



Tecniche di Costruzione di Prototipi

di Mario Rotigni

m.rotigni@elettronicaemaker.it

Nell'iter progettuale, la fase sicuramente più coinvolgente è proprio quella della realizzazione vera e propria del prototipo. È il momento nel quale il risultato del nostro lungo lavoro, ovvero idee, disegni, pseudo-schemi, variazioni, revisioni e molto altro, prendono finalmente forma e sostanza, diventando qualcosa di fisico e (si spera...) funzionante!

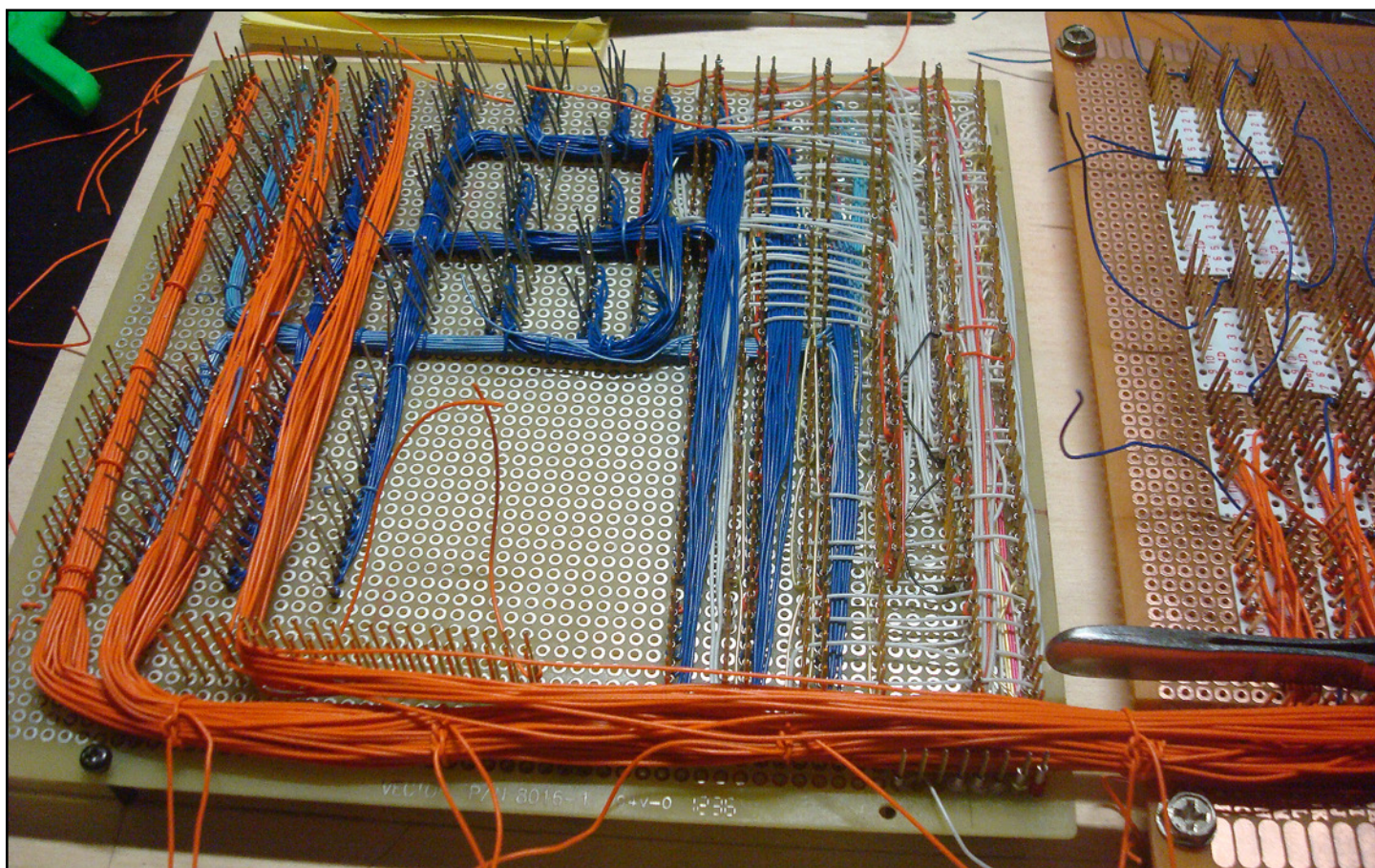
In questo articolo passeremo in rassegna le principali tecniche costruttive di circuiti elettronici amatoriali (e non). Per ciascuna delle tecniche introdotte si descriveranno brevemente pregi e difetti. Qualunque sia la tecnica costruttiva scelta, prima di mettere mano ai componenti fisici è necessaria una accurata attività di preparazione. Anzitutto va sempre steso lo schema elettrico, seguendo alcune elementari norme che ne aumentano la chiarezza e facilità di lettura. Tutti gli ingressi devono essere sulla sinistra del foglio, le uscite sulla destra. Preferibilmente le connessioni all'alimentazione positiva devono essere verso l'alto e le connessioni a massa verso il basso. Resistori condensatori ed induttori vanno disegnati in verticale o orizzontale. I blocchi elementari costituenti lo schema devono essere chiaramente individuabili, rendendo evidente il percorso dei segnali dagli

