

# Duplicatore di frequenza

Alberto Bordin, Giulio Cappelli

14-15 Dicembre 2017

## Sommario

### 1 To do

### 2 Teoria

$$V_{pp} = \alpha \frac{\sin^2[\beta(\theta - \theta_m)]}{[\beta(\theta - \theta_m)]^2}$$

### 3 Apparato sperimentale

### 4 Taratura dell'attenuatore

Per prima cosa abbiamo tarato l'attenuatore regolabile. Abbiamo misurato la potenza ogni 5 gradi centesimali. I dati raccolti sono riportati in appendice (Tabella 1) e graficati in Figura 1.

#### Discussione degli errori

In Figura 1 abbiamo riportato errore di calibrazione, che è un errore sistematico. Nelle sezioni successive talvolta è richiesto l'uso di un errore statistico, in tal caso verrà usata la sigma relativa all'errore di digitalizzazione.

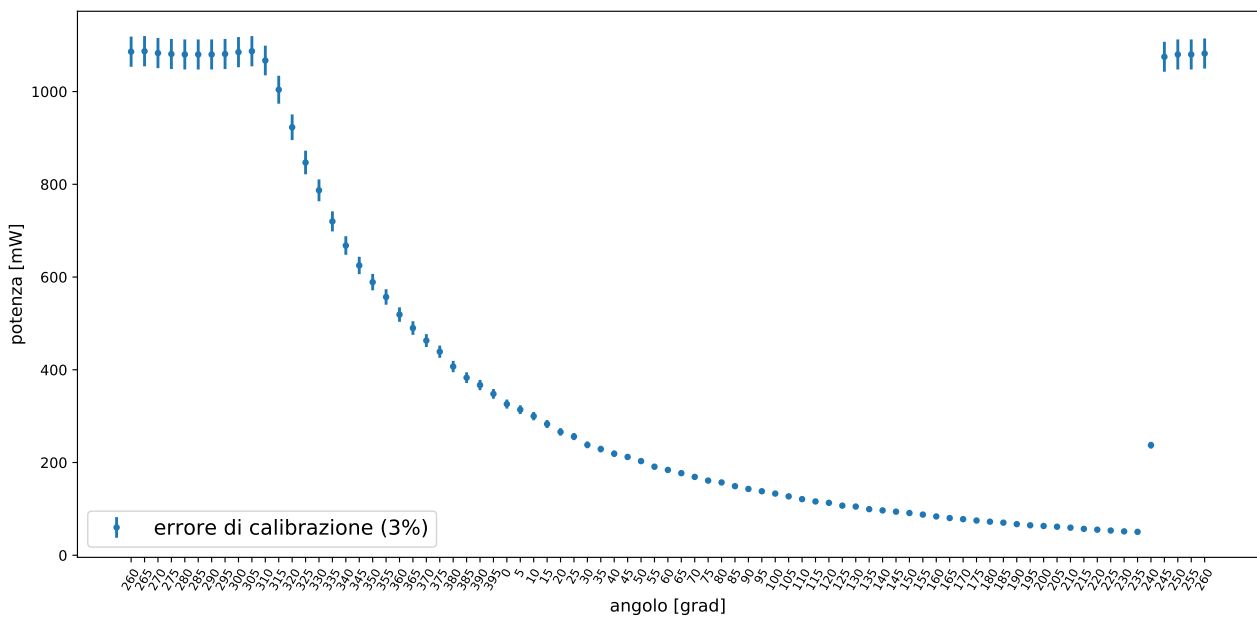


Figura 1: Taratura dell'attenuatore regolabile.

### 5 Segnale duplicato in funzione della potenza incidente

## 5.1 Presa dati

Il professore ci ha rivelato che un buon segnale all'oscilloscopio è di  $\sim 600 V_{pp}$  quindi abbiamo speso le prime ore disponibili ad allineare al meglio l'apparato nella ricerca di un buon segnale, trovando al massimo  $\sim 400 V_{pp}$ . Infine il professore stesso ha provato ad allineare arrivando ad un segnale di  $\sim 500 V_{pp}$ . Non capiamo perché sia stato impossibile fare di meglio.

