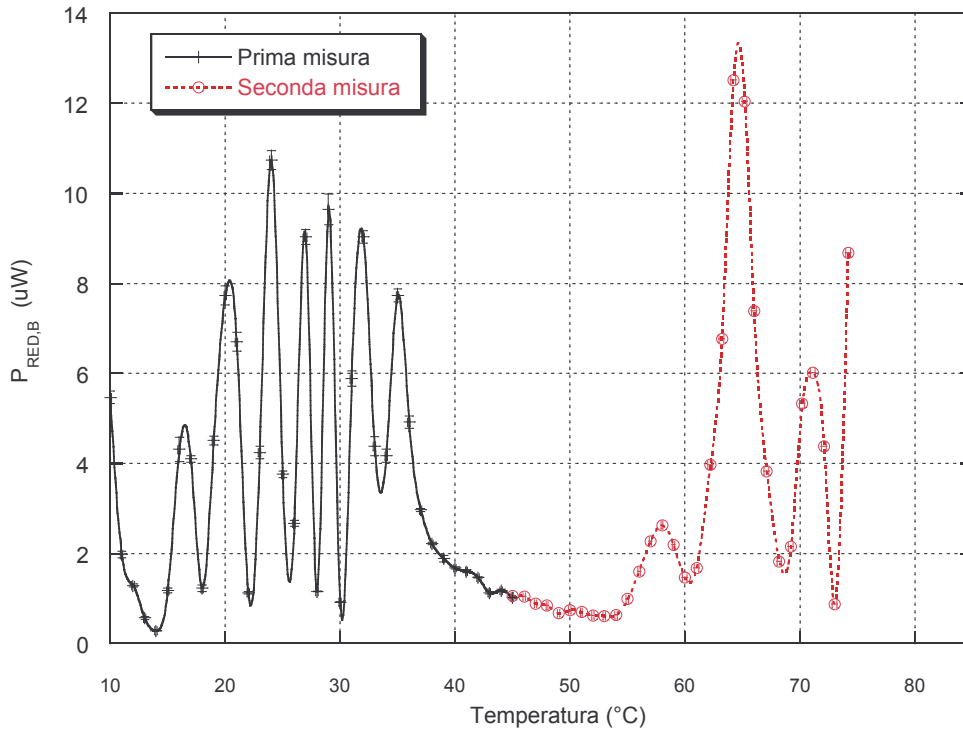
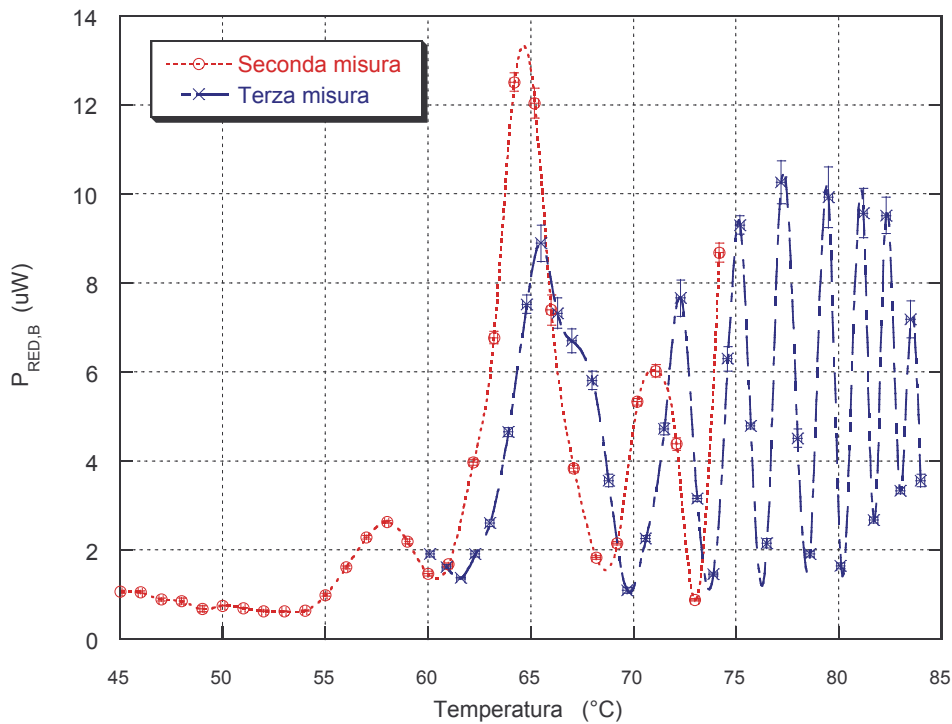


**Campione 1**  
**SHG al variare della temperatura**



**Figura 5.13:** Dipendenza della generazione di seconda armonica dalla temperatura. Valore di picco della potenza a fondamentale in guida: 624 mW. Prima e seconda misura.

