

**theremino**  
•the•real•modular•in-out•

**Sistema** theremino



# **Theremino Spectrometer Sensori Lineari**

# Sensori lineari

Con la applicazione Spectrometer e il firmware che abbiamo sviluppato per il modulo Nano, si possono leggere i tre tipi di sensori lineari Toshiba che vengono più frequentemente usati negli spettrometri. Potete trovare i loro DataSheet nella cartella "DOCS" della applicazione "Theremino\_Spectrometer".

Il primo è il **TCD1304DG**.

Questo modello è senza dubbio il migliore.

Arriva fino a 3600 pixel e consigliamo di utilizzarlo al posto dei due seguenti.

Il secondo è il **TCD1304AP**.

Fate attenzione quando li comprate che le lettere "AP" al posto di "DG" comportano caratteristiche peggiori.

Anche questa versione "AP" contiene 3600 pixel, ma si ottiene la massima stabilità e il minimo rumore solo selezionando 600 pixel.

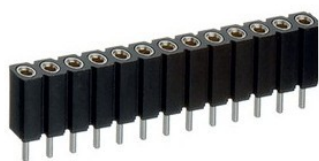
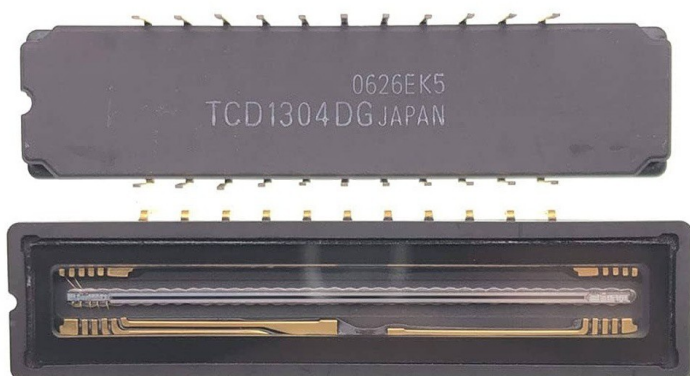
Accettando un peggioramento della caratteristiche si riesce ad arrivare fino a un massimo di 1000 o 1200 pixel. Quindi la risoluzione effettivamente utilizzabile con questo sensore è molto bassa.

E il terzo è il **TCD1254**.

Questo sensore contiene 2500 pixel e sono tutti effettivamente utilizzabili.

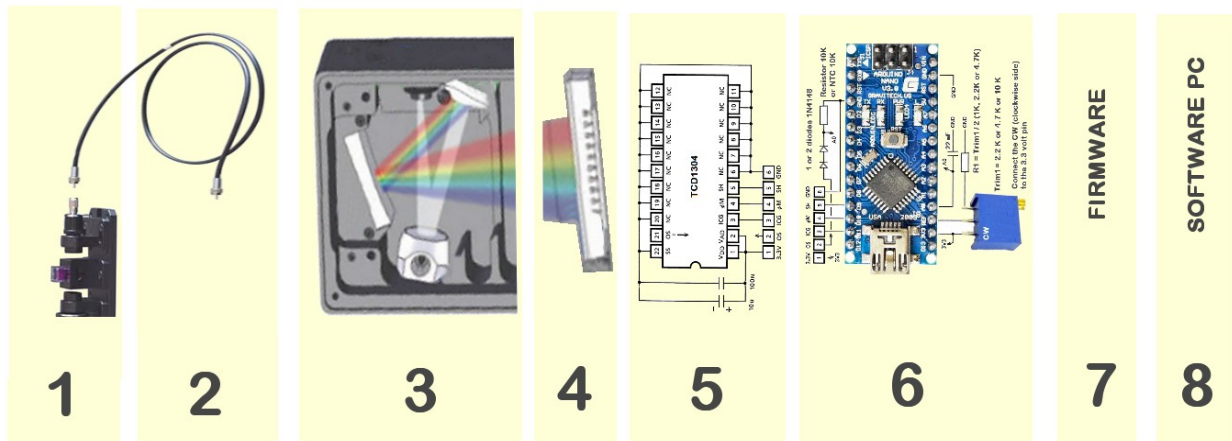
Sconsigliamo di utilizzarlo perché ha solo 2500 pixel, ma anche perché non ha i piedini da infilare in uno zoccolo e quindi è più difficile collegarlo.

E fate anche attenzione che le piazzole sono delicate, per cui se saldate dei fili sulle piazzole potreste scollarle dal sensore (e lo dovrete buttare via).



Consigliamo di non saldare mai i sensori, ma di utilizzare connettori a striscia con i PIN torniti, come questi.

# Struttura dello spettrometro con sensori lineari



Qui si vede tutto il percorso dal segnale ottico fino al software. (1) Portacampioni. (2) Eventuale fibra ottica. (3) Banco ottico del tipo con reticolo a riflessione e specchi. (4) Sensore lineare. (5) Modulo di supporto del sensore lineare. (6) Modulo Nano. (7) Firmware che si trova nel Nano. (8) Software della app. Spectrometer.

Solitamente questi sensori si montano in banchi che contengono un reticolo a riflessione e due specchi.

Li si possono trovare usati oppure si potrebbe stamparli in plastica e comprare solo il reticolo e gli specchi.

Potreste anche costruire un banco con un reticolo trasparente come si fa con le WebCam, ma usando questi banchi con reticoli a riflessione si perde meno luce.

Inoltre lo specchio collimatore concentra tutta la luce sulla sottile riga di pixel del sensore e la sensibilità aumenta ulteriormente di molte volte.