Secondo il modello della generazione di seconda armonica con la tecnica di *phase matching* conta una sola polarizzazione del laser di pompa. Il suo angolo è fissato dalla posizione dell'asse straordinario nel cristallo birifrangente, quindi l'orientazione della pompa non conta soltanto se il laser di pompa ha una polarizzazione uniforme. Nel dubbio che non fosse così abbiamo misurato la potenza della pompa con il *power meter* frapponendo tra laser e sensore un filtro polarizzatore. In effetti abbiamo riscontrato che il laser di pompa non ha una polarizzazione uniforme: abbiamo misurato un massimo di 284.5 mW a  $29^\circ$  del filtro polarizzatore e un minimo di 141.5 mW a  $119^\circ$ . Quindi l'intensità del segnale dipende dall'orientazione del laser di pompa. Tale fatto può spiegare il fatto che l'intensità del nostro segnale non sia ottimale, tuttavia per ricavare

l'angolo ottimale serve l'analisi della sezione 7. Pertanto abbiamo deciso di accontentarci di un segnale non perfetto ed evitare di ruotare il laser (e quindi di dover riallineare da capo).

Riportiamo i dati raccolti in appendice (Tabella 2).

## 5.2 Analisi dati

In prima analisi per verificare la legge di potenza dell'intensità della seconda armonica abbiamo eseguito un fit con la funzione  $y = ax^2$  e guardato il  $\chi^2$ . Ovviamente il  $\chi^2$  dipende dagli errori scelti per y: l'errore di misura indicato in Tabella ?? è un errore di digitalizzazione (è pari ad una tacca dell'oscilloscopio) allora per ottenere la corretta sigma da usare per il fit bisogna moltiplicarlo per  $0.68 \cdot 0.5$ , a questo è stato sommato in quadratura l'errore statistico della taratura dell'attenuatore (ottenuto sempre moltiplicando  $0.68 \cdot 0.5$  per la sensibilità del *power meter*). Questa scelta dà

$$\frac{\chi^2}{dof} = 1.27$$

$$p\text{-value} = 8.2\%$$

che conferma l'ipotesi di legge quadratica.