**Campione 1**  
**SHG al variare della temperatura**



**Figura 5.14:** Dipendenza della generazione di seconda armonica dalla temperatura. Valore di picco della potenza a fondamentale in guida: 624 mW. Seconda e terza misura.

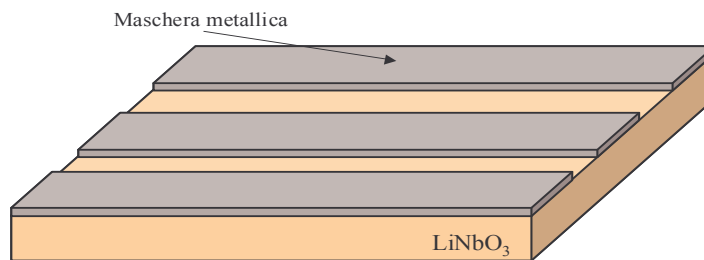
## 5.7. Campione a canale

Si è condotta una serie di esperimenti su un campione RPE con guide a canale, anch'esso preparato al CRES di Monreale.

Le composizioni delle miscele di scambio adoperate erano quelle utilizzate per le guide planari. Le durate delle due fasi si riportano di seguito:

	Sigla	PE (ore)	RPE (ore)
Campione a canale	AP NZ2-C-3RPE	24	24

Il campione di niobato di litio z-cut (25x10x2 mm) è stato sottoposto alle fasi di scambio dopo che sulla superficie superiore era stata depositata una maschera metallica; l'asportazione fotolitografica di strette "strisce" della maschera (figura 5.15) estese per l'intera lunghezza del campione, consente, mediante i bagni di scambio, di fabbricare guide a canale, secondo il principio di figura 3.7.



**Figura 5.15:** La maschera metallica per realizzare le guide a canale. Campione a canale AP NZ2-C-3RPE

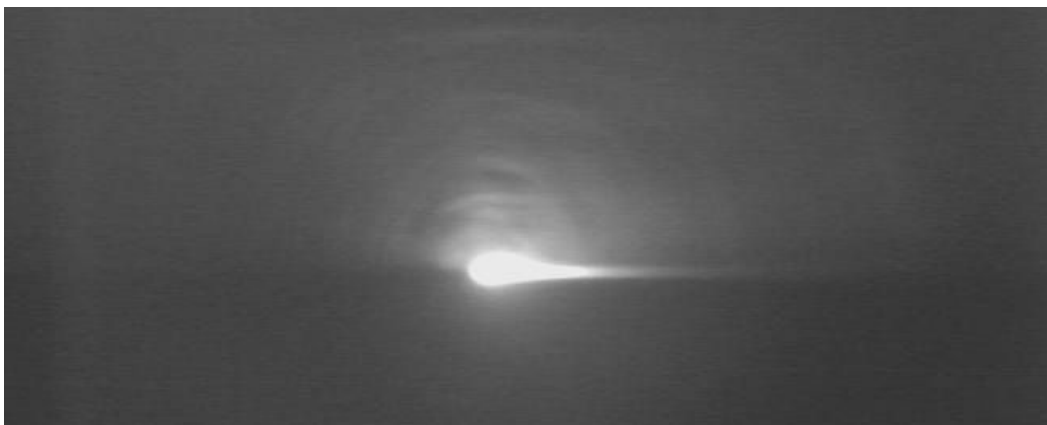
La larghezza delle regioni asportate influisce fortemente sulle caratteristiche delle guide. Sul campione sono stati realizzati una ventina di canali, con larghezze nominali dai 4 ai 7  $\mu\text{m}$ . La distanza fra un canale e l'adiacente è di circa 400  $\mu\text{m}$ , e i canali risultano raggruppati in "lotti" di 5.

Attraverso le regioni nelle quali la maschera è asportata avvengono lo scambio protonico e lo scambio inverso. Questo porta alla formazione di guide a canale ordinarie sovrapposte a guide a canale straordinarie.

Per il campione studiato, tuttavia, non è stato possibile rintracciare i canali ordinari superficiali, in grado di confinare la radiazione polarizzata TE. L'indagine in tal senso è stata condotta sia nell'IR, sia nel visibile (sorgente He-Ne).

Si è invece verificata la presenza delle guide a canale sepolte che confinano modi straordinari.

In figura 5.16 si mostra un'immagine dello spot trasmesso a valle delle ottiche di uscita in corrispondenza di un canale.



**Figura 5.16:** Spot trasmesso dal canale. IR, polarizzazione verticale, potenza del fascio 5 mW.  
Foto ottenuta mediante Vidicon.

Si è avuta conferma dal CRES di alcune difficoltà durante lo scambio inverso di questo campione; in particolare, è probabile che la maschera metallica non abbia resistito al processo di scambio inverso. La tenuta alla fase di scambio diretto era stata invece verificata.