Ma questi banchi hanno due grossi difetti:

- La riga di luce concentrata deve colpire esattamente la riga di pixel del sensore, che è sottilissima. E deve anche essere perfettamente parallela alla riga di pixel e perfettamente a fuoco.
- Le deformazioni prodotte dagli specchi rendono non lineare la scala orizzontale dei nanometri, per cui si deve fare una calibrazione con più di due punti.

E purtroppo fare queste calibrazioni è molto difficile, se non impossibile. Si migliora qualcosa ma va fuori posto qualcos'altro e si continua così a lungo, fino alla rassegnazione, fino a capire che tararli in modo giusto è impossibile e si perde sempre qualcosa da un lato o dall'altro.

E anche la calibrazione è un grosso problema perché abbiamo solo due punti di calibrazione sicuri e stabili (436 e 546) e per averne altri si dovrebbero comprare almeno due o tre lampade a catodo cavo, che costano più dello spettrometro stesso. Inoltre sono lampade fragili sia elettricamente che meccanicamente e hanno bisogno di un alimentatore speciale che costa anche più delle lampade.



# Banchi per i sensori lineari

Solitamente questi sensori si montano in banchi come questi con il reticolo a riflessione (4) e due specchi.

Il primo specchio (3) serve per collimare il fascio e il secondo specchio (5) allarga lo spettro su tutta la larghezza del sensore lineare (6), senza dover allontanare troppo il sensore e quindi mantenendo il banco abbastanza piccolo.

L'ingresso della luce (1) dispone di un connettore per la eventuale fibra ottica ed è seguito da una fessura (2).



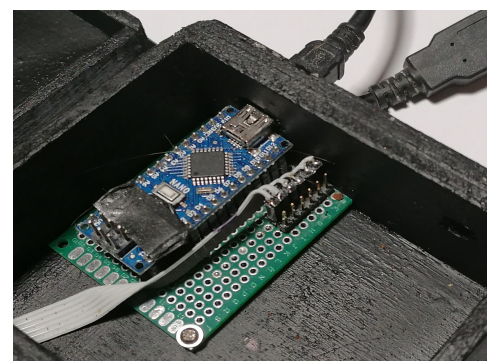
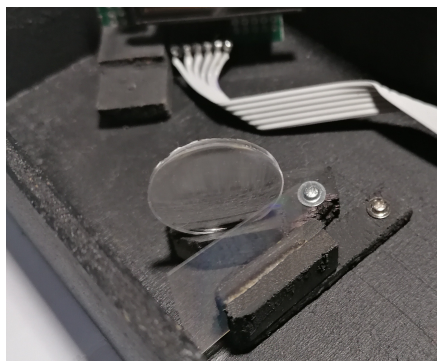
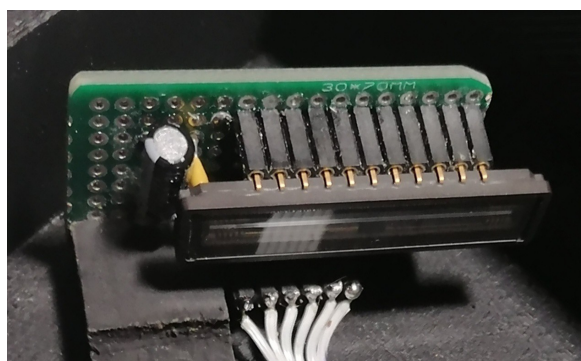
Questi banchi sono abbastanza costosi, li potete trovare recuperati da banchi B&W o Ocean Optics usati e ricondizionati.

Potete cercarli su eBay o altri siti, in questi anni (2024) c'è il venditore "spectropton" che vende il banco completo per meno di 200 dollari e anche i singoli componenti, reticolo e specchi. Provate [questo collegamento](#), è il suo negozio su eBay e dovrebbe durare almeno per un po' di anni.

In alternativa potreste costruire un banco artigianale, come spieghiamo nei PDF sulla costruzione dello spettrometro.

Se usate un reticolo a trasmissione avrete meno luminosità ma la taratura e la calibrazione saranno più facili. Non essendoci il collimatore la tolleranza agli errori in verticale è più ampia. Inoltre la linearità della scala orizzontale è ottima, tanto da non aver bisogno di altri punti di calibrazione oltre ai soliti due (436 e 546) che si ottengono con una economica lampada fluorescente.

In queste immagini si vedono i particolari costruttivi di una mia prova in legno. Potete trovare più dettagli nel file PDF sulla costruzione dello spettrometro.



In ogni caso regolare e mettere a fuoco un banco con il sensore lineare è **notevolmente più difficile** rispetto a un banco con la WebCam. Usate questi sensori solo se avete molto tempo e pazienza.

# Banchi per analisi specialistiche

In alcuni casi i sensori lineari, montati in un banco con reticolo a riflessione e specchi, possono funzionare meglio, ed anche essere varie volte più luminosi, rispetto alla migliore WebCam.

I banchi di cui parliamo sono B&W o Ocean Optics di recupero come il seguente.



E i casi specialistici cui ci riferiamo sono analisi su una regione ristretta dello spettro, ad esempio analisi mediche su alcune particolari righe spettrali che sono sempre le stesse.

Se in questi banchi si tara lo specchio collimatore per concentrare tutta la luce sul sensore si può ottenere un notevole aumento di luminosità, ma solo in una zona ristretta dello spettro, ad esempio da 500 a 650 nm.