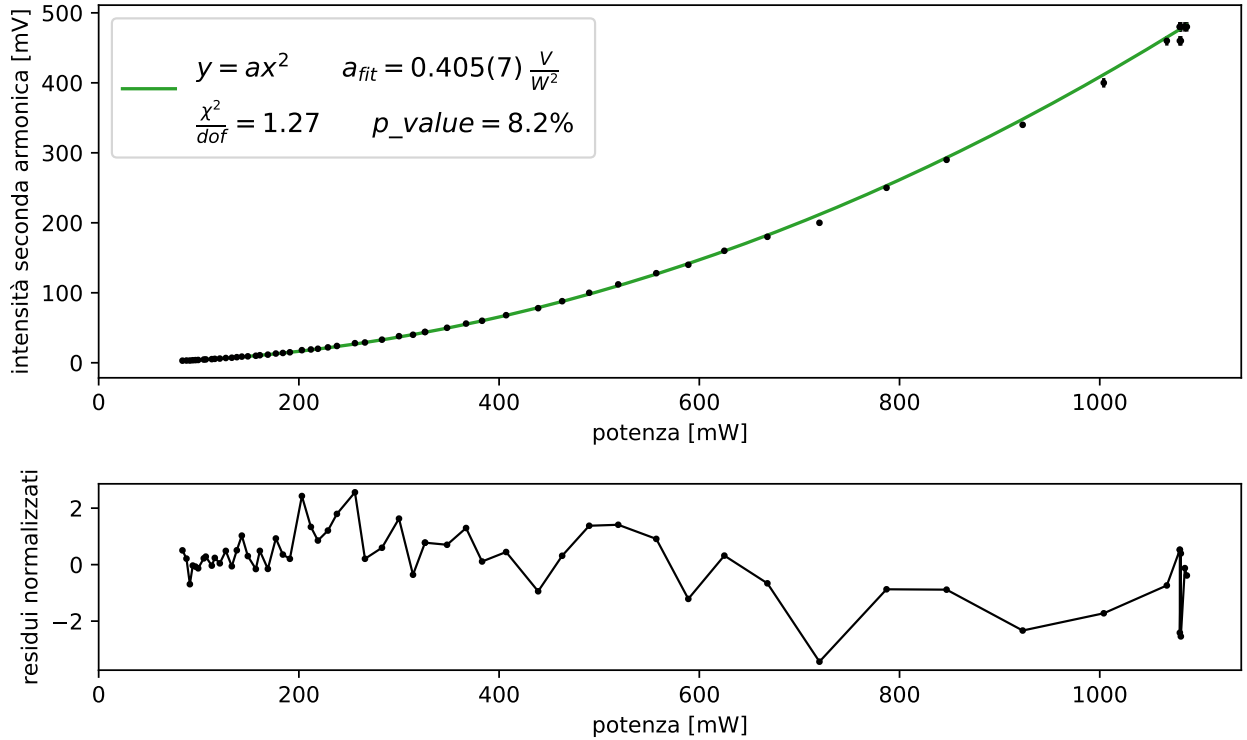


Figura 2: Fit dell'intensità della seconda armonica in funzione della potenza di pompa con  $y = ax^2$ . L'errore graficato è la somma in quadratura di errore di misura ed errore statistico della taratura.

In seconda analisi abbiamo eseguito un fit con la funzione  $y = ax^b$  (vedi Figura 3). La potenza fittata è

$$b = 1.979(4)$$

Dal punto di vista statistico  $b$  risulta incompatibi-

le con 2 perché l'errore dato dal fit è molto piccolo, inoltre il parametro di fit  $a$  risulta incompatibile con quello risultante dal fit precedente. Tuttavia probabilmente non siamo di fronte ad una inconsistenza di risultati ma ad una sottostima degli errori. Tratta-

re l'errore più accuratamente richiederebbe un'analisi non banale dato che non è corretto nemmeno utilizzare l'errore di calibrazione del *power meter* in quanto è errore sistematico costante. Pertanto ci accontentiamo del risultato trovato, che è buono all'1%.

## 5.3 Conclusioni

Le misure di intensità della seconda armonica generata in funzione della potenza di pompa sono in accordo con la legge di potenza quadratica  $I_{2\omega} \propto I_{pompa}^2$ . Tale risultato è stato confermato da un test del  $\chi^2$  e da un fit con legge  $y = ax^b$  con risultato  $b = 1.98$ , che è 2 all'1%.