Ciò corrisponde alle osservazioni. Se lo scambio inverso non è adeguatamente mascherato, la guida a canale superficiale non può formarsi, visto che si ha il recupero degli indici di substrato sull'intera superficie. Il confinamento trasversale della radiazione ordinaria sarebbe possibile solo nel caso in cui il recupero avvenisse esclusivamente in una piccola porzione di cristallo al centro della regione arricchita in  $H^+$  (figura 3.7(c)).

Si sono rintracciati tutti i canali straordinari nelle posizioni previste a partire dai parametri della maschera.

Il rendimento di accoppiamento, sia nel visibile che nell'IR, raggiunge per alcuni canali il 40%. Ciò è ragionevole considerando che i canali straordinari sono largamente multimodali e che i profili sono simmetrici. Si ottiene dunque una buona sovrapposizione fra il campo focalizzato dall'obiettivo di ingresso e i modi della guida, garantendo l'elevata efficienza di accoppiamento.

Anche nelle guide a canale si è osservata la generazione di seconda armonica, ed il campo visibile generato è ben confinato dalla guida a canale.

L'interazione, in questo caso, è tra modi a fondamentale e a seconda armonica della stessa guida straordinaria. Si tratta dunque di un'interazione diversa da quella misurata nella guida planare, tra modi quasi-TM (interazione "TM-TM").

Alla base della generazione di frequenza doppia c'è in questo caso l'elemento  $d_{33}$  del tensore di non linearità quadratica (vedere paragrafo 3.6)

Nel corso degli esperimenti si è accoppiata la luce IR (polarizzazione verticale) nella guida straordinaria e si è quantificata la radiazione visibile generata.

Si è osservato un brillante spot rosso sullo schermo di uscita.

Lo spot IR e quello a frequenza doppia sono stati separati mediante un reticolo di diffrazione a valle dell'obiettivo di uscita.

E' stato così possibile quantificare simultaneamente la potenza IR trasmessa e la potenza dello spot rosso. Le misure si sono realizzate con il fotorivelatore al germanio e il fotodiodo al silicio collegato al Lock-in.

Analogamente al metodo utilizzato negli esperimenti sul campione planare, si è quantificato il rendimento di accoppiamento ( $\tau$ ) valutando il rapporto fra la potenza IR in guida e la potenza in ingresso. Questa grandezza è utilizzata nella valutazione della potenza IR nella guida durante la misura della potenza a frequenza doppia, nota la potenza del fascio a monte dell'obiettivo di accoppiamento.

Si riportano le misure condotte su un gruppo di canali, indicati con una numerazione convenzionale.

Nelle tabelle 5.7 si elencano i risultati delle misure del rendimento di accoppiamento. I dati sono calcolati a partire dai valori misurati note le perdite di inserzione di tutti gli elementi ottici. Si diagrammano i dati nelle figure 5.17 e 5.18, con una ragionevole somiglianza fra i comportamenti dei vari canali, sebbene sia evidente una certa dispersione delle caratteristiche.

I dati riguardanti la seconda armonica sono riportati nelle tabelle 5.8. Al variare della potenza della fondamentale si misura la potenza a frequenza doppia. I valori tabulati sono ottenuti con un'elaborazione che ricalca quella condotta per il campione planare, considerando tutte le perdite di inserzione e i fattori che consentono di ricondursi ai valori di picco nel tempo. Si sono calcolate dunque la potenza di picco a FF e a SH subito a monte della faccia di uscita della guida,  $P_{IR,B}$  e  $P_{RED,B}$ .

La potenza generata e il rendimento di conversione sono diagrammati in funzione della forzante nelle figure 5.19 e 5.20 per i canali 24 e 25, e nelle figure 5.21 e 5.22 per i canali 18 e 19.

Canale 18			
$P_{IN}$ [mW]	Errore [mW]	$P_{IR,B}$ [mW]	Errore [mW]
10	0,5	4,31	0,49
15,4	0,6	5,74	0,71
20	0,7	8,29	0,97
30,6	1	12,12	1,28
40	1,4	16,75	1,63
50	1,7	20,26	1,93
61	2	24,72	2,26
70	2,5	28,71	2,58
80	3	32,70	2,90

