

ALGORITMI DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

---

# **Computational Gastronomy e Network Science: Evoluzione Topologica della Cucina Catalana**

---

**Studente:**  
AURORA GUIDA

**Anno Accademico:**  
2025/2026

Documentazione di Progetto

## Abstract

*Questo progetto esplora le frontiere della Computational Gastronomy applicando metodologie di Network Science per analizzare l'evoluzione strutturale delle ricette culinarie. L'obiettivo primario è quantificare le differenze topologiche tra la cucina catalana tradizionale e l'Alta Cucina moderna, rappresentata dal celebre ristorante El Celler de Can Roca.*

*Attraverso l'analisi di tre dataset distinti (Tradizionale, Substitution, Roca), modellati come grafi pesati non orientati, abbiamo esaminato metriche quali densità, modularità e distribuzione dei gradi. Per superare le limitazioni di analisi su grafi estremamente densi, è stata sviluppata una pipeline software in Python per l'estrazione del Backbone tramite Maximum Spanning Tree (MST).*

*I risultati rivelano un fenomeno controintuitivo: l'innovazione culinaria radicale di Roca non frammenta la tradizione, ma ne esaspera la coesione, creando un grafo quasi completo (clique) con legami di forza significativamente superiore alla media storica. Il report dettaglia l'implementazione tecnica, la pulizia dei dati grezzi e fornisce un'analisi approfondita delle strutture latenti emerse.*

## Indice

---

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>3</b>
1.1	Il contesto: Computational Gastronomy . . . . .	3
1.2	Obiettivi del Progetto . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Descrizione dei Dataset</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Implementazione Software e Preprocessing</b>	<b>5</b>
3.1	Il Parser "Robusto" . . . . .	5
3.2	Pipeline di Analisi . . . . .	6
<b>4</b>	<b>Metodologia di Analisi</b>	<b>7</b>
4.1	Metriche Utilizzate . . . . .	7
4.2	Backbone Extraction (MST) . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Analisi dei Risultati: Metriche Globali</b>	<b>8</b>
5.1	Discussione sulla Densità . . . . .	8
5.2	Fallimento della Community Detection . . . . .	8
<b>6</b>	<b>Analisi Approfondita dei Legami (Backbone)</b>	<b>9</b>
6.1	Dataset Tradizionale: La struttura classica . . . . .	9
6.2	Dataset Substitution: L'effetto delle varianti . . . . .	11
6.3	Dataset Roca: L'Iper-Connesione . . . . .	13
<b>7</b>	<b>Conclusioni: Iper-Evoluzione vs Rottura</b>	<b>16</b>
7.1	Sintesi delle Scoperte . . . . .	16
7.2	Interpretazione Finale . . . . .	16

## 1 Introduzione

---

### 1.1 Il contesto: Computational Gastronomy

La *Computational Gastronomy* è un campo interdisciplinare emergente che fonde la scienza dei dati, la teoria delle reti e la scienza alimentare. Come discusso durante il corso, l'adagio di Ludwig Feuerbach "L'uomo è ciò che mangia" assume oggi una nuova dimensione quantitativa: possiamo analizzare ciò che mangiamo non solo chimicamente, ma strutturalmente.

Le ricette non sono entità isolate, ma nodi di una vasta rete culturale e chimica. Gli ingredienti fungono da legami (link) che connettono piatti apparentemente distanti. Analizzando queste connessioni, possiamo rispondere a domande complesse sull'evoluzione del gusto e sull'impatto dell'innovazione gastronomica.

### 1.2 Obiettivi del Progetto

Il presente lavoro si pone l'obiettivo di confrontare due paradigmi culinari:

1. **La Tradizione:** Un sistema consolidato nel tempo, basato su abbinamenti storici e ingredienti locali.
2. **L'Alta Cucina (Modernismo):** Rappresentata dai fratelli Roca, spesso vista come sperimentale e decostruzionista.

La domanda di ricerca è: *L'innovazione di Roca rappresenta una rottura topologica (frammentazione) o un'evoluzione della struttura tradizionale?*

## 2 Descrizione dei Dataset

---

Per l'analisi sono state utilizzate tre matrici di adiacenza fornite in formato grezzo (output di console R), che rappresentano la condivisione di ingredienti tra ricette.