ingressi alle uscite. Qualora lo schema sia stato ricavato da sorgenti terze ed alcune di queste regole non siano rispettate, si raccomanda di copiare lo schema secondo il formato suggerito. Questo servirà anche a meglio comprendere il funzionamento del circuito. Una volta completato lo schema è necessario stendere un piano di cablaggio, disegnando i vari componenti e le loro interconnessioni nel modo più ordinato e pulito possibile. Gli incroci tra le connessioni dovrebbero essere in questa fase minimizzati. Come vedremo, oggi tutta questa attività di preparazione viene grandemente semplificata dall'uso di programmi su pc.

BREADBOARD

Pur essendo disponibili da vari decenni le breadboard hanno conosciuto un nuovo picco di popolarità sull'onda del movimento maker e della diffusione di Arduino. Possiamo considerare le breadboard come una matrice di contatti elettrici a molla con alcune connessioni precostituite. Il passo della matrice è convenientemente pari a un decimo di pollice, 2,54 mm il passo standard dei circuiti integrati dual in line, che risultano quindi direttamente inseribili sulla breadboard senza necessità di ulteriori zoccoli.

La figura 1 mostra una breadboard sol-



Copertina: esempio di cablaggio complesso con la tecnica Wire-Wrap, lavori in corso, non tutte le connessioni sono complete. Notare l'ordine nella disposizione dei fili.



der-less, figura 2 rende evidenti le connessioni disponibili. Le righe esterne sono tipicamente riservate alla distribuzione di massa e alimentazione. I componenti vengono inseriti direttamente nella matrice, curando di non creare cortocircuito tra i terminali, le interconnessioni sono poi completate con filo rigido o semi-rigido, scoperto dall'isolante per pochi millimetri alle due estremità. Lavorando ordinatamente il montaggio procede in modo semplice e spedito.

Il grande vantaggio di questo metodo di costruzione è che non richiede alcuna saldatura. Un altro grande vantaggio è il fatto che una volta finite le prove, il circuito può essere completamente smontato e la breadboard può essere riutilizzata per realizzare circuiti completamente diversi. Tradizionalmente si stampava uno schema elettrico del circuito da realizzare. Si piazzavano tutti i componenti attivi e passivi sulla breadboard, seguendo il piano di assemblaggio

disegnato a mano e curando di minimizzare lunghezza delle connessioni ed incroci. Si iniziava realizzando tutte le connessioni di massa, poi tutte le connessioni di alimentazione, curando di colorare sullo schema elettrico i collegamenti eseguiti ed usando fili di colore diverso per il positivo, massa e segnali. Quest'ultimo accorgimento facilita in seguito l'ispezione finale, eventuali modifiche e correzione di errori. Si passava poi alle interconnessioni tra i componenti, realizzando quindi le connessioni di segnale. Il lavoro era terminato quando tutte le maglie dello schema elettrico risultavano colorate. Oggi il lavoro è ulteriormente semplificato dalla disponibilità di programmi come Fritzing, che consentono di disegnare lo schema elettrico e poi direttamente il cablaggio su un'immagine della breadboard, mantenendo il collegamento allo schema con le connessioni evidenziate come "elastici"

<http://fritzing.org/home/>.