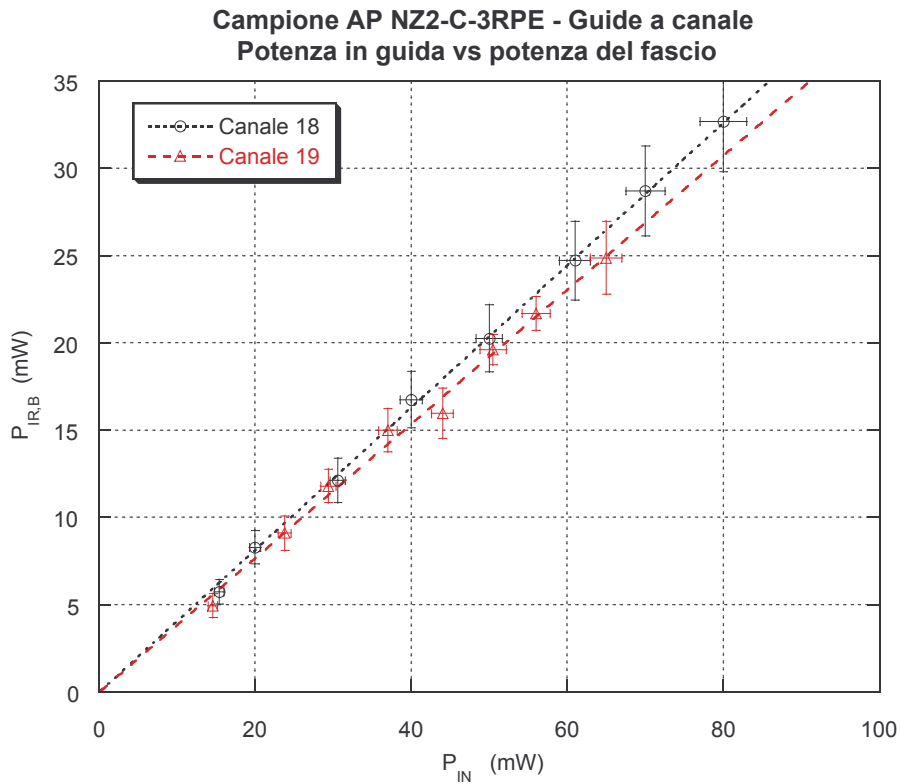
Canale 19			
$P_{IN}$ [mW]	Errore [mW]	$P_{IR,B}$ [mW]	Errore [mW]
6,2	0,4	3,51	0,62
14,6	0,6	4,94	0,68
23,8	0,8	9,09	1,00
29,4	1	11,80	0,95
37	1,2	14,99	1,24
44	1,4	15,95	1,44
50,5	1,7	19,62	0,88
56	1,8	21,69	0,96
65	2	24,88	2,11

Canale 23			
$P_{IN}$ [mW]	Errore [mW]	$P_{IR,B}$ [mW]	Errore [mW]
6,05	0,792	0,60	0,03
10	0,9	0,88	0,06
15,05	1,152	1,28	0,07
20,3	1,112	1,68	0,08
25,85	1,884	2,37	0,12
28,75	1,8	2,63	0,13

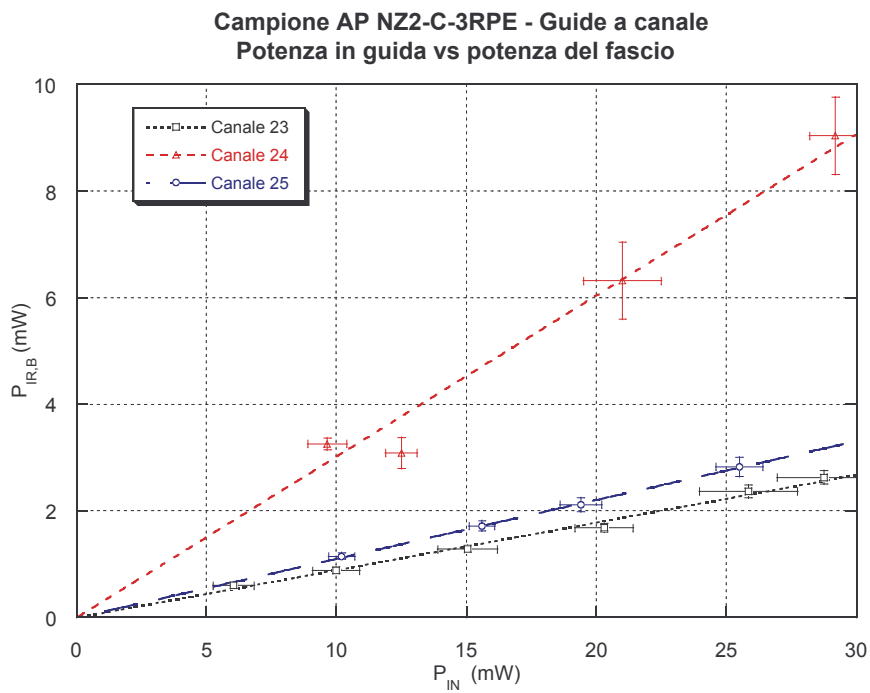
Canale 24			
$P_{IN}$ [mW]	Errore [mW]	$P_{IR,B}$ [mW]	Errore [mW]
9,65	0,75	3,26	0,11
12,5	0,6	3,09	0,29
21	1,5	6,32	0,72
29,2	1	9,04	0,72
40	5	10,05	1,15

Canale 25			
$P_{IN}$ [mW]	Errore [mW]	$P_{IR,B}$ [mW]	Errore [mW]
10,2	0,5	1,15	0,06
15,6	0,5	1,72	0,10
19,4	0,8	2,12	0,13
25,5	0,9	2,83	0,18

**Tabella 5.7:** Valutazione del rendimento di accoppiamento.  $P_{IR}$  potenza del fascio IR.  $P_{IR,B}$  potenza IR in guida.