- **Dataset 1: Cucina Tradizionale (101 Ricette).** Un corpus di ricette classiche catalane. La matrice  $101 \times 101$  rappresenta le connessioni base della cultura gastronomica locale.
- **Dataset 2: Substitution (Ctrad - 160 Ricette).** Un'estensione del dataset tradizionale che include varianti e sostituzioni di ingredienti. Questo grafo, più grande ( $160 \times 160$ ), introduce "rumore" e ridondanza, utile per testare la robustezza delle analisi.

- **Dataset 3: Alta Cucina (Roca - 57 Ricette).** Il menu del ristorante tre stelle Michelin. Sebbene il numero di nodi sia inferiore, la densità di connessioni è l'oggetto principale della nostra indagine.

I dati originali erano forniti come output testuale frammentato (file '.txt'), richiedendo una fase significativa di preprocessing per la ricostruzione delle matrici numeriche.

## 3 Implementazione Software e Preprocessing

L'intero flusso di analisi è stato sviluppato in Python, utilizzando le librerie 'NetworkX' per la gestione dei grafi, 'Pandas' per l'analisi tabellare e 'Matplotlib' per la visualizzazione.

### 3.1 Il Parser "Robusto"

Uno dei problemi principali riscontrati durante l'importazione dei dati era il formato non standard dei file di input (output testuali di R). Questi file presentavano righe spezzate, intestazioni verbose e indici di riga testuali che rendevano impossibile l'uso di caricatori standard come `numpy.loadtxt`.

È stato necessario implementare una funzione di parsing personalizzata, denominata `parse_r_output_robust`, progettata per:

- **Filtraggio delle righe:** Leggere il file riga per riga ignorando intestazioni, metadati e output di errore di R.
- **Riconoscimento Regex:** Utilizzare espressioni regolari per identificare gli indici di riga nel formato [N,] e separare correttamente i dati numerici.
- **Ricostruzione della Matrice:** Gestire righe tronche o colonne mancanti adattando dinamicamente la dimensione della matrice alla più grande sottomatrice quadrata valida disponibile.
- **Simmetrizzazione:** Garantire che la matrice di adiacenza risultante sia simmetrica ( $A = A^T$ ), condizione necessaria per modellare correttamente un grafo non orientato (se la ricetta A è collegata a B, B deve essere collegata ad A).

```

1 def parse_r_output_robust(filepath):
2     # ... Inizializzazione ...
3     match = re.match(r'^\[([(\d+),\n]', line)
4     if match:
5         row_idx = int(match.group(1))
6         content = line[match.end():]
7         vals = [int(x) for x in content.split()]
8         # ... Accumulo dati ...
9
10    # Simmetrizzazione e taglio
11    limit = min(matrix.shape)

```

```
12     matrix = matrix[:limit, :limit]
13     if np.sum(np.tril(matrix, -1)) == 0:
14         matrix = matrix + matrix.T # Rende simmetrica
15     return matrix
```

*Listing 1:* Snippet del Parser Robusto per i dati R

## 3.2 Pipeline di Analisi

Il codice è strutturato per iterare su ogni dataset ed eseguire due macro-operazioni:

1. **Creazione del Grafo NetworkX:** Conversione della matrice numpy in oggetto Grafo.
2. **Estrazione Backbone e Reportistica:** Calcolo del Maximum Spanning Tree e generazione automatica di file CSV contenenti i legami più significativi.

## 4 Metodologia di Analisi

---

Le reti sono state analizzate come grafi pesati  $G(V, E, W)$ , dove:

- $V$  (Nodi) = Ricette.
- $E$  (Archi) = Condivisione di almeno un ingrediente.
- $W$  (Pesi) = Numero di ingredienti condivisi.

### 4.1 Metriche Utilizzate

- **Densità ( $\rho$ ):**  $\frac{2m}{n(n-1)}$ . Indica quanto è " pieno" il grafo. Una densità di 1.0 indica un grafo completo (clique).
- **Grado Medio (Average Degree):** Il numero medio di ricette con cui ogni piatto condivide ingredienti.
- **Clustering Coefficient:** Misura la transitività: se la ricetta A è simile a B e B è simile a C, quanto è probabile che A sia simile a C?
- **Modularità (Community Detection):** Abbiamo tentato di usare l'algoritmo di Louvain per identificare cluster (es. "Primi piatti", "Dolci"), ma come vedremo, la struttura dei dati ha reso questo approccio inefficiente a causa dell'effetto "Hairball".