Ne consegue che le connessioni tra com-

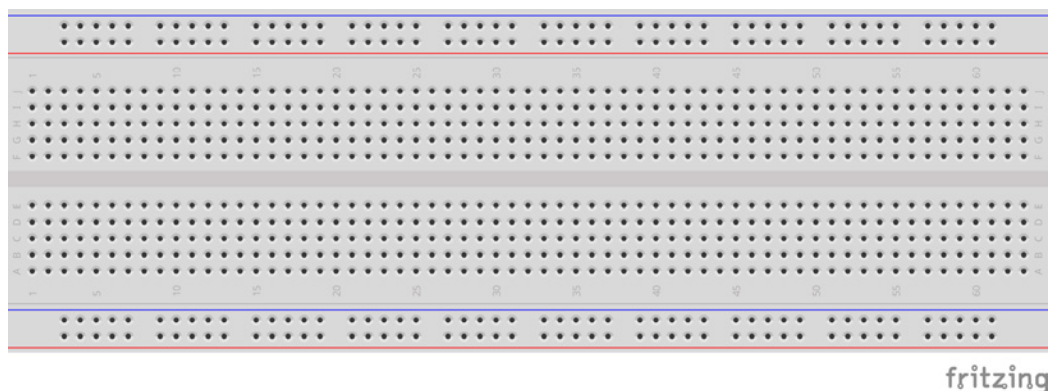


Figura 1: La breadboard catturata dal programma Fritzing prima di iniziare piazzamento di componenti e collegamenti.

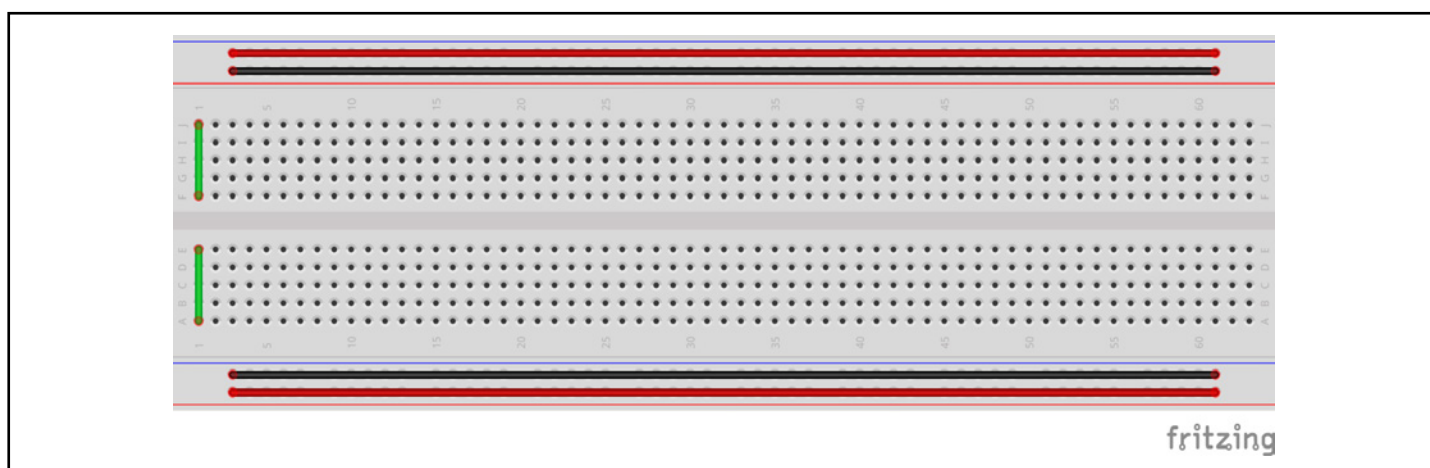


Figura 2: La breadboard in Fritzing con evidenziati i collegamenti interni tra le righe esterne (tipicamente usate per le alimentazioni) e le semi-colonne, tipicamente usate per l'inserzione dei componenti attivi e passivi e le loro interconnessioni (tutte le semicolonne hanno le medesime connessioni interne, solo le due più a sinistra sono evidenziate).

ponente e componente sono predefinite rendendo praticamente nulla la possibilità di errori. È buona norma collegare tra positivo nell'alimentazione e massa un ohmetro con cicalino prima di iniziare il cablaggio. Diventa in questo modo immediato identificare un eventuale cortocircuito creato per errore, cosa che sarebbe molto più difficoltosa con il circuito completamente montato. La breadboard si presta per verifiche veloci di piccoli circuiti mentre non è intesa costituire una soluzione duratura a causa della sua fragilità meccanica. La lunghezza non ottimizzata dei fili, le capacità ed induttanze parassite intrinseche in questa struttura costituiscono uno dei maggiori limiti all'applicabilità. Questo fa sì che la breadboard sia meglio adatta a circuiti con livelli di segnale almeno dell'ordine delle centinaia di millivolt e frequenze limitate a pochi