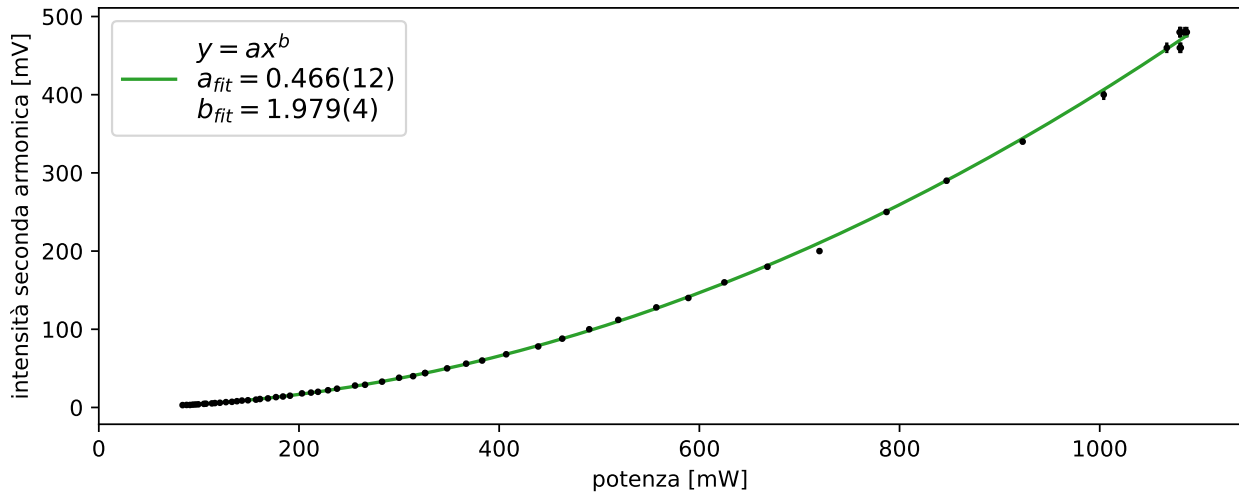


Figura 3: Fit dell'intensità della seconda armonica in funzione della potenza di pompa con  $y = ax^b$ .

## 6 Angolo di *phase-matching*

### 6.1 Presa dati

Il goniometro di precisione che abbiamo a disposizione si può girare normalmente oppure attraverso una vite sensibile ai primi, ma con una portata limitata:  $5^\circ$ . Dopo aver rilevato la portata delle vite di precisione giriamo il goniometro in modo da avere circa  $2^\circ 30'$  prima e  $2^\circ 30'$  dopo l'angolo a cui si ha il massimo di intensità del segnale della seconda armonica generata. In que-

sto modo le misure che registriamo sono simmetriche intorno all'angolo di *phase matching*.

Riportiamo i dati raccolti in appendice (Tabella 3).

### 6.2 Analisi dati

1 fit a tutti i dati, 1 fit con un cut sulle code e 2 fit con gaussiana e parabola

## 7 Polarizzazione

### 7.1 Presa dati

#### 7.1.1 Polarizzazione in ingresso

1 tabella

#### 7.1.2 Polarizzazione in uscita

1 tabella

### 7.2 Analisi dati

#### 7.2.1 Polarizzazione in ingresso

1 fit

#### 7.2.2 Polarizzazione in uscita

1 fit

## Appendice

$\phi$ [grad]	P [mW]	$\phi$ [grad]	P [mW]	$\phi$ [grad]	P [mW]	$\phi$ [grad]	P [mW]	$\phi$ [grad]	P [mW]
260	1086	345	625	30	238	115	116	200	63.1
265	1087	350	589	35	229	120	113	205	61.5
270	1083	355	557	40	219	125	107	210	59.5
275	1081	360	519	45	212	130	105	215	56.9
280	1080	365	490	50	203	135	99.4	220	55.1
285	1080	370	463	55	191	140	96.7	225	53.3
290	1080	375	439	60	184	145	94.0	230	51.5
295	1081	380	407	65	177	150	91.1	235	50.5
300	1085	385	383	70	169	155	87.7	240	237.4
305	1087	390	367	75	161	160	83.7	245	1075
310	1067	395	348	80	157	165	80.2	250	1080
315	1004	0	326	85	149	170	77.8	255	1080
320	923	5	314	90	143	175	74.9	260	1082
325	847	10	300	95	138	180	72.4		
330	787	15	283	100	133	185	70.3		
335	720	20	266	105	127	190	67.1		
340	668	25	256	110	121	195	64.6		

Tabella 1: Taratura dell'attenuatore regolabile. Gli errori di calibrazione sulle potenze sono del 3%. L'errore sull'angolo è inferiore a 0.5 gradi centesimali, quindi è trascurabile.

$\phi$ [grad]	$V_{pp}$ [mV]	$\phi$ [grad]	$V_{pp}$ [mV]	$\phi$ [grad]	$V_{pp}$ [mV]	$\phi$ [grad]	$V_{pp}$ [mV]	$\phi$ [grad]	$V_{pp}$ [mV]
275	460(20)	335	200(10)	395	50(2)	55	15(1)	115	5.6(8)
280	460(20)	340	180(10)	0	44(2)	60	14(1)	120	5.2(8)
285	480(20)	345	160(4)	5	40(2)	65	13.2(8)	125	4.8(8)
290	480(20)	350	140(4)	10	38(2)	70	11.6(8)	130	4.6(8)
295	480(20)	355	128(4)	15	33(1)	75	10.8(8)	135	4.0(8)
300	480(20)	360	112(4)	20	29(1)	80	10.0(8)	140	3.8(8)
305	480(20)	365	100(4)	25	28(1)	85	9.2(8)	145	3.6(8)
310	460(20)	370	88(4)	30	24(1)	90	8.8(8)	150	3.2(8)
315	400(20)	375	78(2)	35	22(1)	95	8.0(8)	155	3.2(8)
320	340(10)	380	68(2)	40	20(1)	100	7.2(8)	160	3.0(8)
325	290(10)	385	60(2)	45	19(1)	105	6.8(8)		
330	250(10)	390	56(2)	50	18(1)	110	6.0(8)		

