



# TRIANGULENI: FRAMMENTI SU MISURA DI GRAFENE NON-KEKULÉ

**La sintesi dell'iconico triangulene di Clar nel 2017 ha rilanciato la ricerca di ferromagneti organici con struttura non-Kekulé e stati fondamentali di alto spin. Le caratteristiche topologiche ed elettroniche degli [N]trianguleni, assimilabili a frammenti di nanografene con bordo a zig-zag, rendono questa classe di materiali di grande interesse per lo sviluppo della spintronica del futuro.**

**E**rich Clar (1902-1987) è stato dei grandi chimici del passato capace di creare suggestioni e modelli che hanno ispirato molte generazioni successive. Noto per la definitiva formulazione della teoria del sestetto aromatico [1], Clar ci ha lasciato in eredità l'iconica molecola che conosciamo come *triangulene*, e che tanto interesse sta destando nel campo dei materiali organici [2]. Il triangulene è planare, con 22 atomi di carbonio disposti in sei anelli benzenici fusi, decorato con singoli atomi di idrogeno ( $C_{22}H_{12}$ , **1**, Fig. 1a). Avendo 22 elettroni- $\pi$ , il triangulene è una molecola aromatica secondo la regola di Hückel ( $(4n+2)e^- \pi$ ). Tuttavia, in nessuna delle sue molte strutture di risonanza è possibile appaiare tutti i suoi elettroni  $p_z$  in legami  $\pi$ : per questo motivo è una specie aromatica non-Kekulé con un carattere di biradicale e spin totale  $S=1$ . In effetti, il triangulene è il più piccolo benzenoide con stato fondamentale di tripletto ( $2S+1=3$ ).

## Sintesi di una molecola iconica

La natura fortemente reattiva del triangulene ha stimolato la creatività dei chimici fin dalla sua formulazione negli anni Quaranta-Cinquanta [3], pur rimanendo fuori dalla portata della sintesi di laboratorio

per oltre 60 anni. Fin dai primi tentativi di Clar [4] è stato impossibile isolare il semplice triangulene neutro di cui è ora nota la veloce reazione di polimerizzazione in soluzione [5]. Più accessibile (ma laboriosa) è risultata la sintesi dei precursori 4,8-diidro-triangulene (**2**) e triangulene-4,8-dione (**3**). Ma è solo nel 2017 che nei laboratori IBM di Zurigo il team di Pavliček è riuscito nell'impresa di preparare il triangulene manipolando singoli atomi con una tecnica STM/AFM [6]. La forma diradicalica finale è stata ottenuta depositando su una superficie di Cu il precursore diidrogenato **2** mediante

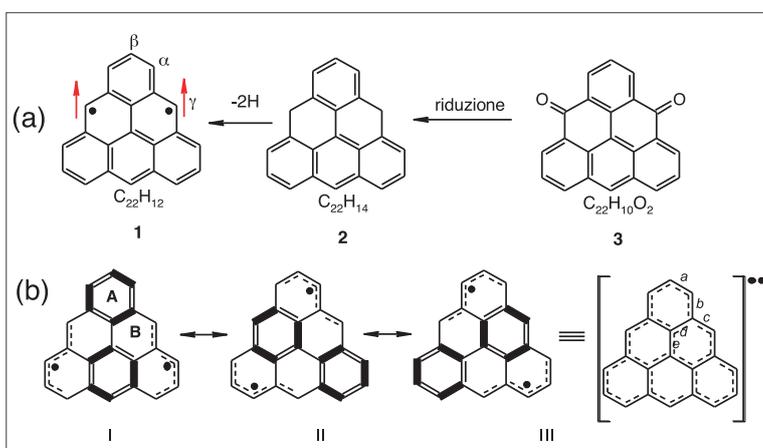


Fig. 1 - a) Struttura chimica di triangulene (**1**) e di suoi precursori (**2-3**); b) forme limite di risonanza di **1** con il maggior numero di sestetti di Clar isolati (linee più spesse)