Questo forte aumento di luminosità lo si ottiene a spese di tutte le altre caratteristiche e gli effetti collaterali negativi sono notevoli:

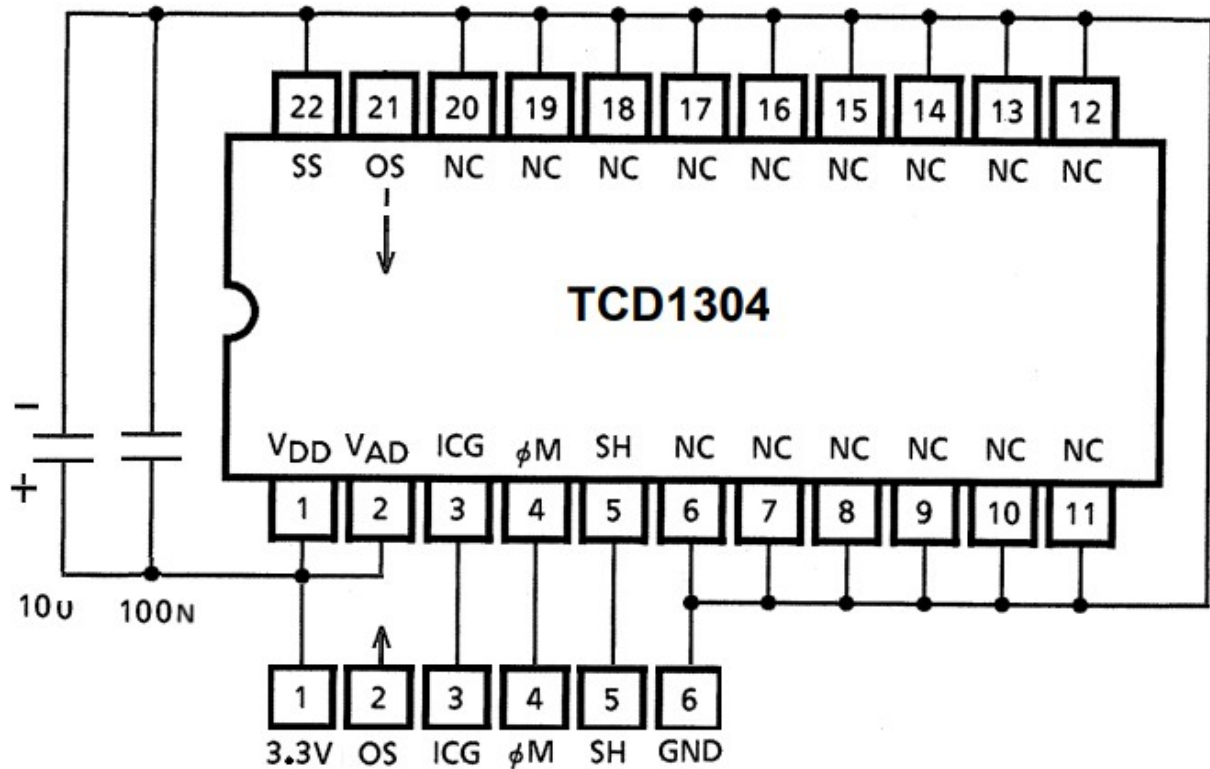
- Un banco del genere non sarà utilizzabile per analisi generiche su tutto lo spettro.
- La calibrazione è delicata e molto difficile da effettuare, potrebbe venirvi perfetta una volta per caso e non riuscirci più il giorno dopo.
- Anche la più piccola variazione delle viti di regolazione provoca notevoli variazioni di luminosità e quindi anche variazioni dei valori misurati.
- La parte al di fuori della ristretta zona di analisi sarà completamente starata, fuori fuoco e inutilizzabile.
- La linearità su tutto lo spettro utilizzabile, che è comunque ristretto, sarà pessima.
- Per ottenere una ragionevole taratura della scala orizzontale si dovrà disporre di numerose sorgenti di taratura precise, cioè almeno tre o quattro lampade a catodo cavo, che vi costerebbero più dello spettrometro stesso.

In definitiva per tutti noi comuni mortali, che vogliono un banco generico, in grado di misurare con precisione ragionevole dagli ultravioletti fino agli infrarossi, questi sensori e questi banchi sono una pessima scelta.

# Modulo porta sensore

Fate attenzione ad utilizzare la versione DG del sensore, come spiegato nella prima pagina di questo documento.

Potete trovare il DataSheet nella cartella "DOCS" della applicazione "Theremino\_Spectrometer" oppure scaricarlo da qui: [https://eu.mouser.com/datasheet/2/408/TCD1304DG\\_Web\\_Datasheet\\_en\\_20190108-2508269.pdf](https://eu.mouser.com/datasheet/2/408/TCD1304DG_Web_Datasheet_en_20190108-2508269.pdf)



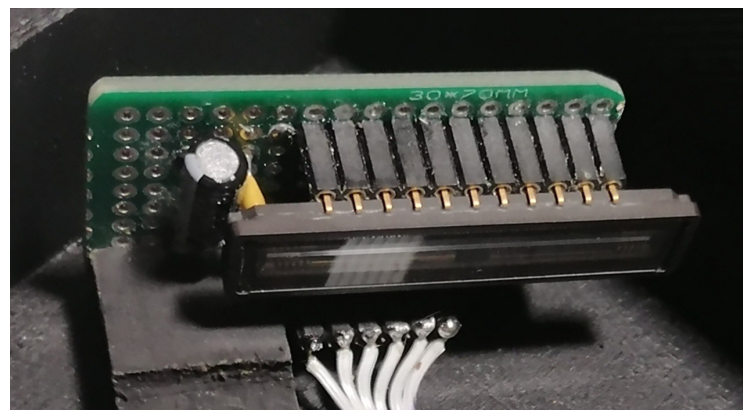
Questo modulo è molto semplice per cui potete costruirlo facilmente saldando due connettori a striscia da 11 poli di tipo femmina, su una basetta mille-fori.



