

DynaPhoPy

Alessandro Serra

September 16, 2024

Contents

1	Installazione	1
2	File Necessari	1
2.1	File di Struttura POSCAR	1
2.2	File Input per Dynaphopy	1
2.3	File <i>lammps-data</i>	3
3	Interfaccia con <i>PhonoPy</i>	3
3.1	Generazione degli Spostamenti	3
3.2	Calcolo dei <i>Force-Sets</i>	3
3.3	Calcolo delle <i>Force Constant</i>	4
4	Calcolo con <i>DynaPhoPy</i>	4
4.1	Generazione file supercella	4
4.2	Run MD	4
4.3	Aggiornamento Input <i>DynaPhoPy</i>	5
4.4	Calcolo delle Bande	6
4.5	Algoritmo di Fitting	7
5	Salvare i Dati	8

GitHub Repo

Un esempio di calcolo completo per il silicio è visibile al link Si-LAMMPS

1 Installazione

Al fine di rendere la gestione delle dipendenze più facile è consigliabile creare un ambiente *conda* apposito nel quale utilizzare i vari tools.

Di seguito la lista di pacchetti necessari:

- Python 2.7.x/3.5 o superiore;
- Matplotlib
- Scipy
- h5py
- pyYAML
- Phonopy 2.0 o superiore (Guida Installazione)
- (opzionale ma consigliato) pyFFTW
- (opzionale nel caso di GPU) Funzioni CUDA (Guida Installazione)

Nella mia esperienza installare pyFFTW tramite *conda* porta a dei problemi su MacOS, consiglio di scaricarlo via *pip*.

Installate le varie dipendenze procediamo con l'installazione di *DynaPhoPy*:

```
$ pip install dynaphopy
```

2 File Necessari

2.1 File di Struttura POSCAR

L'unico file strettamente necessario (esclusi *force-fields*) è il file di struttura cristallina del materiale di interesse, da scaricare in formato *POSCAR*.

È possibile scaricarlo da un qualunque database, nel mio caso ho utilizzato il sito Materials Project.

2.2 File Input per Dynaphopy

Per prima cosa è necessario creare un file di input per *DynaPhoPy*, in questo stage ci servirà per convertire il file *POSCAR* in un file *lammps-data*..

Di seguito l'input:

```
STRUCTURE FILE POSCAR  
file -POSCAR
```

Per ora il file deve contenere solamente il percorso relativo del *POSCAR*.

2.3 File *lammps-data*

Possiamo ora convertire il file POSCAR in un formato leggibile da lammps con il comando:

```
$ dynaphopy input-file --dim 1 1 1 -c lammps file.data
```

3 Interfaccia con *PhonoPy*

DynaPhoPy richiede che venga effettuato a priori il calcolo della matrice delle costanti di forza con *PhonoPy*.

3.1 Generazione degli Spostamenti

Partendo dal file data precedentemente creato generiamo gli spostamenti con il comando:

```
$ phonopy --lammps -c file.data -d --dim="N N N"
```

Dove la stringa tra virgolette rappresenta le dimensioni della supercella che si vuole utilizzare per il calcolo.

3.2 Calcolo dei *Force-Sets*

Una volta ottenuti gli spostamenti e i file delle supercelle con il comando precedente è necessario preparare uno script lammps per il calcolo delle forze. Dato che, in generale, gli spostamenti sono più di uno è necessario creare più file, oppure uno script bash che esegua un singolo script per diversi file data di supercella.

Ciò può essere fatto passando una stringa da linea di comando a lammps in modo che ad ogni iterazione esegua in calcolo per una diversa supercella:

```
#!/bin/bash

for iter in $(seq 1 N); do

    echo -e "Starting iteration #{iter}...\n"

    mpirun -np <numero processori> lmp_mpi -in in.forces \
    -var iter ${iter} | tee out.forces-${iter}

done

echo -e "\nDONE!\n"
```

Dove N rappresenta il numero di file di supercella creati da *PhonoPy*.

Di seguito lo script lammps per calcolare le forze:

```

units                metal

read_data            supercell-00${iter}

mass                1 28.084

pair_style            sw
pair_coeff            * * Si.sw Si

dump                phonopy all custom 1 force.1 id type \
                    x y z fx fy fz
dump_modify          phonopy format line "%d %d \
                    %15.8f %15.8f %15.8f %15.8f %15.8f %15.8f"

run 0

```

Per creare i *FORCE SETS* si deve eseguire il seguente comando:

```
$ phonopy -f force.*
```

3.3 Calcolo delle *Force Constant*

Una volta calcolati i *FORCE_SETS* è possibile calcolare la matrice delle costanti di forza con il comando:

```
$ phonopy --fc-calc FORCESETS --writefc --full-fc -v
```

La flag *-full-fc* consente di calcolare la matrice completa.