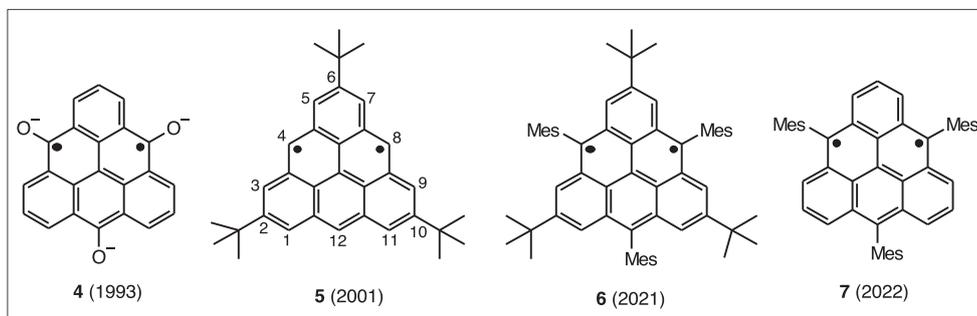


Fig. 2 - Derivati di triangulene (4-7) con carattere diradicalico permanente

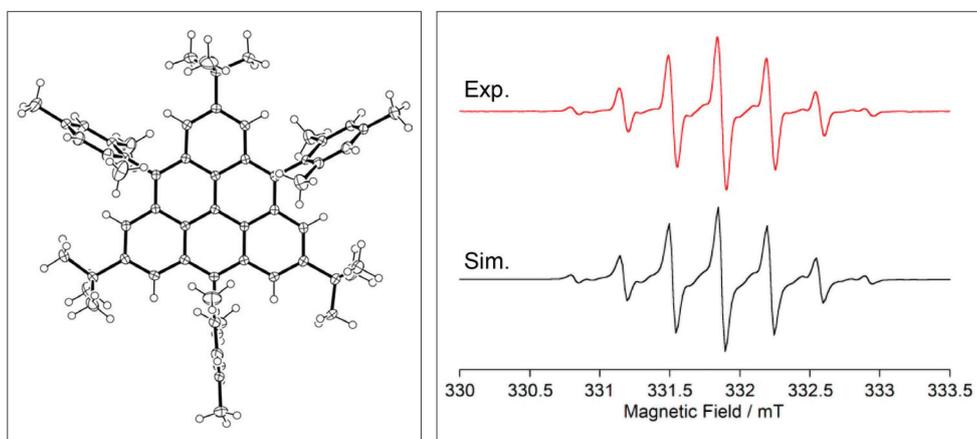


Fig. 3 - Struttura molecolare di **6** e spettro ESR in banda X sperimentale e simulato (riproduzione autorizzata da rif. [10], copyright 2022, American Chemical Society)

sublimazione. Il successivo invio di elettroni della giusta energia attraverso la punta (*tip*) del microscopio ha permesso l'eliminazione puntuale di due atomi di idrogeno e la formazione del triangulene **1**. L'immagine AFM con risoluzione atomica ha messo chiaramente in evidenza la regolarità della molecola [6]. Altre misure hanno confermato che, nonostante la sua natura diradicalica, il triangulene non si lega alla superficie metallica come si poteva supporre, probabilmente perché gli elettroni spaiati sono delocalizzati e risultano indispensabili per preservarne la natura aromatica.

Poiché la regola di Clar prevede che la forma canonica con il maggior numero di sestetti aromatici isolati sia la più stabile, le strutture di risonanza I-III (ciascuna con 9 isomeri) sono le più significative per **1** (Fig. 1b). In tutti i casi è previsto che gli elettroni spaiati siano presenti preferenzialmente sugli atomi di C in posizione  $\alpha$  e  $\gamma$  (9 in totale) del perimetro del diradicalo [7]. A una forte delocalizzazione degli spin corrisponde un'ampia delocalizzazio-

ne dei doppi legami C-C (anelli **A** e **B** sostanzialmente uguali) per i quali sono previsti indici di Wiberg leggermente più bassi che nel benzene.

Il triangulene si modifica  
Prima ancora che il triangulene fosse ottenuto per manipolazione atomica, diversi tentativi erano stati effettuati per ottenerlo in una forma modificata cinematicamente stabile [8, 9]. Il primo tentativo di stabilizzare il diradicalo **1** partendo da **3** aveva portato alla forma trianionica **4** (Fig. 2). Il triosso-triangulene così ottenuto è risultato però altamente instabile se esposto all'aria [8]. Un'altra modificazione riuscita (**5**) era stata ottenuta mediante sostituzione di H nelle posizioni meno sensibili (i 3 carboni  $\beta$  di vertice) per garantire protezione sterica ai carboni più reattivi (carboni  $\alpha$  e  $\gamma$ ). Tuttavia, il triangulene 2,6,10-tri(*tert*-butil)triangulene (**5**) si è rivelato instabile, e già a 273 K mostrava chiari segni di degradazione dovuta a una probabile reazione di oligomerizzazione [9].