### 4.2 Backbone Extraction (MST)

Dato che i grafi analizzati si sono rivelati estremamente densi (difficili da visualizzare e interpretare), abbiamo applicato la tecnica del **Backbone Extraction**. Abbiamo calcolato il *Maximum Spanning Tree* (MST), ovvero un sotto-grafo che:

- Connnette tutti i nodi.
- Non contiene cicli (è un albero).
- **Massimizza la somma dei pesi degli archi.**

Questo ci permette di vedere lo " scheletro " essenziale della cucina: quali sono i legami più forti e irrinunciabili che tengono insieme il sistema gastronomico?

## 5 Analisi dei Risultati: Metriche Globali

La Tabella 1 riassume le metriche topologiche calcolate per i tre dataset.

Metrica	Tradizionale (101)	Substitution (160)	Alta Cucina (Roca)
Numero di Nodi ( $ V $ )	100	160	57
Numero di Archi ( $ E $ )	4052	12309	1594
<b>Densità</b>	<b>0.818</b>	0.967	<b>0.998</b>
Grado Medio	81.04	153.86	55.93
Clustering Coeff.	0.948	0.982	<b>0.998</b>
Path Length Medio	1.182	1.032	<b>1.001</b>
Modularità	0.054	0.047	0.043

**Tabella 1:** Confronto metriche topologiche. Si evidenzia la densità quasi unitaria di Roca.

### 5.1 Discussione sulla Densità

Il dato più sconvolgente è la densità del grafo **Roca**: **0.998**. In una rete sociale o biologica normale, la densità è molto bassa (sparse graph). Qui siamo di fronte a una **Clique quasi perfetta**.

- Nella **Cucina Tradizionale**, la densità è 0.818. C'è alta sovrapposizione, ma esistono ancora ricette "distanti" tra loro.
- In **Roca**, ogni ricetta è collegata praticamente a tutte le altre. Questo suggerisce l'uso massiccio di una "base comune" (es. sofrito, salse madri, o guarnizioni ricorrenti) che attraversa trasversalmente l'intero menu, dagli antipasti ai dolci.

### 5.2 Fallimento della Community Detection

La modularità ( $Q$ ) è bassissima per tutti i dataset ( $Q < 0.06$ ). Solitamente, valori  $Q > 0.3$  indicano una buona struttura a comunità. Questo risultato negativo è in realtà una scoperta importante: **non esistono cluster isolati**. Non c'è una netta separazione tra "ingredienti di mare" e "ingredienti di terra". La cucina catalana, e ancor più quella di Roca, è un continuum omogeneo ("Hairball Effect").

## 6 Analisi Approfondita dei Legami (Backbone)

Poiché l'analisi globale ci dice che "tutto è connesso", per capire *come* è connesso dobbiamo guardare i pesi dei singoli archi. Di seguito sono riportate le tabelle dei legami più forti e le visualizzazioni dei Backbone estratti.