megahertz. Tipiche applicazioni possono essere circuiti digitali, interfacce con microcontrollori, prototipizzazioni veloci di interfacce con sensori preamplificati. Non risulta invece adatta quando si voglia lavorare con segnali analogici a basso livello, frequenze elevate, radiofrequenza ed in generale per circuiti sensibili al rumore elettrico. Un altro limite nell'applicazione deriva dall'affidabilità della matrice di contatti. Questa è determinata anzitutto dalla qualità dei materiali impiegati ma i ripetuti inserimenti ed estrazioni inevitabilmente comportano uno stress meccanico con degrado della stabilità di contatto. Questo fenomeno può facilmente essere esasperato dall'uso di fili di sezione non adatta o dai terminali dei componenti di sezione troppo ampia. È impossibile, malgrado gli svantaggi presentati, sconsigliare l'uso della breadboard



risultando questa troppo pratica e veloce nella verifica di sotto circuiti. Si raccomanda anzitutto una selezione accurata prima dell'acquisto, evitando di riferirsi al prezzo come unico parametro, ma verificando anche la disponibilità di un minimo di dati tecnici. È opportuno in particolare informarsi circa la qualità e tecnologia del contatto e la sezione dei fili raccomandata, curando di farne buona provvista. Si raccomanda di rispettare sempre la sezione massima suggerita, evitando di forzare l'inserimento di conduttori o terminali di componenti troppo grandi, cosa che risulterebbe in un pro-

gressivo degrado o danneggiamento permanente delle mollette di contatto. Spesso sono disponibili presso lo stesso fornitore della breadboard confezioni di fili pretagliati a varie lunghezze e spellati opportunamente. Una sorgente alternativa di filo adatto a basso costo è costituita dai cavetti telefonici multipolari usati per il cablaggio in edifici (controllate sempre la sezione del filo ottenuto prima di utilizzarlo).

MILLEFORI PUNTO-PUNTO

Tecnica definita in vari modi, probabilmente la definizione punto-punto è quella

che rende meglio l'idea nella nostra lingua. Tutte le connessioni in questo caso sono eseguite con filo saldato, a partire da una scheda circuito stampato su cui è riportata una trama di connessioni predefinite, simile alla breadboard, in vari formati. La base isolante può essere realizzata in vari materiali, dalla economica bachelite alle stesse resine FR4 utilizzate per i circuiti stampati. Il formato più semplice è una matrice di piazzole con foro centrale, spaziate di un decimo di pollice (2,54mm) per le ragioni già viste, o del dop-