**Figura 5.17:** Potenza accoppiata in guida in funzione della potenza del fascio IR in ingresso.



**Figura 5.18:** Potenza accoppiata in guida in funzione della potenza del fascio IR in ingresso.

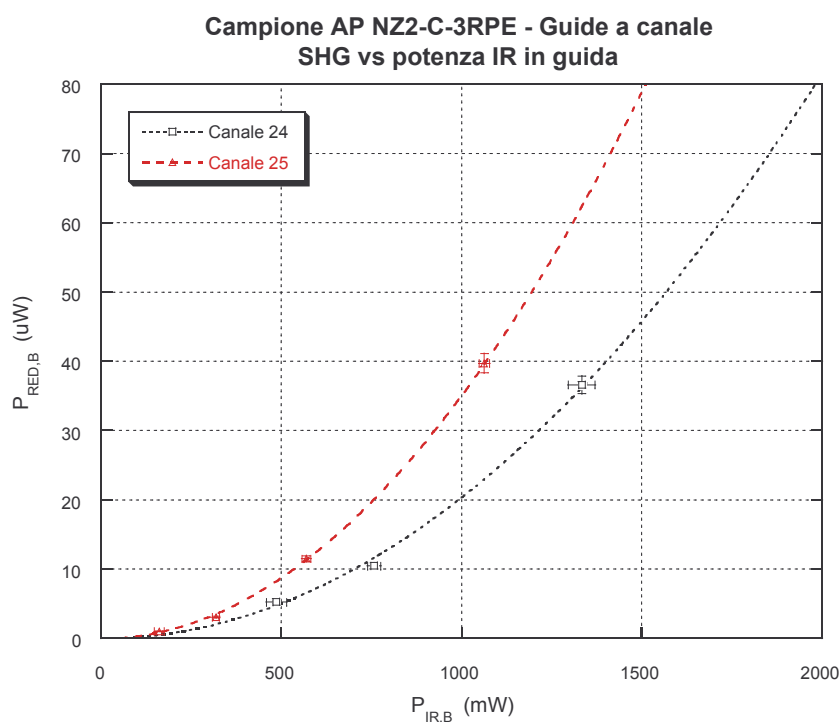
Canale 18 – SHG (TM-TM)			
$P_{IR,B}$ [mW]	Errore [mW]	$P_{RED,B}$ [ $\mu$ W]	Errore [ $\mu$ W]
624	31,2	2,92	0,13
960,96	37,44	6,64	0,22
1248	43,68	11,69	0,40
1909,44	62,4	26,56	0,93
2496	87,36	47,80	1,67
3120	106,08	71,71	2,59
3806,4	124,8	106,23	3,72
4368	156	146,07	4,98
4992	187,2	193,87	6,71

Canale 19 – SHG (TM-TM)			
$P_{IR,B}$ [mW]	Errore [mW]	$P_{RED,B}$ [ $\mu$ W]	Errore [ $\mu$ W]
367,536	23,712	2,39	0,14
865,488	35,568	11,23	0,36
1410,864	47,424	29,74	0,85
1742,832	59,28	40,00	1,27
2193,36	71,136	65,33	2,16
2608,32	82,992	80,20	2,80
2993,64	100,776	114,20	3,92
3319,68	106,704	138,10	4,78
3853,2	118,56	183,25	6,44

