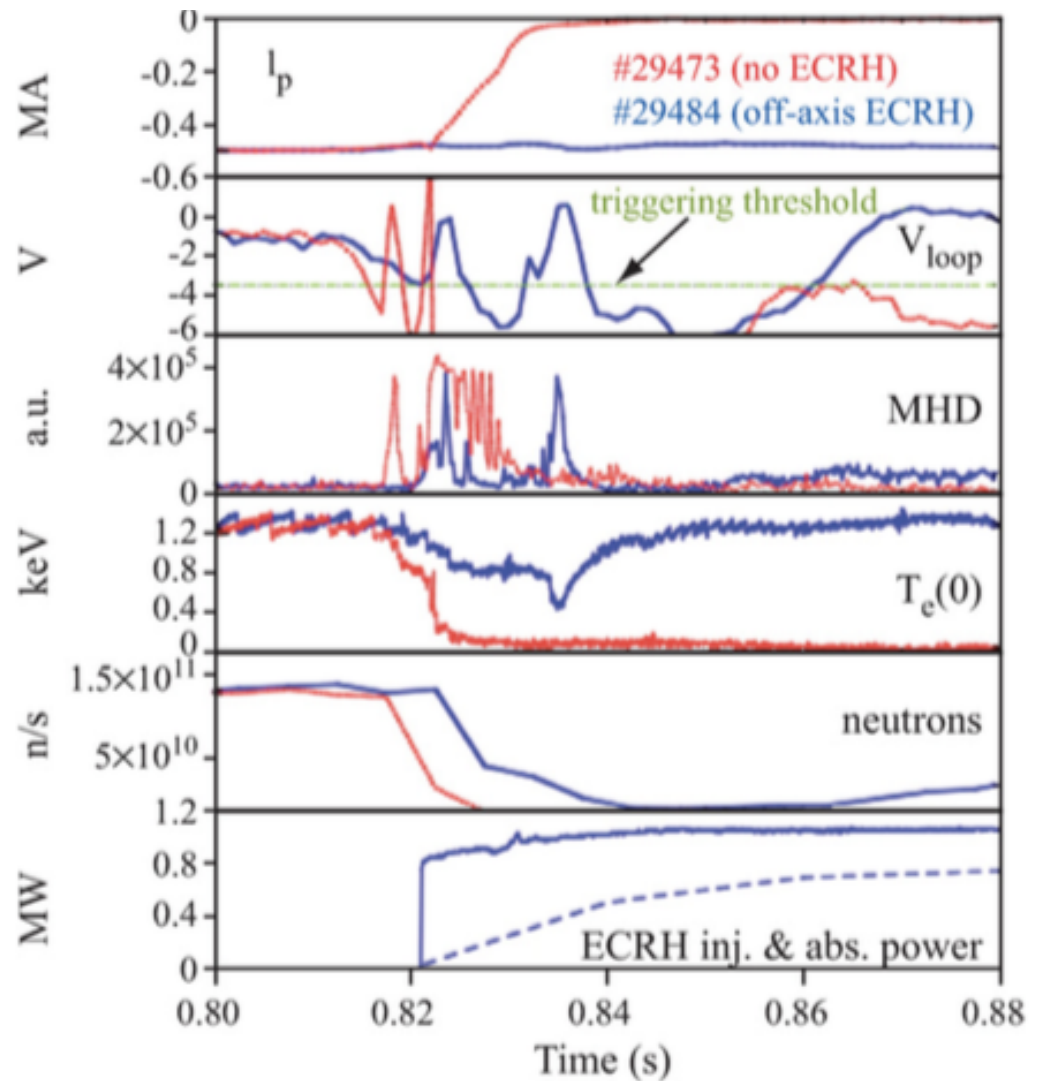


Figure 8. Comparison between two FTU discharges with/without ECRH. The disruption is avoided in #29484 with ECRH injection on the $q = 2$ surface.