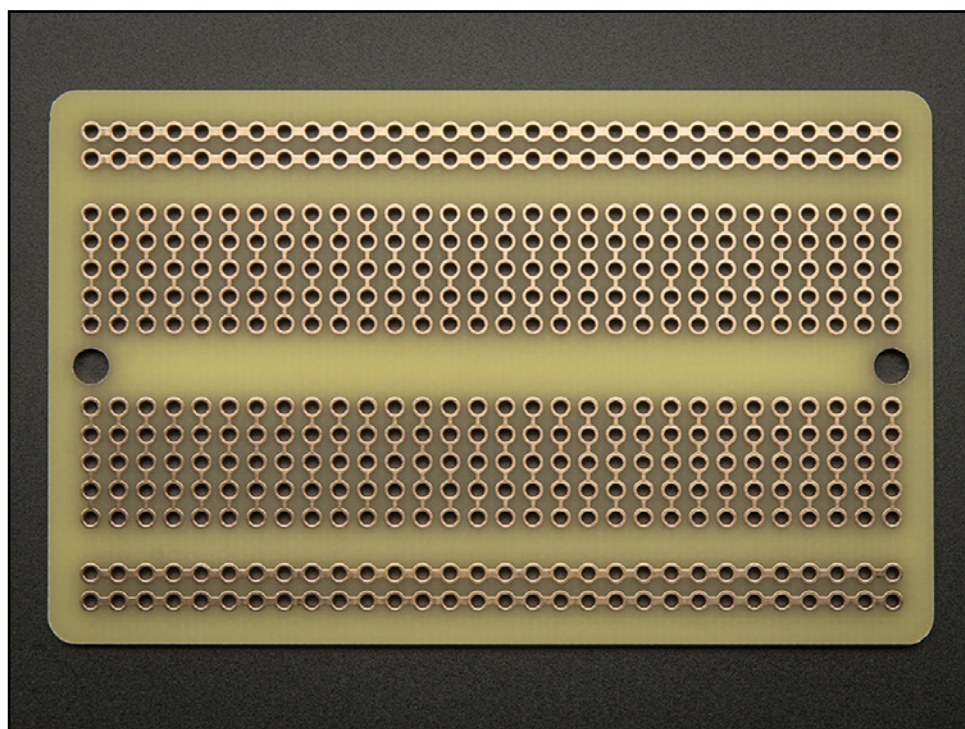


Figura 3: Un circuito stampato per cablaggio punto-punto compatibile con la breadboard di Fig. 1 e 2. Potrebbe essere una soluzione di montaggio più duraturo e robusta, una volta verificato il funzionamento del circuito sulla breadboard. Il cablaggio può essere anche in questo caso guidato dalla documentazione stampata da Fritzing.

pio (circa 5 mm), utile qualora si utilizzino componenti discreti di una certa potenza dissipata, più che circuiti integrati. Tutto quanto detto per quanto riguarda la fase di preparazione di schema e piano di assemblaggio restano validi. Avendo a che fare con saldature il detto inglese “check twice solder once” (verifica due volte e salda una sola) deve sempre guidare la realizzazione pratica. Insistendo troppo con il saldatore su piazzole di piccole dimensioni, è possibile infatti causarne il distacco dal supporto isolante, con danno irreparabile.

L'errore umano è inoltre sempre in agguato. L'immediato vantaggio rispetto alla breadboard consiste nella maggiore robustezza meccanica ed elettrica, cosa che rende il metodo applicabile per realizzare l'applicazione finale, naturalmente nel caso in cui si preveda un esemplare singolo o comunque una riproduzione in limitatissi-

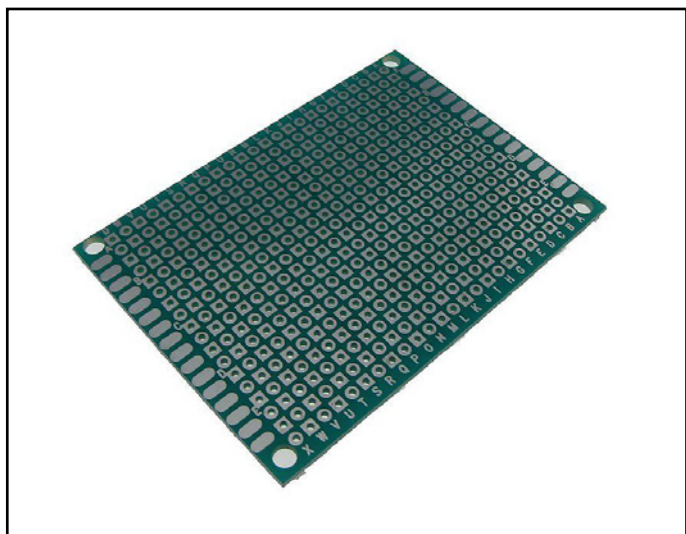


Figura 4: Circuito stampato "mille-fori" per cablaggio punto-punto, senza alcuna connessione pre-definita.

mo numero. Ciascuno sviluppa la tecnica di cablaggio che gli è più congeniale, l'autore preferisce realizzare come prima cosa una solida distribuzione di massa e alimentazione, dopo aver piazzato tutti i componenti attivi e passivi, sotto la guida di un disegno in scala 1:1. Anche in questo caso Fritzing si rivela molto utile. I terminali dei componenti possono essere ripiegati lato rame ed utilizzati per corte connessioni verso i componenti vicini, in generale però sarà necessario tagliare un filo della misura minima richiesta e spellarne le estremità per scoprire pochi millimetri di conduttore nudo e procedere poi a saldatura.

I fili possono essere anche di sezione molto diversa, naturalmente in funzione delle correnti che devono sopportare, rendendo il cablaggio adatto anche ad applicazioni relativamente ad alta corrente. Il tempo richiesto per un assemblaggio è sicuramente maggiore rispetto alla breadboard, in particolare a causa della massiccia attività di spellatura fili richiesta. Qualcuno trova conveniente l'uso di filo auto-splante sotto l'azione del calore generato dal saldatore. Si deve fare attenzione a non toccare l'isolante con la punta del saldatore per evitare di sporcarla, rischiando poi di compromettere le corrette saldature dei conduttori. Un conduttore scoperto erroneamente dal calore espone anche al rischio di creare cortocircuiti indesiderati.