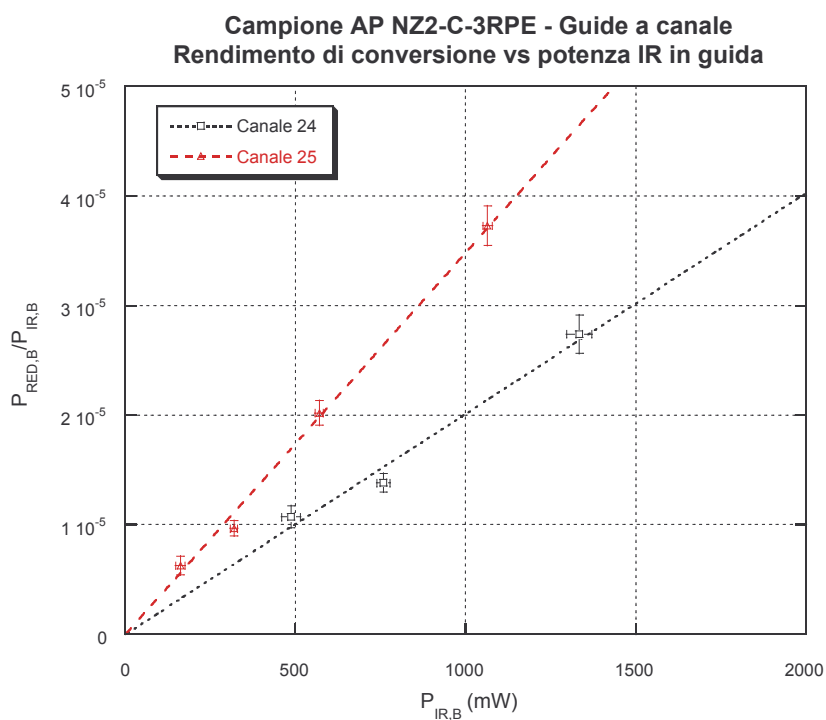
Canale 24 – SHG (TM-TM)			
$P_{IR,B}$ [mW]	Errore [mW]	$P_{RED,B}$ [ $\mu$ W]	Errore [ $\mu$ W]
486,72	28,08	5,23	0,18
758,16	18,72	10,46	0,39
1333,8	37,44	36,60	1,29
3243,24	79,56	233,04	6,49

Canale 25 – SHG (TM-TM)			
$P_{IR,B}$ [mW]	Errore [mW]	$P_{RED,B}$ [ $\mu$ W]	Errore [ $\mu$ W]
161,304	13,728	1,01	0,05
319,176	10,296	3,08	0,13
569,712	12,012	11,53	0,39
1063,92	13,728	39,70	1,39

**Tabelle 5.8:** Potenza generata a seconda armonica in funzione della potenza in guida a fondamentale. Valori di picco, direttamente ottenuti per elaborazione delle misure.

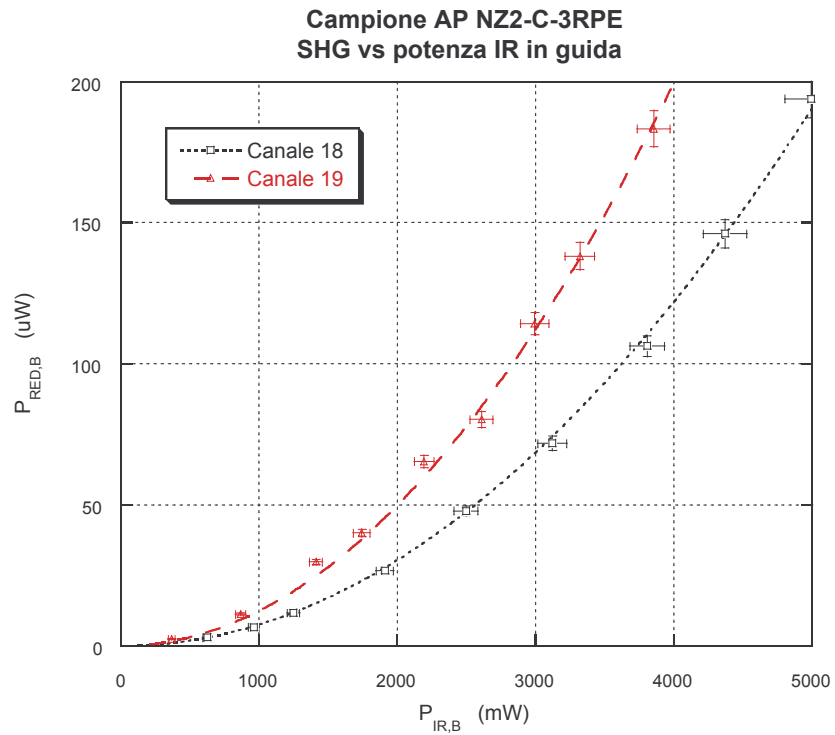


**Figura 5.19:** Potenza a seconda armonica in funzione della potenza a fondamentale.  
Valori di picco in guida. Modi straordinari