Ma è solo con la sintesi del triangulene **6** nel 2021 (vent'anni dopo la sintesi di **5**) che la stabilizzazione cinetica del triangulene si può considerare una sfida vinta [10]. Il 2,6,10-tri(*tert*-butil)-4,8,12-tri(mesitil)-triangulene è il primo triangulene cristallino stabile, la cui struttura molecolare, elettronica e magnetica è stata indagata con successo. La principale chiave del successo sembra essere l'introduzione dei tre sostituenti mesitilici nella posizione  $\gamma$ , sostituzione che non modifica significativamente la natura elettronica del triangulene ma ne favorisce la stabilizzazione cinetica e la cristallizzazione. Lo studio diffrattometrico di **6** ha permesso di ottenere la prima determinazione strutturale di un

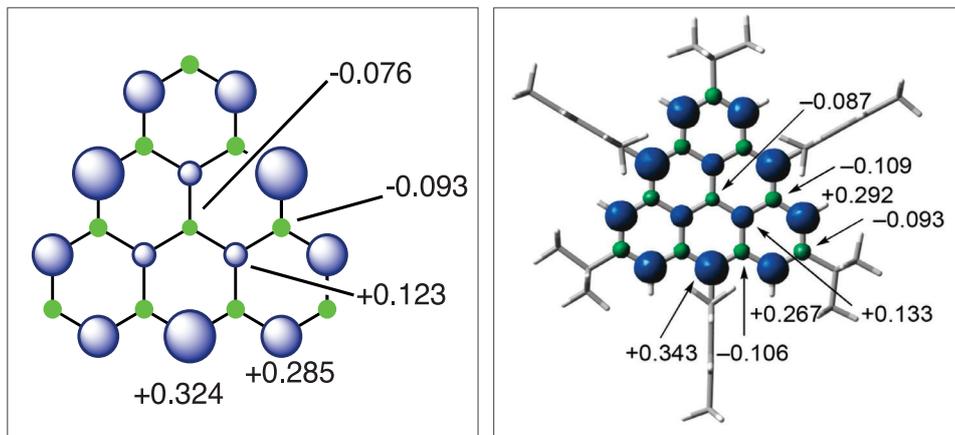


Fig. 4 - Densità di spin totale  $\pi$  ( $\rho_\alpha - \rho_\beta$ ) per lo stato di tripletto di **1** (sinistra) e **6** (destra) calcolata a livello DFT (adattata da rif. [10]). Valori positivi di densità di spin elettronico indicano elettroni  $\pi$  che si trovano nello stato di spin  $\alpha$  con  $M_s = +1$  (superfici blu), valori negativi riguardano lo stato di spin  $\beta$  con  $M_s = -1$  (superfici verdi). Il totale approssima a 2 in entrambi i casi

diradicale nel suo stato fondamentale di tripletto (Fig. 3), confermando le caratteristiche più salienti del triangulene (simmetria, planarità, delocalizzazione). Il core triangulene di **6** ha una simmetria  $D_{3h}$  quasi perfetta, con distanze C-C (distanze a-e in Fig. 1b) nel range 139-143 pm. I valori osservati e gli indici di Wiberg calcolati per queste distanze (1,21-1,40) indicano che nel core triangolare non c'è una significativa alternanza di distanze. Il triangulene **6** è stabile a temperatura ambiente in atmosfera inerte (argon) e si decompone lentamente se esposto all'aria (è pur sempre un radicale).