Tabella 2: Intensità della seconda armonica misurata con il rilevatore al silicio. Gli errori sugli angoli sono inferiori a 0.5 gradi centesimali, gli errori dell'intensità sulle ultime cifre significative sono indicati tra parentesi.

$\theta$	$V_{pp}$ [mV]	$\theta$	$V_{pp}$ [mV]	$\theta$	$V_{pp}$ [mV]	$\theta$	$V_{pp}$ [mV]	$\theta$	$V_{pp}$ [mV]	$\theta$	$V_{pp}$ [mV]
0°0'	4.6(8)	1°18'	120(4)	1°50'	290(10)	2°44'	490(20)	3°38'	260(10)	4°10'	98(4)
0°6'	7.2(8)	1°20'	128(4)	1°52'	300(10)	2°48'	490(20)	3°40'	250(10)	4°14'	86(4)
0°12'	8.4(8)	1°22'	138(4)	1°54'	310(10)	2°54'	490(20)	3°42'	235(10)	4°18'	74(2)
0°18'	11.0(8)	1°24'	148(4)	1°56'	325(10)	3°0'	470(20)	3°44'	220(10)	4°22'	61(2)
0°24'	13(1)	1°26'	158(4)	1°58'	340(10)	3°4'	450(20)	3°46'	210(10)	4°26'	50(2)
0°30'	16(1)	1°28'	170(10)	2°0'	350(10)	3°8'	440(20)	3°48'	200(10)	4°30'	42(2)
0°36'	22(1)	1°30'	180(10)	2°2'	355(10)	3°12'	420(20)	3°50'	190(10)	4°34'	35(1)
0°42'	30(1)	1°32'	190(10)	2°6'	380(10)	3°16'	400(20)	3°52'	180(10)	4°38'	29(1)
0°48'	40(2)	1°34'	200(10)	2°10'	400(10)	3°20'	370(10)	3°54'	165(10)	4°44'	22(1)
0°54'	53(2)	1°36'	210(10)	2°14'	420(20)	3°24'	350(10)	3°56'	155(10)	4°50'	17(1)
1°0'	66(2)	1°38'	220(10)	2°20'	440(20)	3°26'	335(10)	3°58'	144(4)	4°56'	13(1)
1°6'	84(4)	1°40'	230(10)	2°24'	460(20)	3°28'	325(10)	4°0'	136(4)	5°2'	9.0(8)
1°10'	96(4)	1°42'	245(10)	2°28'	470(20)	3°30'	310(10)	4°2'	128(4)		
1°12'	100(4)	1°44'	255(10)	2°32'	480(20)	3°32'	300(10)	4°4'	120(4)		
1°14'	106(4)	1°46'	270(10)	2°36'	490(20)	3°34'	290(10)	4°6'	112(4)		
1°16'	112(4)	1°48'	280(10)	2°40'	490(20)	3°36'	275(10)	4°8'	104(4)		

Tabella 3: Angolo di *phase matching*. L'errore sull'angolo è inferiore a 0.5', quindi è trascurabile.  $\theta_m$  dipende dall'orientazione del cristallo rispetto all'asse ottico e dal montaggio del goniometro quindi varia in modo non ripetibile tra le misure dei diversi gruppi di laboratorio. Pertanto non riteniamo rilevante misurare il nostro preciso  $\theta_m$  e partiamo a contare l'angolo  $\theta$  da un arbitrario 0.