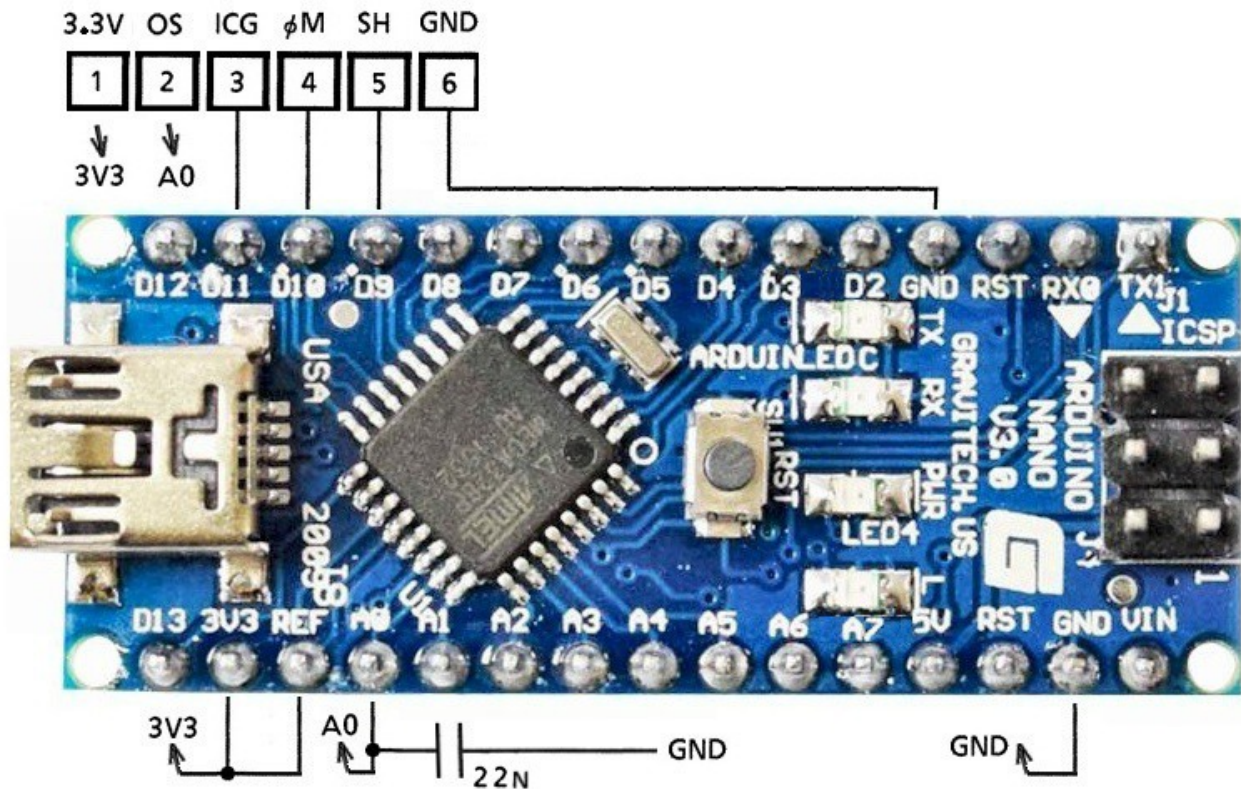
Fate molta attenzione a usare connettori torniti, con fori rotondi, altrimenti i contatti col sensore potrebbero essere instabili e generare molti problemi.

Il connettore di uscita con sei fili sarà di tipo maschio e il cavo piatto di collegamento al modulo nano avrà le femmine tornite ai due estremi.

In questa immagine si vede un sensore TCD1304DG montato in uno spettrometro artigianale in legno. Nella parte bassa si nota il cavo "FLAT" (preso dai cavi per collegare i vecchi Floppy e HardDisk meccanici) con i sei fili di collegamento che vanno verso il modulo Nano.



# Modulo Nano - Versione semplice



Questa versione è molto semplice e potete montarla in pochi minuti su una basetta mille-fori utilizzando due strisce femmina da quindici poli.

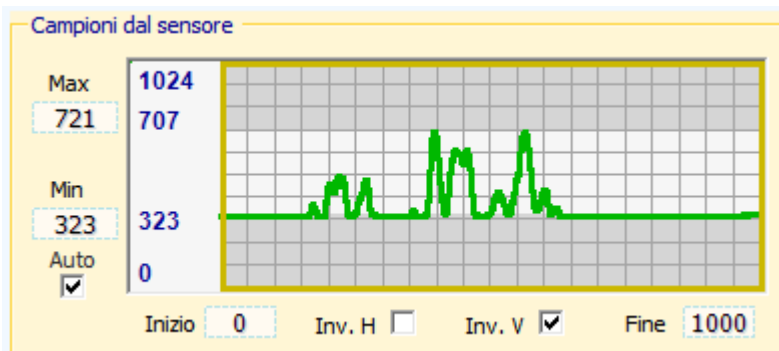


Usate solo connettori torniti, con fori rotondi, altrimenti i contatti potrebbero essere instabili e generare molti problemi.

Con questa versione si utilizza solo un terzo dei valori disponibili nell'ADC del Nano, cioè circa 400 valori su 1024 massimi.

Infatti nella immagine qui a destra si vede che la zona chiara è circa un terzo del totale.

Lo spettrometro funziona perfettamente anche così e nella pratica non ci saranno differenze significative.