## Magnetismo nel triangulene

Per avere conferma della natura diradicalica di **6** è stata impiegata la spettroscopia ESR. Lo spettro in banda X mostra un segnale con  $g = 2,0025$  (tipico per radicali idrocarburici). Altre informazioni sperimentali confermano uno stato fondamentale di tripletto ( $S=1$ ). Poiché la stabilizzazione dello stato di tripletto di un triangulene rispetto a quello eccitato di singoletto ( $S=0$ ) viene attribuita a una rilevante polarizzazione di spin degli elettroni  $\pi$ , la densità di spin totale è generalmente calcolata includendo gli effetti di tale polarizzazione. I calcoli effettuati

a livello DFT per la specie **6** prevedono una distribuzione (Fig. 4) molto simile a quella anticipata per **1** [7, 9], a dimostrazione che la sostituzione sui carboni  $\beta$  e  $\gamma$  ha un effetto trascurabile sulla struttura elettronica mentre ne determina una migliore stabilizzazione cinetica per effetto sterico. Questa distribuzione supporta la previsione che, come in **1**, i due elettroni del diradicale siano delocalizzati principalmente sul bordo del core triangulene.

Misure SQUID di suscettività magnetica ( $\chi$ ) su **6** indicano la presenza di un accoppiamento magnetico intramolecolare [10]. Infatti, il valore di  $\chi_p T$  misurato nell'intervallo 10-300 K (0,88 emu K mol<sup>-1</sup>) risulta superiore a quello previsto per due elettroni  $\pi$  per molecola magneticamente indipendenti (0,75 emu K mol<sup>-1</sup>). Mentre da un lato questo indica che in **6** c'è una significativa interazione di scambio tra i due elettroni spaiati nello stato fondamentale di tripletto, altre indicazioni portano a stimare un carattere debolmente antiferromagnetico per l'accoppiamento.

## [N]Trianguleni come ferromagneti organici

Idrocarburi policiclici coniugati contenenti anelli con numero pari di atomi di carbonio come il triangulene presentano due soli tipi di C (A e B), di

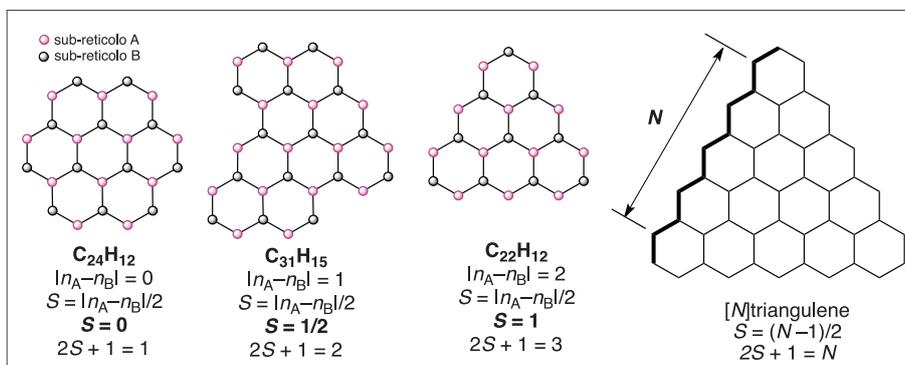


Fig. 5 - Calcolo di S secondo la regola di Ovchinnikov per idrocarburi coniugati policiclici contenenti anelli esagonali fusi di atomi di carbonio

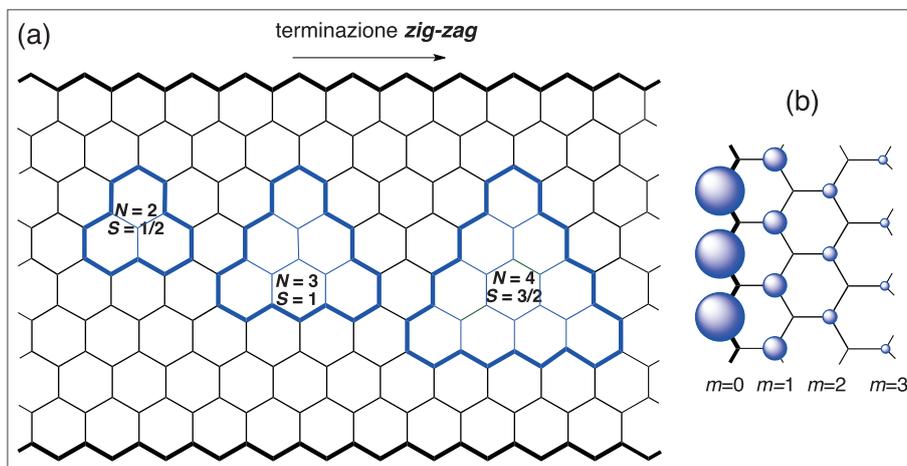
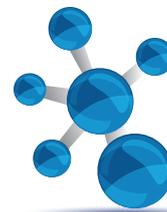