GRAZIE PER LA ATTENZIONE

Investigation of dust particles

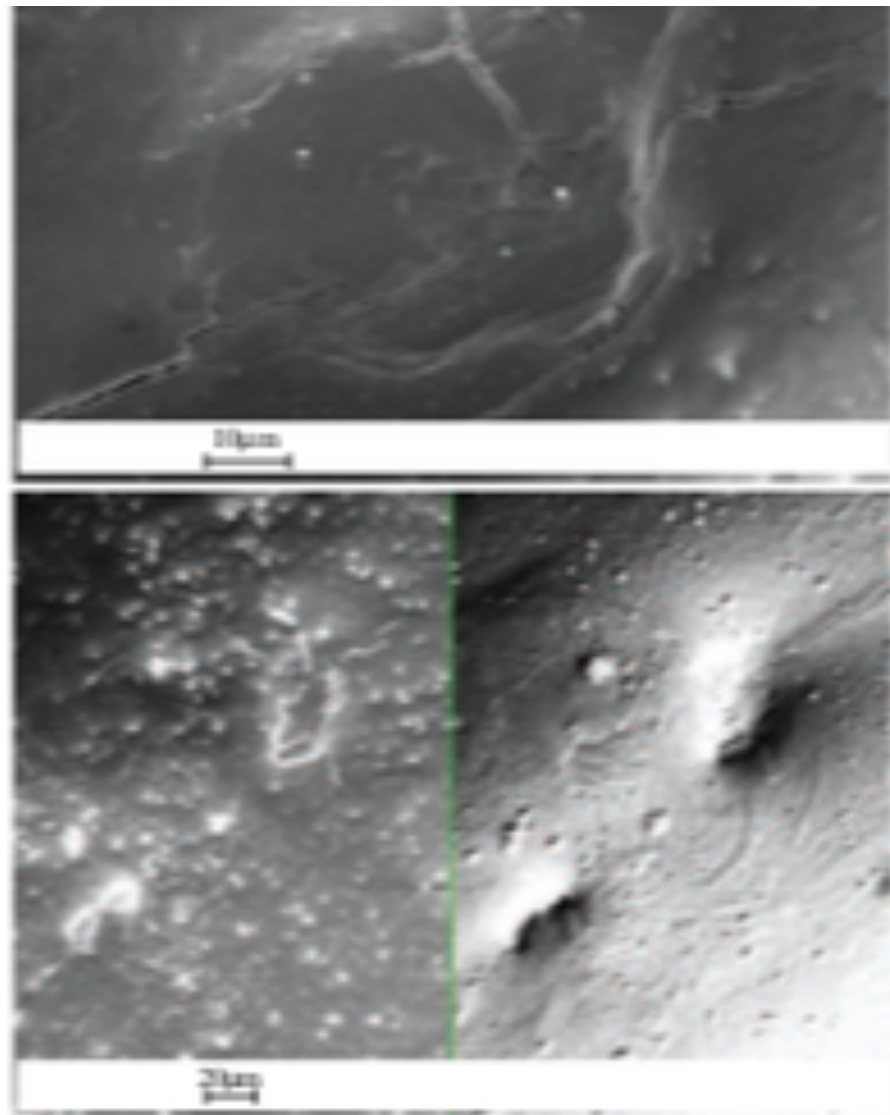


Figure 11. SEM analysis of the probe surface exposed to the FTU plasma. The scales indicated are 10 μm in the upper figure, taken by

DIAGNOSTICS : Oblique ECE measurements

The antenna of the ECE grating polychromator can steer its lines of sight in the toroidal direction from 90deg to 72 deg. EC emission at different angles comes from different regions of the electron distribution function providing a diagnostics of possible distortions of the maxwellian

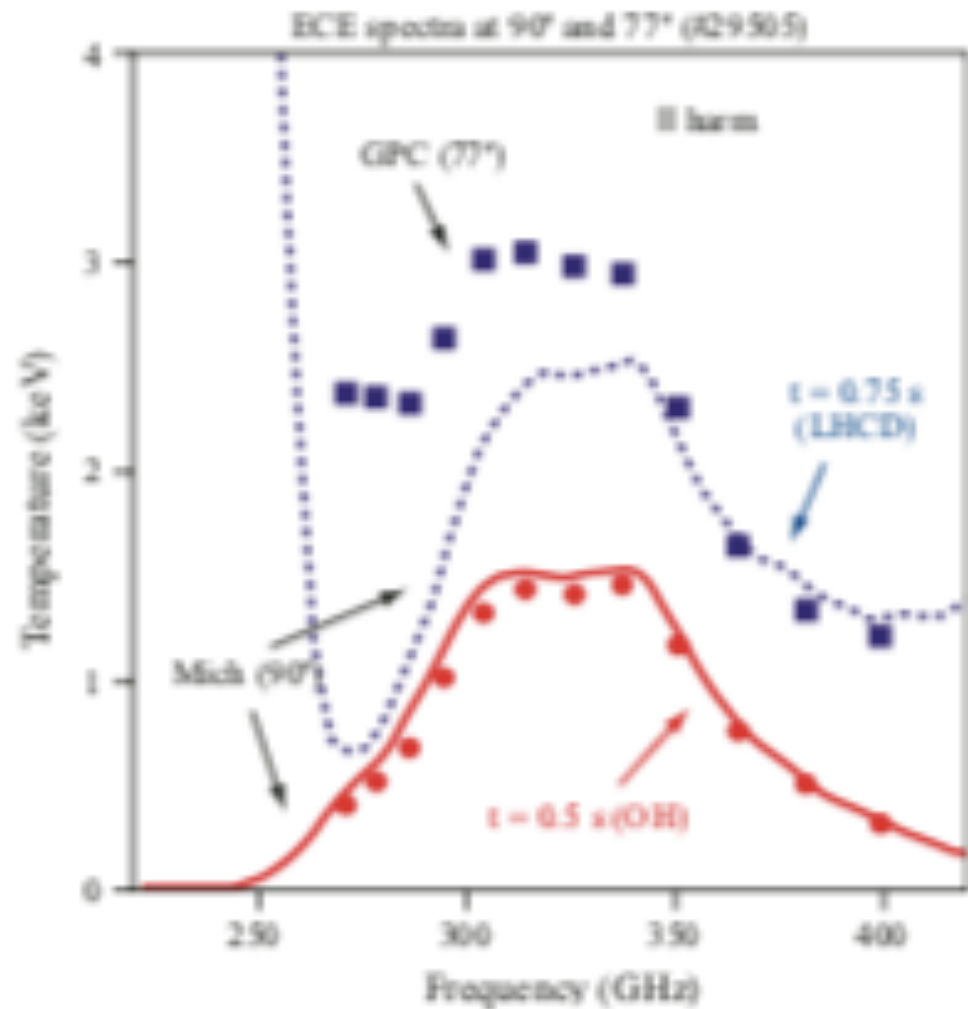


Figure 12. ECE emission at 90° (continuous and dotted lines) and 77° (dots and boxes) in OH (continuous line and dots) and LHCD (dotted line and boxes) phase.