Nel caso si abbia a che fare con tensioni relativamente elevate è consigliabile au-



mentare la distanza di isolamento rimuovendo piazzole di rame intermedie per evitare il rischio di scariche superficiali. È importante utilizzare fili di colore diverso, ad esempio nero per la massa, rosso per l'alimentazione positiva, blu per il segnale principale e così via. Questo rende l'ispezione finale e le quasi inevitabili modifiche più facili. Questo sistema di montaggio in generale non è adatto a circuiti radiofrequenza, a causa della mancanza di un diffuso piano di massa.

Prima di rinviare il lettore a uno dei tanti tutorial sulla saldatura disponibili in rete, ricordiamo qui brevemente le regole auree.

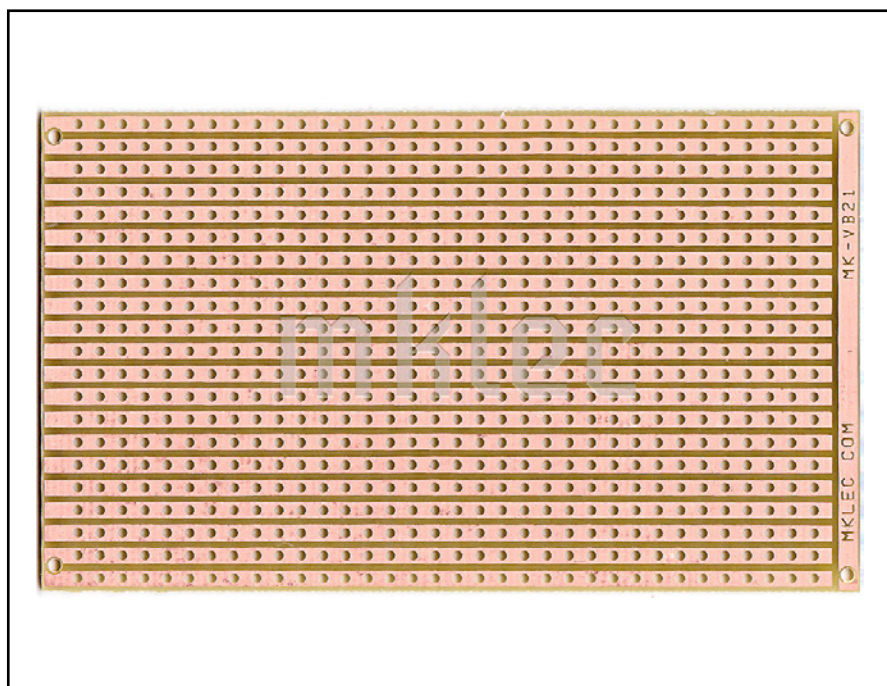


Figura 5: Altra variante di Circuito stampato "mille-fori" con righe interconnesse. Risulta semplice interrompere le connessioni orizzontali seguendo le esigenze del proprio cablaggio, servendosi di un taglierino o di un trapano a bassa velocità con punta svasate per rimuovere il rame allargando i fori dove richiesto.

Usare un saldatore di piccola potenza, con punta di dimensioni adeguate a componenti e piazzole da saldare.

Utilizzare lega saldante in filo sottile con anima disossidante. Mantenere la punta del saldatore ben pulita, fare in modo che la lega saldante venga fusa dal calore trasmesso da piazzole e terminali da connettere e non direttamente dalla punta del saldatore.

Nel caso di componenti a montaggio superficiale non si deve mai toccare il componente con la punta del saldatore.

Una piccola quantità di lega va depositata sulle piazzole e poi fusa toccando la piazzola in modo da non trasferire

eccessive quantità di calore ai microscopici componenti smd.

Usare in ogni caso la quantità minima di lega saldante, rimuovere il saldatore solo dopo aver permesso alla lega di distribuirsi fluidamente sul giunto di saldatura ed al disossidante di completare la sua azione di pulizia. Questo richiede normalmente di mantenere il contatto tra la punta del saldatore ed il giunto da saldare per uno o due secondi.