Fig. 6 - a)  $[N]$ trianguleni come porzioni di nastro grafenico con terminazioni zig-zag (bordo più spesso); b) *edge-state* in foglio grafenico semi-infinito con bordo a zig-zag: le dimensioni dei cerchi corrispondenti agli atomi di C del sub-reticolo triangolare sono proporzionali alla densità di carica in ciascun punto lungo l' $m$ -esima catena zig-zag procedendo dal bordo verso l'interno (per una descrizione approfondita v. rif. [15])

modo che ciascun atomo della struttura sia circondato da atomi tutti dell'altro tipo (Fig. 5). Strutture come queste - dette alternanti - presentano un indice cromatico pari a due perchè si può utilizzare un colore per ciascun set di C.

Secondo Ovchinnikov [11], il numero quantico di spin totale  $S$  è dato dalla differenza nel numero di atomi appartenenti ai due set ( $n_A - n_B$ ). Ne consegue che in una molecola come il coronene ( $C_{24}H_{12}$ ) in cui  $n_A = n_B$  gli spin degli elettroni  $\pi$  sono tutti appaiati ( $S=0$ ) in modo da prevederne il diamagnetismo, mentre per una struttura in cui  $n_A \neq n_B$  il numero degli spin *up* è sempre  $\geq 1$  (e quindi  $S \geq 1/2$ ) (Fig. 5). In particolare, per poliradicali a struttura triangolare (idealmente  $D_{3h}$ ) si prevede una relazione topologica tra il valore di  $S$  e le dimensioni (e morfologia) della struttura. Infatti, il valore di  $S$  è collegabile al numero di unità esagonali ( $N$ ) presenti nel lato dello pseudo triangolo equilatero. La Fig. 6 suggerisce, inoltre, che il triangulene non è un caso isolato di molecola triangolare a natura radicalica persistente. Infatti **1** è solo il membro più famoso di una famiglia ideale di molecole triangolari sia più grandi che più piccole (rispetto a **1**) denominate  $[N]$ trianguleni o  $[n]$ trianguleni. La molteplicità di spin teorica di un generico  $[N]$ triangulene risulterà pari a  $N$ . Il valore più basso previsto ( $N=2$ ) è quello per il radicale fenalenil  $C_{13}H_9$ , un monoradical stabilizzato solo nella sua versione sostituita [12].

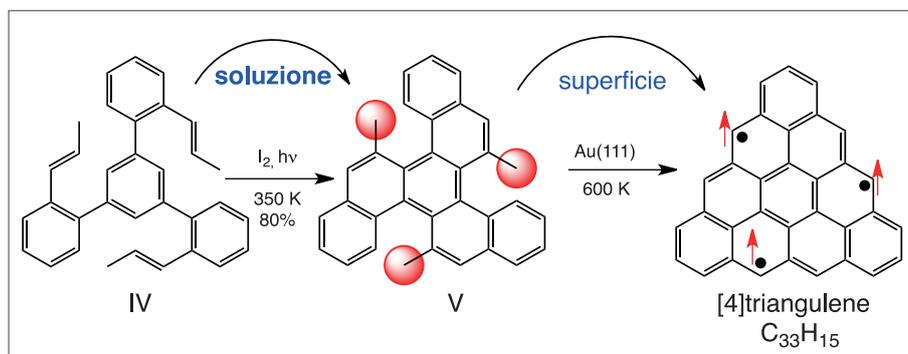
Dunque già a partire dal membro più piccolo, gli  $[N]$ trianguleni sono strutture non-Kekulé con stato fondamentale di alto spin (*open shell*) che li candida al ruolo di materiali organici con caratteristiche magnetiche singolari [13].