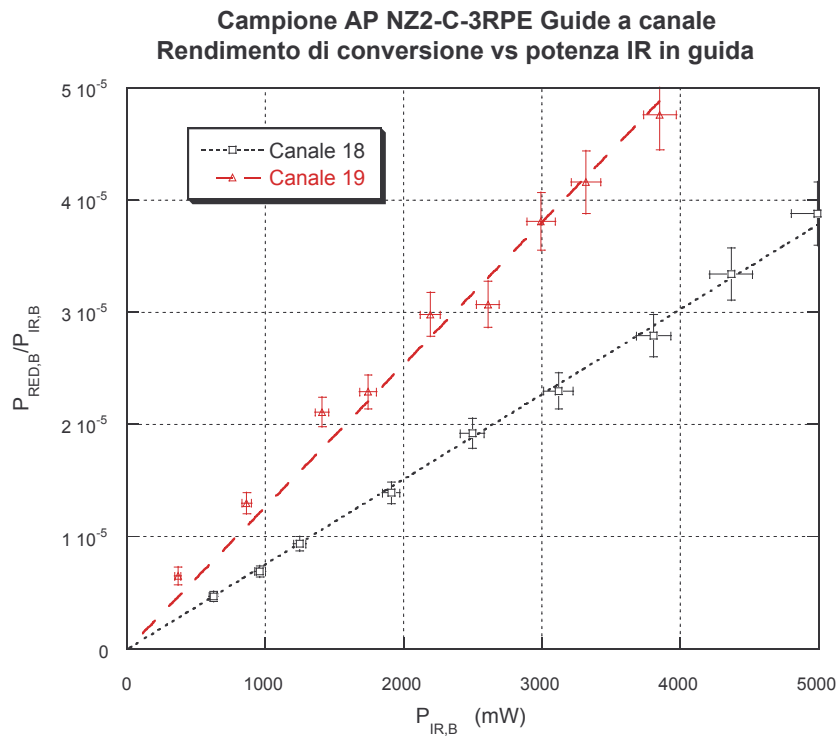


**Figura 5.20:** Potenza a seconda armonica in funzione della potenza a fondamentale.  
Valori di picco in guida. Modi straordinari





**Figura 5.21:** Potenza a seconda armonica in funzione della potenza a fondamentale. Valori di picco in guida. Modi straordinari



**Figura 5.22:** Potenza a seconda armonica in funzione della potenza a fondamentale. Valori di picco in guida. Modi straordinari

A fronte di un accoppiamento inferiore a quello degli altri canali, il canale 25 presenta il massimo rendimento normalizzato di conversione.

Le diverse larghezze nominali dei canali e l'inevitabile presenza di dispersione delle loro caratteristiche ottiche giustificano la variabilità dei risultati ottenuti.

Sulla lunghezza di 25 mm, il rendimento di conversione normalizzato misurato nei 4 canali varia dal valore minimo di

$$\eta_{\text{norm}} \cong 0,78 \cdot 10^{-5} = 0,00078\% \quad [W^{-1}] \quad (5.17)$$

per il canale 18, al valore massimo

$$\eta_{\text{norm}} = 3,5 \cdot 10^{-5} = 0,0035\% \quad [W^{-1}] \quad (5.18)$$

per il canale 25.

## 5.8. Conclusione

Nello studio dei campioni planari si è osservata l'interazione non lineare fra modi con polarizzazioni ortogonali confinati nella guida superficiale e nella guida sepolta. Si è quantificata la generazione di seconda armonica in questa configurazione, evidenziando le potenzialità delle guide RPE; il limite al rendimento di conversione imposto dalla forte diffrazione è pure apparso evidente.

Il confinamento trasversale della radiazione in guide a canale RPE apre, alla luce di questi parziali risultati, prospettive estremamente stimolanti: il rendimento di conversione atteso in una struttura a canale è di ordini di grandezza più grande.

L'indagine in temperatura ha fornito risultati la cui parziale interpretazione poggia sui metodi di caratterizzazione delle guide RPE e di ricostruzione dei loro profili: l'accordo fra le temperature di phase-matching calcolate e le risonanze osservate ha fornito prova della validità dei modelli. Si è rivelato significativo, in merito a questo aspetto, l'aver considerato la dispersione dei salti d'indice.

L'indagine sul campione a canale stimola al raffinamento della tecnologia di mascheramento per la realizzazione delle guide. In ogni caso l'elevata qualità ottica dei canali sepolti è stata verificata.

Il confronto fra i rendimenti di conversione del campione planare (interazione TE-TM) e del campione a canale (TM-TM), risultati dello stesso ordine di grandezza, merita un approfondimento.

La diffrazione della fondamentale non affligge le guide a canale; è però vero che l'interazione fra modi copolarizzati è limitata da integrali di sovrapposizione estremamente ridotti fra le coppie di modi di ordini elevati che possono verificare la condizione di sincronismo di fase. E' dunque lecito attendere, in guide a canale RPE, rendimenti di conversione superiori nel caso dell'interazione fra modi ortogonali rispetto