Ricordiamoci di ventilare l'area di saldatura perché non è molto salutare respirare i fumi che si sviluppano. Una variante del metodo punto - punto è il cosiddetto "dead bug". In questo

caso le saldature sono fatte direttamente tra i terminali dei componenti, mantenendo le connessioni cortissime. Il nomignolo deriva dall'abitudine di montare i circuiti integrati con i piedini verso l'alto, posizione che ricorda appunto un insetto defunto. Ad un più veloce assemblaggio, fanno riscontro maggiore difficoltà nelle modifiche e nella gestione di circuiti con numerosi componenti.

WIRE-WRAP

Tecnica forse un po' desueta, ma interessante se non altro per ragioni storiche, è un metodo di cablaggio punto-punto che non fa uso di saldature. Tutti i componenti sono montati su zoccolo particolare, con lunghi terminali a sezione quadrata con spigoli vivi. Le connessioni sono fatte con filo sottile strettamente avvolto sui terminali degli zoccoli con un apposito utensile (familiaramente chiamato wrappino). L'avvolgimento risulta molto compatto robusto prestandosi anche alla realizzazione di circuiti di una certa complessità. In caso di errori risulta semplice srotolare il filo e procedere alla correzione, servendosi di un altro utensile apposito (swrappino, come il lettore avrà certamente

già indovinato). In passato apparecchiature prodotte in serie limitate sono state realizzate con questa tecnica.

Gli utensili manuali erano in tal caso sostituiti sulla linea di montaggio da utensili elettro-pneumatici. Il wrappino spesso include uno spelafili per rendere più pratico e veloce il cablaggio. Il link seguente presenta una sintetica ma chiara spiegazione della tecnica wire-wrapping, con illustrazioni che mostrano le fasi del cablaggio e gli utensili utilizzati

<https://www.jameco.com/Jameco/workshop/TechTip/wirewrap.html>

Occorre dire che sia il filo che zoccoli ed gli utensili risultano piuttosto costosi.

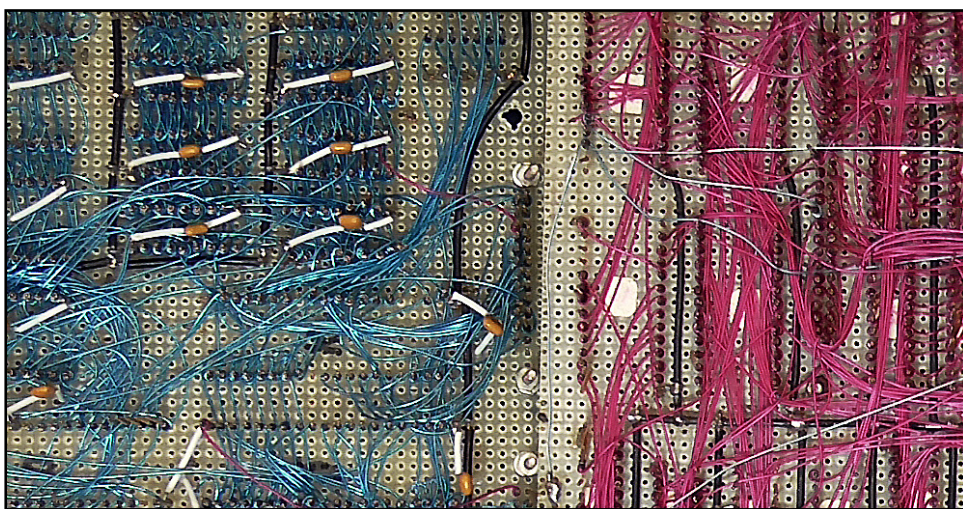


Figura 6 Altro esempio di cablaggio Wire-Wrap. Alcuni componenti passivi (condensatori di filtraggio delle alimentazioni) sono saldati direttamente ai pin degli zoccoli destinati a ricevere circuiti integrati digitali. La saldatura è fatta prima di iniziare il cablaggio a filo. Le piccole etichette bianche sul circuito di destra identificano il circuito integrato in accordo con lo schema elettrico, aiutando ad evitare errori.



PCB

Il circuito stampato, in inglese Printed Circuit Board da cui la sigla PCB comunemente usata, è certamente la tecnica costruttiva più prossima allo stato dell'arte, tra quelle disponibili per l'amatore.

Si accennerà qui soltanto brevemente a questa tecnica in quanto Elettronica & Maker ritornerà presto sull'argomento in modo più ampio e dettagliato. Il circuito stampato è sostanzialmente un supporto isolante su cui sono incollati fogli sottili in materiale conduttore, tipicamente rame, comunemente identificati con il termine inglese layer (strato).