### Nanografene triangolare

L'intuizione che tutti gli  $[N]$ trianguleni sono assimilabili a porzioni triangolari *open-shell* di grafene [14], unita alla presenza di *edge-states* [15] accoppiati ferromagneticamente in cui lo spin totale cresce con le dimensioni molecolari del triangulene,

ha fatto immediatamente pensare alla possibilità di sfruttare queste caratteristiche per sviluppare una spintronica molecolare organica basata su quello che è noto come nanografene (NG). Per indicare un nanografene di forma e dimensione topologicamente definita, e mutuando la terminologia usata per indicare i diversi tipi di avvolgimento di fogli grafenici [16], acronimi come TZNGs (triangular zig-zag nanographenes) sono diventati rapidamente sinonimo di  $[N]$ trianguleni, cioè grafene triangolare con bordo *zig-zag* (Fig. 6). Ma se è risultato chiaro che, a causa della loro topologia, i trianguleni possiedono caratteristiche elettroniche e magnetiche analoghe a quelle di un particolare tipo di nanografene [17], l'interesse teorico verso questi potenziali ferromagneti organici non ha fatto dimenticare le difficoltà sperimentali nella sintesi e nella caratterizzazione degli stati magnetici a causa dell'elevata instabilità chimica di queste molecole.

È dunque per questo motivo che la preparazione del [3]triangulene nel 2017 [6] ha rappresentato un punto di svolta sperimentale, innescando una serie di successi nella sintesi *bottom-up* di  $[N]$ trianguleni estesi che sembra non accennare a esaurirsi. Solo in riferimento agli  $[N]$ trianguleni non sostituiti, a partire dal 2019 sono state pubblicate la sintesi del [4]triangulene  $C_{33}H_{15}$  [18], del [5]triangulene  $C_{46}H_{18}$  [19] e, più recentemente, del [7]triangulene  $C_{78}H_{24}$  [20]. La sintesi del [7]triangulene quantum



Schema 1

ring ([7]TQR, C<sub>72</sub>H<sub>36</sub>), un triangulene a cui manca la porzione centrale di forma coronenica, ha inaugurato la serie di trianguleni con proprietà di antipunto quantico (QA, *quantum antidot*) [21].

### Protocolli di sintesi di [N]trianguleni

La sintesi del [4]triangulene è una tipica sintesi su superficie [22] nella quale la natura metallica ordinata del substrato è un requisito strettamente necessario. I passaggi sintetici più importanti sono la fotociclizzazione (8h,  $\lambda = 253$  nm) in soluzione dell'intermedio IV (preparato in tre passaggi a partire da 2-bromobenzaldeide e 1,3,5-tribromobenzene commerciali), seguita dalla deposizione di un sub-monostato del derivato V su una superficie metallica relativamente inerte come Au(111). L'annealing completo di V a circa 600 K ha indotto la definitiva ciclodeidrogenazione (Schema 1) con formazione di molecole isolate di [4]triangulene (circa il 20% del totale come da immagini STM). Le molecole risultano regolari e allineate con la superficie metallica del substrato [18].

Lo stesso metodo di superficie è stato applicato con successo nelle sintesi di trianguleni più estesi. In particolare, il [5]triangulene è stato ottenuto sia su una superficie di Cu(111) a 500 K (resa del 60%), che a circa 600 K su Au(111) meno reattivo (5% di resa in prodotto regolare) [19]. In entrambi i casi le immagini STM hanno mostrato che il [5]triangulene è piatto, senza legami con la superficie metallica di Cu(111), e con la natura radicalica prevista ( $S=2$ ).

Nel caso del più esteso [7]triangulene, la bassa reattività di Au(111) associata alla più elevata reattività del triangulene prodotto ha portato a scegliere

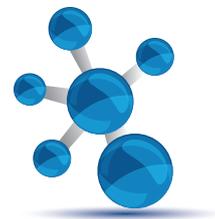
Cu(111) per l'annealing finale e per evitare la successiva formazione di legami C-C tra unità triangolari adiacenti [20]. Tuttavia, le indagini STM sul [7]triangulene/Cu(111) hanno evidenziato una forte interazione tra la superficie metallica e l'ampia superficie del poliradicale organico (costituito da 28 anelli benzenici fusi), determinando un sollevamento della porzione

centrale e conseguente perdita della planarità.