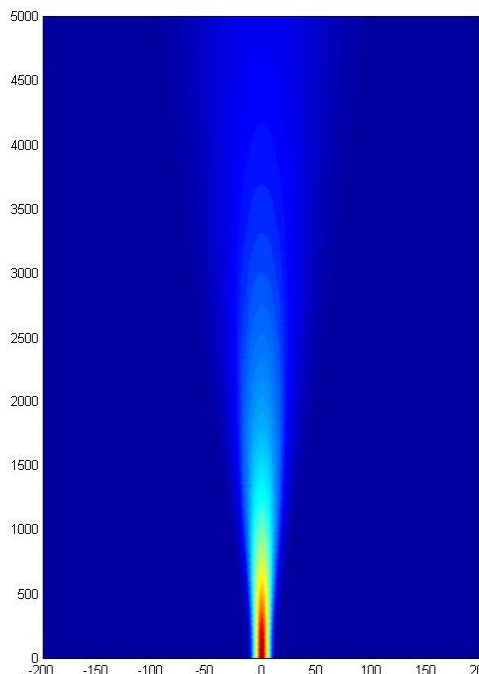
al caso di modi straordinari copolarizzati, nonostante la minore entità della risposta non lineare nel primo caso ( $d_{31} < d_{33}$ ).

In omaggio alla curiosità che ha sostenuto questo studio, mi piace citare, a conclusione, alcune delle questioni che non è stato possibile approfondire.

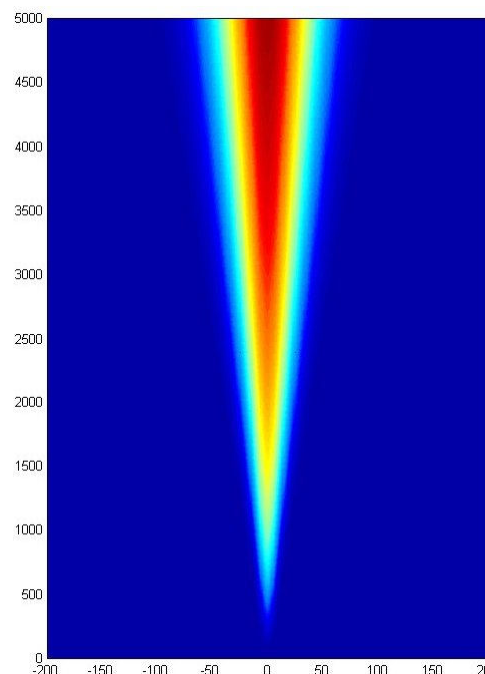
Lo studio dell'interazione non lineare fra modi straordinari della guida planare potrebbe fornire un termine di confronto per le osservazioni sulle guide a canale.

L'indagine in temperatura sulla generazione di seconda armonica nei canali straordinari con campo forzante straordinario è pure da condursi.

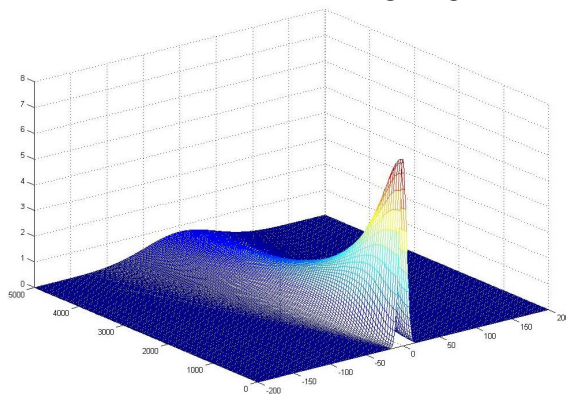
Appare inoltre un'esigenza primaria quella della caratterizzazione delle perdite di propagazione delle guide RPE, siano esse planari o a canale. Unitamente ai parametri tecnologici quei dati consentirebbero una comprensione più dettagliata delle caratteristiche del cristallo scambiato in determinate condizioni.



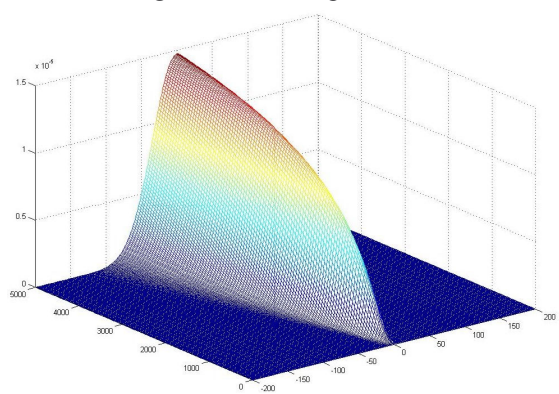
**Figura 5.23:** BPM. Intensità della FF. Diffrazione del fascio a fondamentale nella guida planare.



**Figura 5.24:** BPM. Intensità della radiazione rossa generata. Guida planare.



**Figura 5.25:** BPM. Intensità della FF. Diffrazione del fascio a fondamentale nella guida planare. Vista 3D.



**Figura 5.26:** BPM. Intensità della radiazione rossa generata. Guida planare. Vista 3D.