L'isolante può essere economica bachelite o le più pregiate "vetroniti", sostanzialmente fibre di vetro annegate in resine. Isolanti più pregiati e costosi sono disponibili per applicazioni ad alta frequenza ed alta temperatura. In ogni caso, sia le piazzole di connessione dei terminali dei componenti, sia le connessioni tra di loro sono riportate su ogni layer con inchiostri resistenti alla corrosione. Il layer è poi esposto all'azione di agenti chimici che rimuovono il rame rimasto scoperto, lasciando le sole impronte di metallo richieste per le interconnessioni e le saldature, il "circuito stampato", appunto. In generale, un'operazione di foratura è poi necessaria per permettere l'inserimento dei componenti con terminale passante. Nel caso di un circuito a singolo layer, ove si utilizzino solo componenti a montaggio superficiale (smd), teoricamente la fase di

foratura potrebbe essere evitata.

Accenneremo solo al fatto che il circuito stampato può essere costituito da molti layer, alternando strati di isolante a layers conduttori, permettendo la costruzione di applicazioni compatte e complesse, riproducibili in serie con prestazioni ripetibili. Il circuito stampato permette una elevata qualità di interconnessione anche per segnale di basso livello ed elevata velocità, grazie alla possibilità di realizzare diffuse distribuzioni di alimentazione e massa.

Induttanze e capacità parassite non sono affatto assenti ma hanno il vantaggio di essere predicibili, attraverso software di simulazione, mantenendo valori prossimi tra un esemplare e l'altro del circuito stampato. Non basta naturalmente realizzare un circuito stampato invece che un cablaggio filo per avere buone prestazioni elettriche. Viceversa è necessario un accurato studio del posizionamento dei componenti e delle interconnessioni.

Anche se questo processo è oggi grandemente assistito da programmi su PC, anche open source, il tempo richiesto è certamente sensibile. Questo rende il circuito stampato sicuramente la soluzione preferibile nel caso di produzione in più esemplari, piccole medie o grandi serie o quando siano necessarie buone caratteristiche elettriche in termini di basso rumore ed elevate frequenze operative. La robustezza meccanica e la durabilità, unite all'aspetto professionale nella realizzazione, certa-

	Numero di componenti	Tempo richiesto	Prestazioni elettriche	Prestazioni Meccaniche	Affidabilità e Durata	Costo
<u>BreadBoard</u>	•	•	•	•	•	•
<u>Punto-Punto</u>	••	••	••	••	••	••
<u>Wire-Wrap</u>	••	••	••	••	•••	•••
<u>Dead Bug</u>	•	•	•	•	•	•
<u>PCB</u>	•••	---	•••	•••	•••	•••
<u>PCB asporto</u>	••	--	•••	•••	•••	••

Confronto tra le diverse tecniche costruttive, con vantaggi e svantaggi secondo il giudizio soggettivo dell'autore

mente lo rendono molto attraente anche nel settore hobbistico. Dobbiamo notare che componenti compatti come circuiti integrati in contenitore Ball Grid Array sono unicamente utilizzabili con tecniche circuitostampato, non essendo accessibili i terminali.

PCB 'DA ASPORTO'

Una variante della tecnica PCB, utile quando si lavori con soli componenti a montaggio superficiale, consiste nel partire da una piastra circuito stampato e realizzare attraverso fresatura le separazioni invece che le connessioni, lasciando intatte aree di rame su cui saranno poi saldati i componenti smd. Questa tecnica è ben descritta nel tutorial disponibile in

<https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/1110>.

CONCLUSIONI

Abbiamo visto alcune tra le principali tecniche costruttive di prototipi di circuiti elettronici alla portata di hobbisti e maker, cercando di fare una classificazione che ne evidenzi benefici e svantaggi, aiutandoci così nella scelta della tecnica più adatta al circuito che abbiamo in lavorazione.

Naturalmente questo non esaurisce l'argomento, invitiamo anzi i lettori a descrivere le loro tecniche di realizzazione preferite. Notiamo che contaminazioni sono possibili e convenienti tra una tecnica e l'altra. Ad esempio le connessioni punto-punto su una basetta a passo di foratura standard si prestano bene per integrare circuiti stampati preesistenti, ad esempio Arduino e le sue schede di espansione, con circuiti disegnati ad hoc per realizzare le funzioni di nostro interesse.