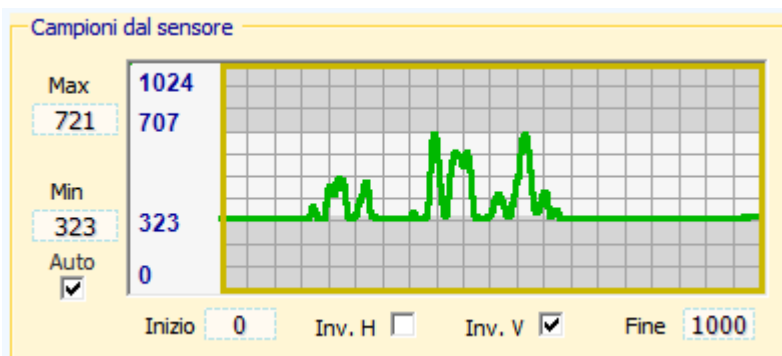


Chi volesse utilizzare un numero di gradini maggiore e vedere la immagine più grande può aggiungere qualche componente come spiegato nelle prossime pagine.

# Modulo Nano - Versioni migliorate

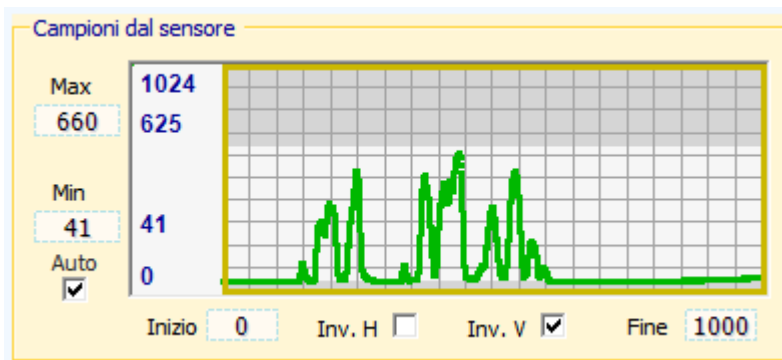
Con la versione semplice della pagina precedente si utilizzano circa 400 valori dell'ADC e la immagine è abbastanza schiacciata in verticale.

Lo spettrometro funziona lo stesso bene ma si potrebbe fare di meglio.



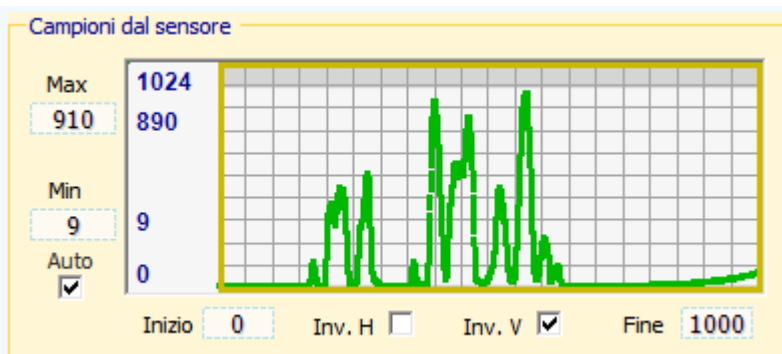
Aggiungendo un Trimmer come si vede nella prossima pagina precedente si utilizzano circa 600 valori dell'ADC e la immagine è già più grande

Il guadagno è solo del 50% per cui si potrebbe pensare di passare alla versione più complessa con trimmer e diodi che verrà spiegata nella pagina successiva.



Aggiungendo anche i diodi e un resistore o un NTC, si arriva a circa 900 valori e la immagine è molto più grande

Però questa ultima versione è più complessa e comprende componenti critici cui fare attenzione.