Sebbene la morfologia molecolare degli [N]trianguleni sintetizzati su superficie ( $N = 3, 4, 5, 7$ ) sia quella desiderata, interazioni troppo forti con il substrato metallico possono modificare le caratteristiche elettroniche/magnetiche dei derivati. Per quanto riguarda il [7]triangulene/Cu(111), sebbene non ci siano prove conclusive della formazione di legami C-Cu, il sollevamento della porzione centrale dell'idrocarburo è chiaramente associato a una modifica elettronica dello stato fondamentale del triangulene. Infatti, mentre i calcoli DFT sul [7]triangulene in fase gassosa prevedono una condizione *open-shell* con  $S=3$  (stato fondamentale di esaradicalico in accordo con la regola di Ovchinnikov), sia i calcoli che le misure mediante spettroscopia e microscopia a scansione per effetto tunnel su [7]triangulene/Cu(111) hanno evidenziato rilevanti effetti di chemisorbimento su Cu(111) con formazione di uno stato fondamentale *closed-shell* di singoletto ( $S=0$ ) [20].

Questo inconveniente potrebbe avere diversi rimedi, alcuni dei quali vengono già testati.

Anche se al momento non è la strada più seguita, la prima soluzione potrebbe essere quella di trasferire su un supporto isolante il nanografene sintetizzato sul supporto metallico. La seconda possibile soluzione è quella di eliminare la porzione centrale di trianguleni estesi, creando un secondo bordo interno, e modulando il valore di  $S$  sulla base della regola di Ovchinnikov. In effetti questo è stato già realizzato nella sintesi dell'antipunto quantico [7]TQR [21], la cui procedura di sintesi è stata progettata per creare una maschera centrale di forma predeterminata nel [7]triangulene. La diversa com-



posizione di [7]TQR rispetto al [7]triangulene non ha tuttavia cambiato la natura di setetto ( $S=3$ ) dello stato fondamentale teorico perchè i due trianguleni possiedono un identico disequilibrio tra i sub-reticoli A e B. La conferma dello stato di spin in [7]TQR/Au(111) è arrivata da calcoli teorici e misure sperimentali [21].

### Magnetismo su misura

Esiste una terza possibilità per intervenire nel disegno di trianguleni attraverso la formazione di legami C-C che interessano atomi di carbonio di vertice. Ad esempio, la modifica di un [3]triangulene può avvenire mediante la formazione di dimeri con legame diretto [23]. Per la regola di Ovchinnikov, lo stato fondamentale di un dimero formato da due unità [3]triangulene legate sarà un singoletto ( $S=0$ ) perché complessivamente  $n_A=n_B$ . La possibilità di ottenere stati fondamentali di alto o basso spin si può creare se lo spaziatore tra i due frammenti di [3]triangulene è un'unità 1, $n$ -fenilene. Per  $n=4$  lo stato fondamentale previsto è ancora di singoletto ( $S=0$ ), mentre con spaziatore 1,3-fenilene si torna a uno stato di tripletto ( $S=1$ ) come nel caso del [3]triangulene [23].

Ma se la complessità del nanografene triangolare con bordi zig-zag sembra essere lo sbocco più probabile, la semplicità del triangulene di Clar continua ad attrarre i ricercatori. È molto recente la pubblicazione della sintesi in soluzione del 4,8,12-tri(mesitil)-triangulene (composto **7**, Fig. 2) in cui i tre sostituenti mesitilici nelle posizioni più reattive al centro dei bordi a zig-zag risultano sufficienti a proteggere le altre posizioni del [3]triangulene, e a stabilizzare sia un triangulene monoradicalico che quello diradicalico finale [24].

### Conclusioni

La ricerca di nuovi trianguleni con topologia pre-determinata (e magnetismo controllabile) è ormai rivolta in molte direzioni che vanno oltre il tentativo di stabilizzare strutture sempre più ampie [25]. Attraverso la classica metodologia di sintesi su superficie, dai dimeri di [3]trianguleni si è passati alle catene 1-D [26], ai trimeri [27], ai macrocicli a forma di stella [28], per indicare le topologie più simmetriche. Il range di trianguleni comincia ad

allargarsi anche attraverso il doping, in cui atomi diversi dal carbonio (ad es. B [29] o N [29, 30]) vengono introdotti strategicamente nella struttura grafenica o nelle unità di connessione per modificare le proprietà elettroniche.

Accanto all'ottimizzazione delle strategie di sintesi per trianguleni sempre più estesi e con topologie esotiche, lo studio del magnetismo collettivo è altrettanto necessario non solo per interpretare al meglio le osservazioni sperimentali e confermare le previsioni [26, 28], ma anche per escludere interazioni con i supporti metallici che potrebbero modificarne le proprietà molecolari desiderate. Il compito è particolarmente impegnativo, e i prossimi mesi e anni vedranno sicuramente progressi significativi in questa direzione.