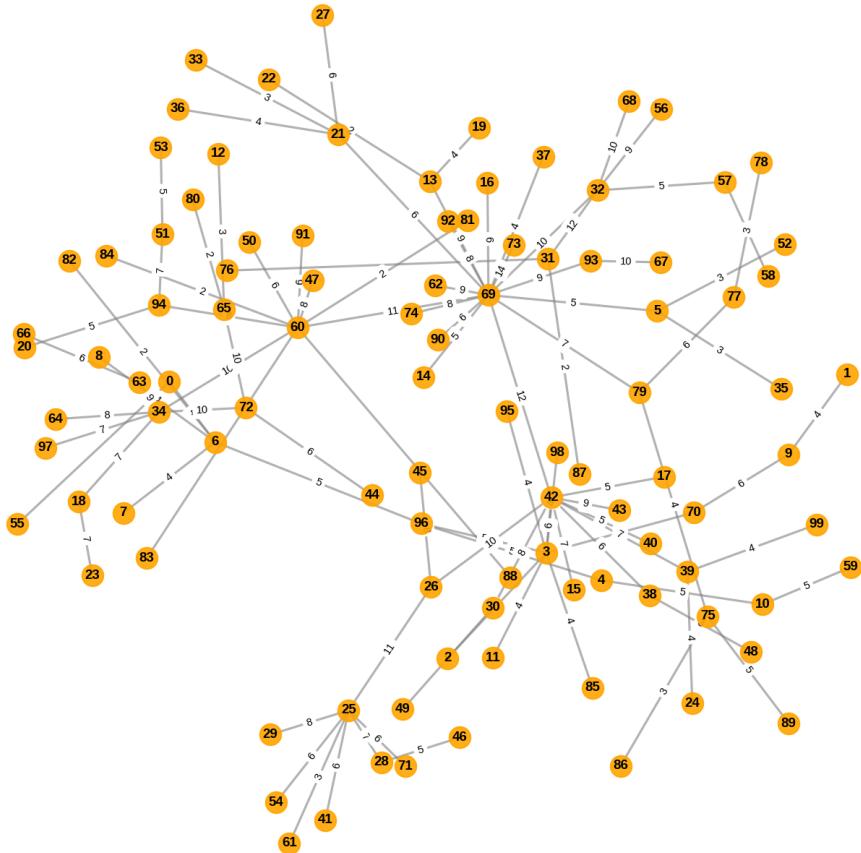
### 6.1 Dataset Tradizionale: La struttura classica

Analizzando i dati del backbone tradizionale, osserviamo i legami più forti che costituiscono l'ossatura della tradizione.

Nodo A	Nodo B	Peso (Ingredienti in comune)
69	73	<b>14</b>
31	32	12
42	69	12
25	26	11
60	69	11
34	72	10
26	42	10
32	69	10
32	68	10
34	60	10

**Tabella 2:** Top 10 legami nel Backbone Tradizionale (Fonte: Analisi Python).

Backbone (Legami Forti): Tradizionale (101)  
(Nodi: 100 - Archi: 99)



**Figura 1:** Visualizzazione del Backbone Tradizionale. I nodi arancioni rappresentano le ricette, mentre gli archi grigi indicano i legami più forti mantenuti dal Maximum Spanning Tree. Si noti come la struttura sia connessa ma permetta di distinguere alcuni nodi centrali (hub) che aggregano più ricette simili.

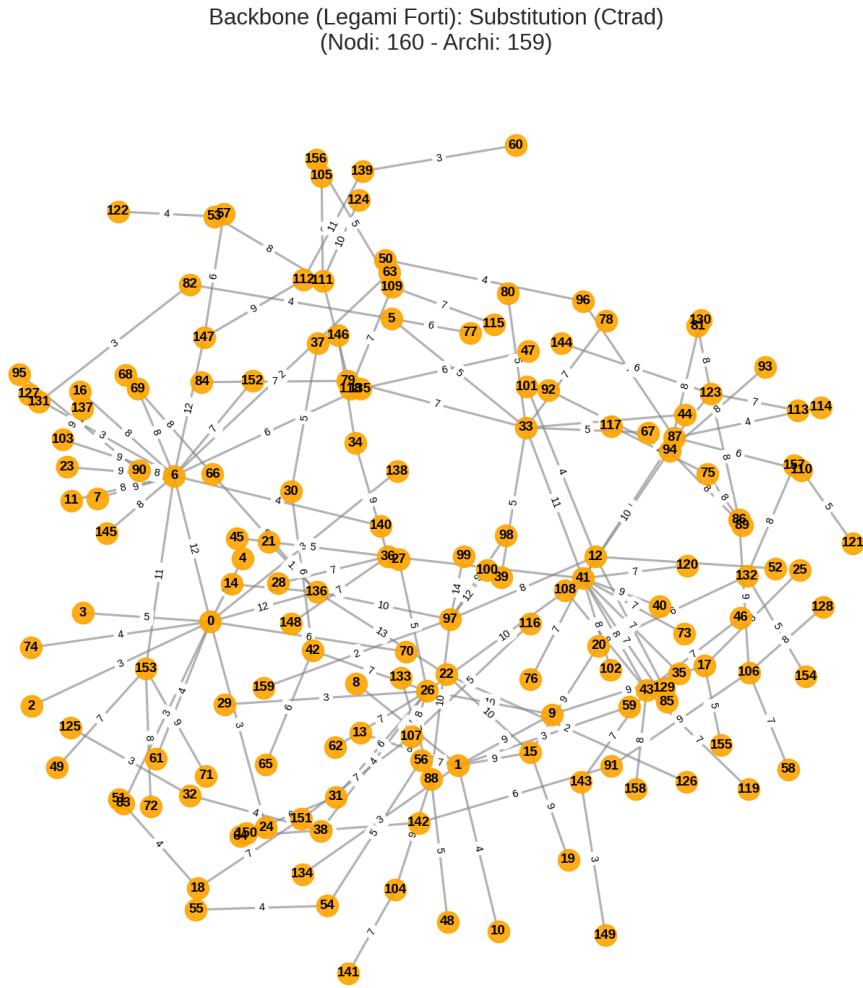
**Commento:** Il peso massimo è **14**. Ciò significa che le due ricette più simili della tradizione condividono 14 ingredienti. I nodi come il **69** appaiono più volte nella tabella (coppie 69-73, 42-69, 60-69), suggerendo che il nodo 69 sia una ricetta fondamentale o una variante base molto popolare (probabilmente una zuppa o uno stufato complesso) da cui derivano molte altre preparazioni.