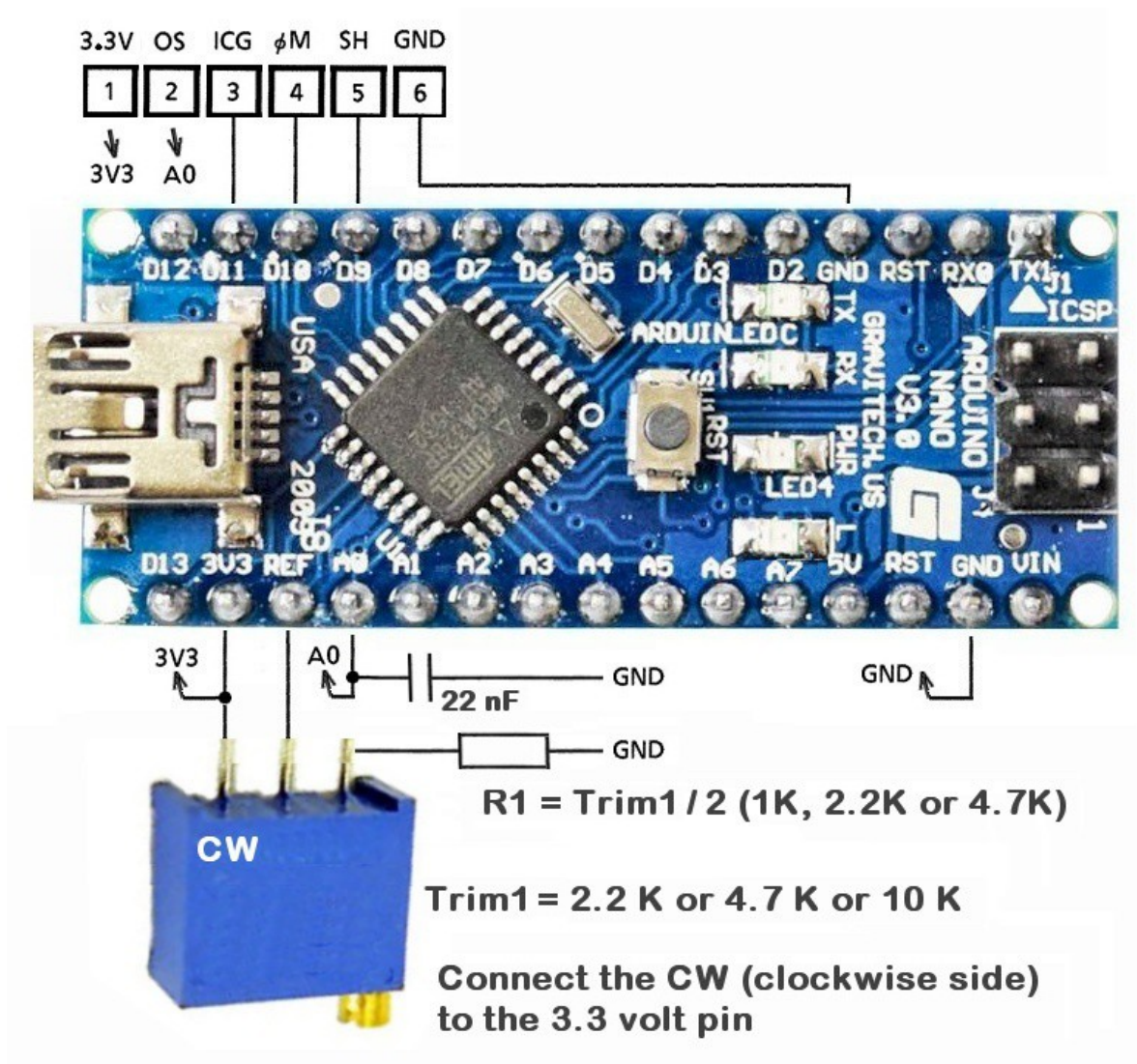


Le prestazioni dello spettrometro non variano di molto tra le varie versioni ma i problemi costruttivi aumentano e con essi anche la possibilità di fare errori.

Un buon consiglio potrebbe essere di iniziare con la versione semplice ma utilizzando un mille-foi un po' abbondante in modo da lasciare spazio per aggiungere il trimmer e i diodi in un secondo momento.



# Modulo Nano - Versione con trimmer

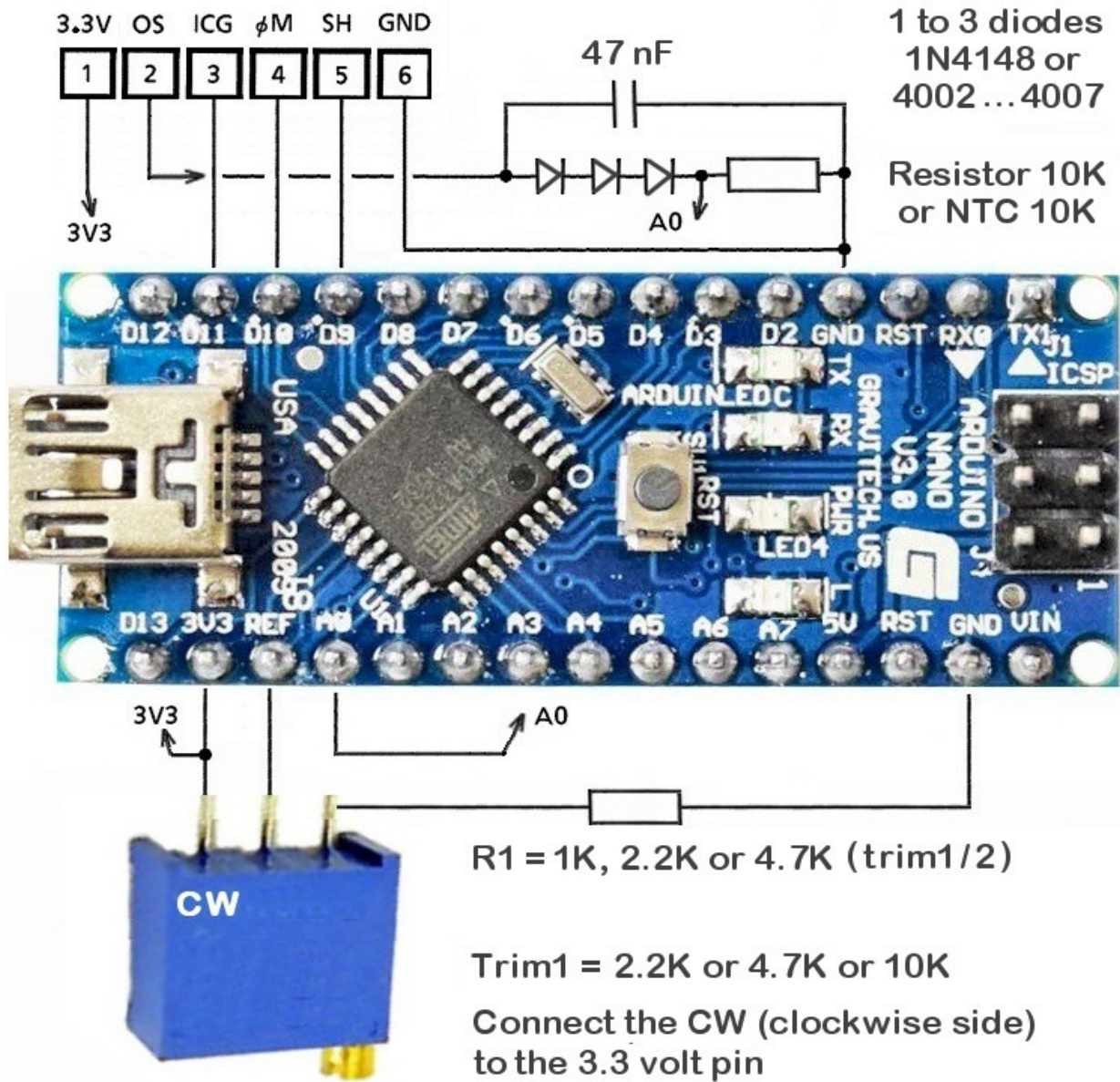


Non c'è molto da dire su questa versione si aggiunge il trimmer e un resistore e si aumenta del 50% la zona utile di valori.