### BIBLIOGRAFIA

- [1] M. Solà, *Front. Chem.*, October 2013, **1**, article 22, DOI: <https://doi.org/10.3389/fchem.2013.00022>
- [2] P. Ball, *Nature*, 2017, **542**, 284.
- [3] E. Clar, *Aromatische Kohlenwasserstoffe*, Springer-Verlag, Berlino, Germania, 1941, 2<sup>nd</sup> Ed., 1952.
- [4] E. Clar, D.G. Stewart, *J. Am. Chem. Soc.*, 1953, **75**, 2667.
- [5] C.J. Holt, K.J. Wentworth, R.P. Johnson, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2019, **58**, 15793.
- [6] N. Pavliček, *et al.*, *Nat. Nanotechnol.*, 2017, **12**, 308.
- [7] M.J. Bearpark, M.A. Robb *et al.*, *Chem. Phys. Lett.*, 1994, **217**, 513.
- [8] G. Allinson, R.J. Bushby *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.*, 1993, **115**, 2062.
- [9] J. Inoue, K. Fukui *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.*, 2001, **123**, 12702.
- [10] S. Arikawa, A. Shimizu *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.*, 2021, **143**, 19599.
- [11] A.A. Ovchinnikov, *Theoret. Chim. Acta*, 1978, **47**, 297.
- [12] K. Goto, T. Kubo *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.*, 1999, **121**, 1619.
- [13] Y. Morita, S. Nishida *et al.*, *Nat. Mater.*, 2011, **10**, 947.
- [14] Y. Morita, S. Suzuki *et al.*, *Nat. Chem.*, 2011, **3**, 197.

- [15] K. Nakada *et al.*, *Phys. Rev. B*, 1996, **54**, 17954.
- [16] F. Neve, Carbonio. Storia di un Materiale del Futuro, Aracne Editrice, 2011.
- [17] J. Liu, X. Feng, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2020, **59**, 23386.
- [18] S. Mishra, D. Beyer *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.*, 2019, **141**, 10621.
- [19] J. Su, M. Telychko *et al.*, *Sci. Adv.*, 2019, **5**, eaav7717.
- [20] S. Mishra, K. Xu *et al.*, *Nanoscale*, 2021, **13**, 1624
- [21] J. Su, W. Fan *et al.*, *Nano Lett.*, 2021, **21**, 861.
- [22] S. Clair, D.G. de Oteyza, *Chem. Rev.*, 2019, **119**, 4717.
- [23] S. Mishra, D. Beyer *et al.*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2020, **59**, 12041.
- [24] L. Valenta, M. Mayländer *et al.*, *Chem. Commun.*, 2022, **58**, 3019.
- [25] J. Su, M. Telychko, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2020, **59**, 7658.
- [26] S. Mishra, G. Catarina *et al.*, *Nature*, 2021, **598**, 287.
- [27] S. Cheng, Z. Xue *et al.*, *Nat. Commun.*, 2022, **13**, 1705.
- [28] J. Hieulle, S. Castro *et al.*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2021, **60**, 25224.
- [29] M.E. Sandoval-Salinas, A. Carreras, D. Casanova, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2019, **21**, 9069.
- [30] T. Wang, A. Berdonces-Layunta *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.*, 2022, **144**, 4522.

#### Tailor-Made Open-Shell Graphene Fragments

[N]Triangulenes, a rapidly growing family of all-carbon ferromagnets, are either a stand-alone suite of triangular polycyclic aromatic hydrocarbons with high-spin ground states like the iconic Clar's [3]triangulene, and made-to-order, H-terminated nanographene fragments with zig-zag profile and magnetic edges. Current interest is devoted to the planned exploitation of their properties for spintronics.



We care about  
your samples

One drop at a time.



#### SAMPLE PREPARATION

GVS Filter Technology offers a range of disposable syringe filter devices designed to provide fast and efficient filtration of aqueous and organic solutions. Try our solutions for critical conditions such as SEPARA for smaller samples and ABLUO SUPREME for heavily contaminated with particulates and hard-to-filter samples.