## 6.2 Dataset Substitution: L'effetto delle varianti

Il dataset con le sostituzioni (Substitution) mostra un comportamento simile ma con un incremento della complessità dovuto alle varianti.

Nodo A	Nodo B	Peso (Ingredienti in comune)
97	99	<b>14</b>
22	136	13
0	6	12
14	136	12
21	136	12
0	136	12
6	147	12
97	100	12
6	153	11
112	139	11

**Tabella 3:** Top 10 legami nel dataset Substitution (Fonte: *tabella\_legami\_Substitution.csv*).



**Figura 2:** Visualizzazione del Backbone Substitution. Rispetto alla rete tradizionale, qui la densità visiva appare leggermente superiore o più ramificata, riflettendo l'introduzione delle varianti e delle sostituzioni che creano percorsi alternativi tra le ricette.

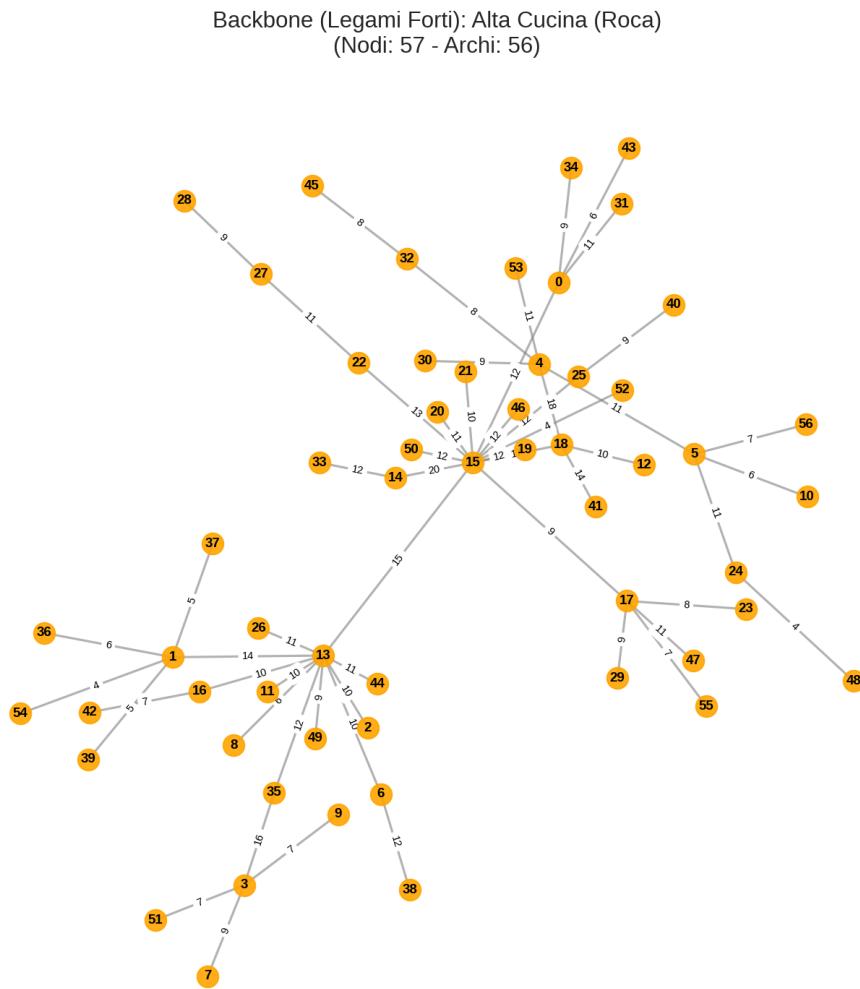
**Commento:** Anche includendo le sostituzioni, il peso massimo rimane fermo a 14. La struttura della cucina tradizionale sembra avere un "tetto" di complessità combinatoria che non viene superato nemmeno aggiungendo varianti; le ricette rimangono ancorate a un numero finito di ingredienti condivisi.