- Se il trimmer è da 2.2 K allora si utilizza un resistore da 1 k
- Se il trimmer è da 4.7 K allora si utilizza un resistore da 2.2 k
- Se il trimmer è da 20 K allora si utilizza un resistore da 4.7 k

Se saldate il trimmer nel verso giusto (con CW dove indicato) allora avvitando in senso orario la sua vite i valori misurati cresceranno.

# Modulo Nano - Versione con trimmer e diodi



Per il trimmer fate come spiegato nella pagina precedente. I diodi invece andranno aggiunti o tolti sperimentalmente a seconda delle caratteristiche del sensore. Con il TCD1304 dovrebbero essere due o tre, mentre con il TCD1254 potrebbero essere 1 o 2. Una buona idea sarebbe di saldare tre diodi e anche due pin maschi in parallelo a ogni diodo. Così con uno o due ponticelli si potrà scegliere quanti diodi usare.

Il resistore che sta tra i diodi e GND dovrebbe andare bene da 10K ma se con tre diodi ancora non si arriva nella parte alta del campo dell'ADC (saturazioni intorno a 900) allora si potrebbe abbassarlo a 6.8K.

La tensione di caduta dei diodi dipende dalla temperatura ambiente, si potrebbe compensare quasi esattamente questa variazione sostituendo il resistore da 10K o da 6.8K con una NTC dello stesso valore. Ma le variazioni causate dalla temperatura sono abbastanza piccole e si può anche fare a meno della NTC.

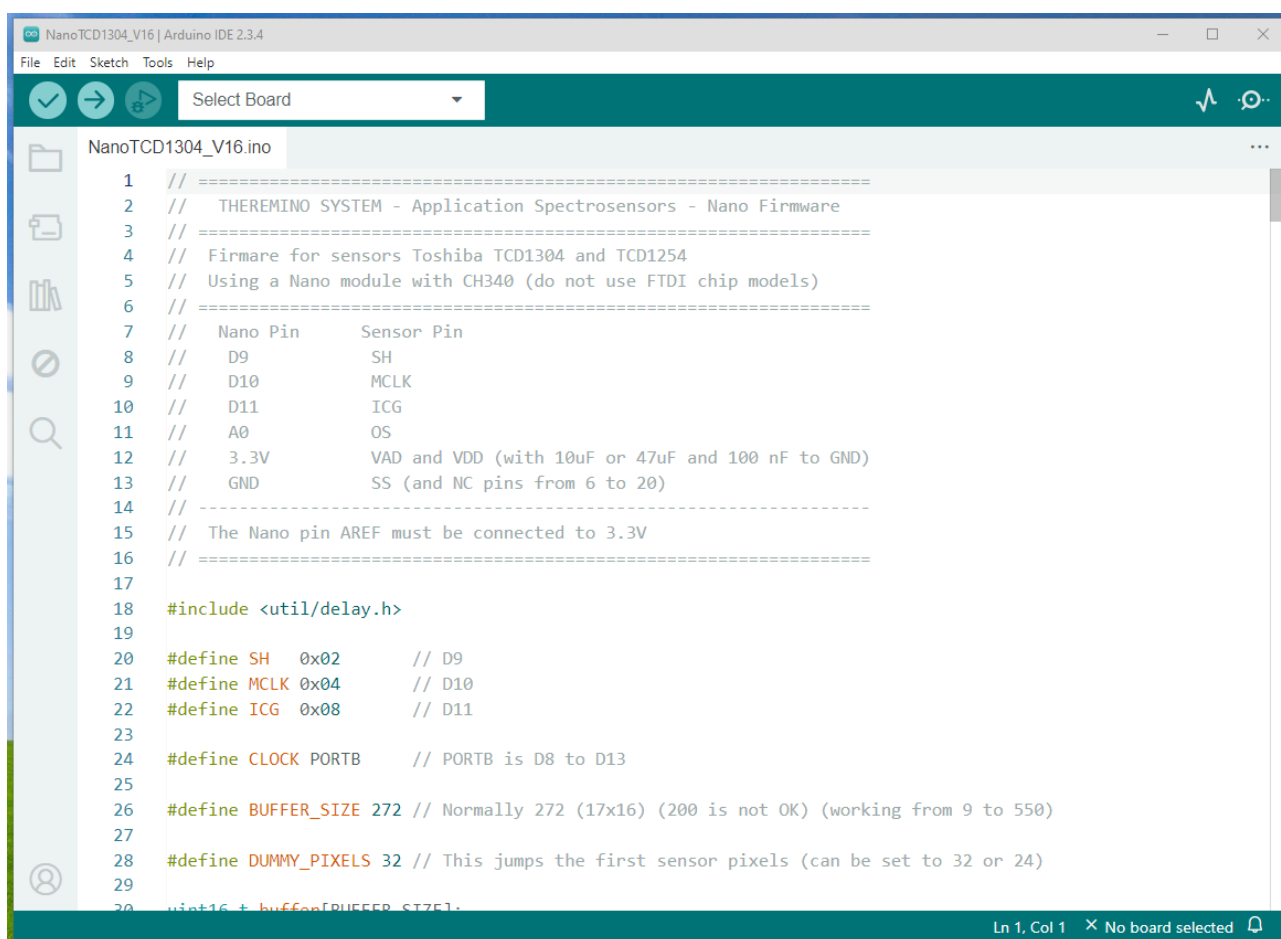
# Firmware

Troverete il firmware da programmare nel modulo Nano nella cartella "Firmware" che si trova accanto al file eseguibile dello spettrometro "Theremino\_Spectrometer.exe".