4 Calcolo con *DynaPhoPy*

A questo punto possiamo procedere con il calcolo delle bande a temperatura finita.

4.1 Generazione file supercella

I file di supercella generati da *PhonoPy* e *DynaPhoPy* sono leggermente diversi, consiglio quindi di rigenerarlo per evitare incongruenze:

```
$ dynaphopy input-file --dim N N N -c_lammps supercell.data
```

4.2 Run MD

Usando il file di supercella appena generato è necessario eseguire un run MD alla temperatura desiderata:

```

units                metal
boundary             p p p
box                  tilt large
atom_style           atomic
read_data            si-sc.data
mass                 1 28.084
pair_style            sw
pair_coeff            * * Si.sw Si
variable             t equal ${temp}
neighbor              0.3 bin
timestep             0.001
thermo_style          custom step etotal temp vol press
thermo               1000
velocity             all create ${temp} 3627941 dist \
                    gaussian mom yes
velocity             all scale ${temp}
fix                  int all nvt temp ${temp} ${temp} 1.0
run                  10000
dump                 dynaphopy all custom 1 \
                    si${temp}k.lammpstrj vx vy vz
dump_modify          dynaphopy sort id
run                  50000

```

4.3 Aggiornamento Input *DynaPhoPy*

Una volta ottenuta la matrice delle costanti di forza procediamo a completare il file di input per *DynaPhoPy*.

Oltre al percorso del file POSCAR è necessario aggiungere:

- Percorso del file delle costanti di forza;
- Matrice dei vettori di reticolo;

- Matrice di trasformazione per la supercella;
- Percorso in spazio K nel quale rappresentare le bande.

Di seguito un esempio di input completo per il silicio:

```

STRUCTURE FILE POSCAR
./ si -POSCAR

FORCE CONSTANTS
./FORCE_CONSTANTS

PRIMITIVE MATRIX
0.0  0.5  0.5
0.5  0.0  0.5
0.5  0.5  0.0

SUPERCELL MATRIX
2  0  0
0  2  0
0  0  2

MESH PHONOPY
40 40 40

BANDS
0.0 ,    0.0 ,    0.0          0.5 ,    0.0 ,    0.5
0.5 ,    0.0 ,    0.5          0.625  0.25  0.625
0.375 ,  0.375 ,  0.375          0.0 ,    0.0 ,    0.0
0.0 ,    0.0 ,    0.0          0.5 ,    0.5 ,    0.5

```

4.4 Calcolo delle Bande

A questo punto è possibile eseguire il calcolo da riga di comando, tuttavia è molto macchinoso e scarsamente documentato; ho preferito, invece, sfruttare una sorta di interfaccia grafica, richiamabile con il comando:

```
$ dynaphopy input-file temp.lammpstrj -ts <timestep_MD> -i
```

Successivamente apparirà una schermata del tipo:

```
Please enter option number...

 1 - Harmonic calculations
 2 - Change wave vector
 3 - Thermal properties
 4 - Maxwell-Boltzmann analysis
 5 - Power spectrum
 6 - Renormalized phonon dispersion
 7 - Peak analysis
 8 - Atomic displacements distribution
 9 - Preferences
0 - Exit

Input file: input_gan
Structure file: OSCAR_unitcell
MD file: _2000_test.lampstrj

Wave vector: (0, 0, 0)
Frequency range: 0.0 - 40.0 THz
Pow. spectr. resolution: 0.05 THz

Primitive cell atoms: 4
Unit cell atoms: 4
MD supercell atoms: 108
Number of MD time steps: 50001
Time step: 0.001 ps
```

Figure 1: Schermata interattiva di *DynaPhoPy*.

Dalla quale è possibile:

- Calcolare le bande armoniche con la sequenza di numeri 1-3;
- Calcolare le bande a temperatura finita con la sequenza di numeri 6-1;
- Varie altre cose.

4.5 Algoritmo di Fitting

A seconda della temperatura è necessario cambiare algoritmo per il fitting delle bande (sequenza di numeri 9-1):

- Per temperature "basse" l'algoritmo di massima entropia (default) è senza dubbio il più efficiente, mantenendo una buona accuratezza;
- Per temperature "alte" l'errore di fitting è significativo (e talvolta enorme) ed è quindi necessario passare all'interpolazione in serie di Fourier.