### 6.3 Dataset Roca: L'Iper-Connesione

Qui emerge la differenza sostanziale. Analizzando i dati dell'Alta Cucina:

Nodo A	Nodo B	Peso (Ingredienti in comune)
14	15	<b>20</b>
4	18	18
15	18	17
3	35	16
13	15	15
18	41	14
1	13	14
15	22	13
13	35	12
15	19	12

**Tabella 4:** Top 10 legami nel Backbone Alta Cucina - Roca (Fonte: *tabella\_legami\_Alta.csv*).



**Figura 3:** Visualizzazione del Backbone di Roca. Questa immagine mostra una struttura fortemente centralizzata. Si possono osservare nodi chiave (come il 15 e il 18) che fungono da veri e propri "soli" attorno ai quali orbitano molte altre ricette, indicando un menu costruito attorno a preparazioni madre estremamente ricche.

### Analisi Critica:

- 1. Salto di Scala nei Pesi:** Il legame più forte in Roca ha peso 20, contro il 14 della tradizione. Un incremento del 42% nella forza del legame.
- 2. Significato Gastronomico:** Due ricette che condividono 20 ingredienti sono quasi gemelle o variazioni molto complesse dello stesso tema. Questo indica che Roca costruisce i suoi piatti su una struttura di base estremamente ricca, che viene replicata e variata in tutto il menu.
- 3. Centralità del Nodo 15:** Il nodo 15 appare molteplici volte nella top 10 (coppie 14-15, 15-18, 13-15, 15-22, 15-19). Questo identifica il "Nodo 15" come una *Master*

*Recipe* o una "Salsa Madre" fondamentale per l'identità culinaria del ristorante, agendo come un super-hub che connette diverse parti del menu.

## 7 Conclusioni: Iper-Evoluzione vs Rottura

---

L'analisi comparativa condotta attraverso le tecniche di Network Science ci permette di formulare una risposta definitiva alla domanda di ricerca iniziale.

### 7.1 Sintesi delle Scoperte

- **Nessuna Frammentazione:** L'ipotesi che la cucina moderna sia "decostruita" e frammentata è smentita dai dati. Roca non distrugge i legami, li moltiplica.
- **Small World Estremo:** Il *Path Length* di Roca (1.001) è matematicamente il minimo possibile. Ogni sapore è a un passo di distanza da qualsiasi altro.
- **Intensificazione dei Sapori:** L'analisi dei pesi nel Backbone (Tabella 4 vs 2) dimostra che Roca lavora con una "tavolozza" di ingredienti condivisi molto più ampia rispetto alla tradizione (Pesi 20 vs 14).

### 7.2 Interpretazione Finale

Possiamo definire l'operazione di *El Celler de Can Roca* come una \*\*Iper-Evoluzione Topologica\*\*. Mentre la cucina tradizionale è una rete densa ma con variazioni locali, la cucina di Roca è una singola, enorme entità coesa. È come se l'intero menu fosse un'unica "Grande Ricetta" declinata in 57 varianti. L'innovazione, in questo caso, non è divergenza, ma convergenza estrema verso un nucleo di identità gastronomica fortissimo.