Lo aprite con l'IDE di Arduino e lo programmate. Potete usare Arduino IDE della versione 1.xx o anche le versioni 2.xx.

Nel menu Tools dovete selezionare Nano come tipo di Board, poi dovete scegliere la porta COM cui è collegato e dovete anche scegliere il tipo di processo re che ha, che deve essere 328P e non 168P.

Se non si riesce a programmarlo allora si deve scegliere "328P old bootloader".



```
NanoTCD1304_V16 | Arduino IDE 2.3.4
File Edit Sketch Tools Help
Select Board
NanoTCD1304_V16.ino
1 // =====
2 // THEREMINO SYSTEM - Application Spectrosensors - Nano Firmware
3 // =====
4 // Firmare for sensors Toshiba TCD1304 and TCD1254
5 // Using a Nano module with CH340 (do not use FTDI chip models)
6 // =====
7 // Nano Pin      Sensor Pin
8 // D9            SH
9 // D10           MCLK
10 // D11           ICG
11 // A0            OS
12 // 3.3V         VAD and VDD (with 10uF or 47uF and 100 nF to GND)
13 // GND          SS (and NC pins from 6 to 20)
14 // -----
15 // The Nano pin AREF must be connected to 3.3V
16 // =====
17
18 #include <util/delay.h>
19
20 #define SH  0x02    // D9
21 #define MCLK 0x04   // D10
22 #define ICG 0x08   // D11
23
24 #define CLOCK PORTB // PORTB is D8 to D13
25
26 #define BUFFER_SIZE 272 // Normally 272 (17x16) (200 is not OK) (working from 9 to 550)
27
28 #define DUMMY_PIXELS 32 // This jumps the first sensor pixels (can be set to 32 or 24)
29
30 uint16_t *buffer[BUFFER_SIZE];
```

Nelle prime righe del programma ci sono spiegazioni sui Pin usati e numerose configurazioni. Non dovrete cambiare nulla a meno che siate veramente esperti e che vogliate fare prove o modifiche.

Una volta scritto il programma nel Nano questo funzionerà immediatamente.

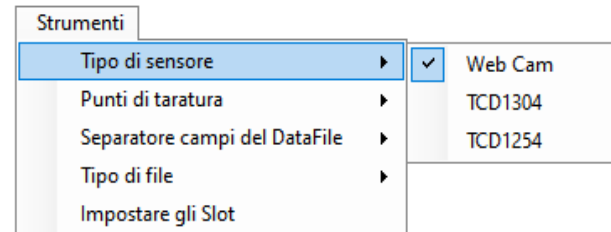
Potete provarlo, seguendo le istruzioni della prossima pagina, anche se non disponete del sensore lineare e se non avete ancora preparato i collegamenti, basta che il Nano sia collegato alla USB.

# Provare il modulo Nano e il firmware

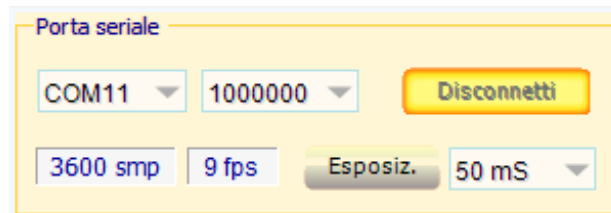
Una volta scritto il programma nel Nano questo funzionerà anche senza sensore e senza collegamenti, basta un modulo Nano, così come lo avete acquistato e non collegato a niente altro che la USB.

Dopo aver programmato il Nano con il firmware dovete lanciare l'applicazione Spectrometer e controllare le sue caselle di comunicazione.

Nel menu Strumenti bisogna scegliere il tipo di sensore e deve essere TCD1304 oppure TCD1254.



Poi nel pannello della "Porta seriale" si deve aprire la casella che ora mostra "COM11" e scegliere la porta giusta a seconda di dove si è collegato il cavo USB.

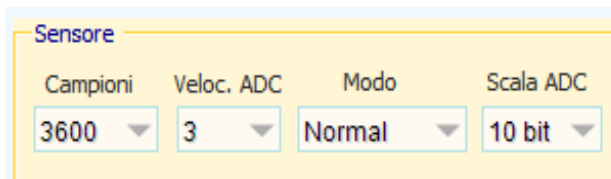


Nella seconda casella si sceglie sempre 1000000 perché il firmware funziona solo a 1 mega baud.

Se la porta scelta è quella giusta e il Nano è stato programmato, allora premendo il pulsante "Connetti" lo si vedrà colorarsi in giallo e arancio con la scritta "Disconnetti", come nella immagine qui sopra, e nelle due caselle inferiori appariranno il numero di campioni (smp) e la velocità (fps).

Infine possiamo farci mandare dei campioni di prova dal modulo Nano e visualizzarli.

Nel pannello "Sensore" cliccate sulla casella "Modo" e scegliete uno dei modi di prova da "Debug 1a" fino a "Debug 3c"



A seconda del modo di prova scelto e del numero di campioni, vedrete delle figure con denti più o meno numerosi e con diverse intensità nella scala verticale.