Il programma ci consente anche di scegliere quale algoritmo utilizzare per le trasformate di Fourier. Avendo una GPU a disposizione *cuFFT* è senza ombra di dubbio il più rapido, in assenza di GPU *pyFFTW* è più efficiente rispetto a *Numpy*.

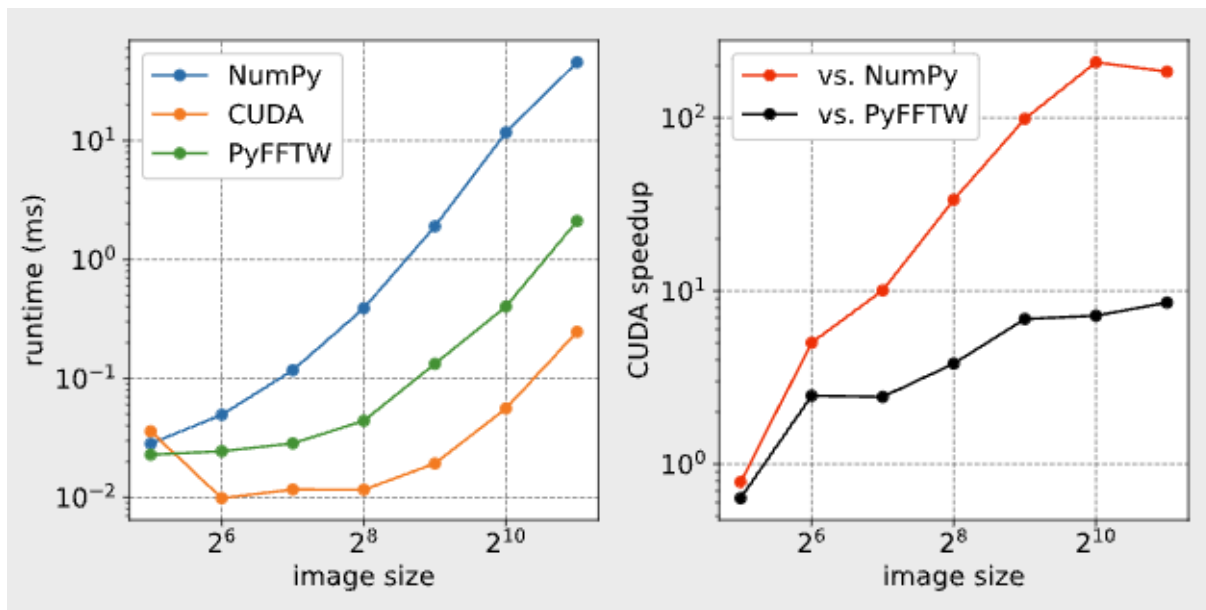


Figure 2: Confronto algoritmi FFT (i dati non sono correlati a questa analisi).

5 Salvare i Dati

DynaPhoPy non presenta un tool apposito per plottare e salvare i dati delle bande in un formato leggibile, dovremmo sfruttare *PhonoPy*.

Per prima cosa è necessario salvare le costanti di forza relative al run MD a temperatura finita con il comando:

```
$ dynaphopy input-file temp.lammpstrj -sfc \
FORCE_CONSTANTS_TEMP --MD-commensurate -psm N -ts <timestep>
```

Dove:

- *-sfc FORCE_CONSTANTS_TEMP* (attenzione a non sovrascrivere file esistenti) salva le nuove costanti di forza;
- *--MD-commensurate* è una flag necessaria in quanto abbiamo eseguito un run MD classico;
- *-psm N* indica l'algoritmo di fitting dei picchi come da numerazione presente nell'interfaccia interattiva (1 M.E.; 2 NumpyFFT; 3 pyFFTW, 4 cuFFT).

Creando un file di configurazione per *PhonoPy*:

```
DIM = N N N
FORCE_CONSTANTS = READ
PRIMITIVE_AXIS = AUTO
BAND = <percorso in spazio K>
MP = I J K (mesh griglia)
```

Dato che *PhonoPy* cerca la stringa "FORCE_CONSTANTS" è necessario rinominare il set di costanti di forza che si vuole utilizzare in tale modo.

Eseguendo il comando:

```
$ phonopy --dim="2 2 2" -c si-poscar band.conf
```

Otteniamo un file plottabile con:

```
$ phonopy-bandplot band.yaml
```

Convertibile nel seguente modo:

```
$ phonopy-bandplot --gnuplot band.yaml > band.dat
```

A questo punto il processo può essere ripetuto per qualunque temperatura e, usando direttamente le costanti di forza generate da *PhonoPy* all'inizio, anche a $0K$.