


---

# **PoS Tagger per lingue morte**

Alessandro Caputo, Emanuele Gentiletti



## Introduzione

In questa esercitazione implementiamo e valutiamo un PoS tagger al variare delle tecniche di smoothing utilizzate. In particolare il PoS tagger utilizzerà l'Hidden Markov Model come modello e l'algoritmo di Viterbi per il decoding. I corpus testati saranno due, il primo composto di frasi in greco antico, il secondo composto di frasi in latino.

## Implementazione

Per implementare il tagger abbiamo creato una classe `HMMTagger` (in `tagger/hmm_tagger.py`) che ha come attributi le matrici contenenti le probabilità di transizione ed emissione. Come struttura dati per rappresentare vettori e matrici abbiamo usato i dizionari. In questo modo non abbiamo sfruttato la vettorizzazione delle operazioni, ma siamo comunque rimasti soddisfatti dalla performance dell'algoritmo (l'addestramento e il test su entrambi i corpus richiedono circa 15 secondi sulle nostre macchine).

## Training

Le probabilità di transizione ed emissione vengono calcolate attraverso la seguente pipeline:

```
transitions = pipe(
    corpus.train,
    transition_counts,
    valmap(counts_to_log_probability),
    transpose,
)
```

`corpus.train` è il training set del corpus, che tramite `pipe` viene passato in successione alle tre funzioni seguenti.

La funzione `transition_counts` non solo conta le transizioni dei PoS presenti nelle frasi del corpus, ma assegna frequenza 1 anche a tutte le transizioni che non sono state osservate nel corpus. Questa procedura di smoothing previene situazioni in cui tutte le probabilità in una colonna della matrice hanno come risultato 0 (quando le emissioni di una parola hanno probabilità positiva solo per certi tag e le transizioni dal tag precedente verso questi sono 0). Il risultato è un dizionario annidato, dove `counts[pos1][pos2]` è il numero di transizioni da `pos1` a `pos2`.

```
counts = {
    pos: dict.fromkeys([*POS_TAGS, "Qf"], 1) for pos in [*POS_TAGS, "Q0"]
}
```

Per le i conteggi delle emissioni abbiamo proseguito in modo analogo (saltando lo smoothing, che approssiamo successivamente per gestire le parole non incontrate nel corpus).

`counts_to_log_probability`<sup>1</sup> converte un dizionario di conteggi in un dizionario di probabilità logaritmiche, dividendo ogni conteggio per la somma di tutti i conteggi nel dizionario.

Infine, `transpose` effettua una trasposizione del dizionario, per rendere più semplice l'accesso alle probabilità durante il decoding: tramite `transitions[pos]` possiamo accedere al dizionario con tutte le probabilità di arrivare a `pos` da ogni PoS di partenza, mentre con `emissions[token]` otteniamo le probabilità di generare `token` a partire da ogni PoS.

### Smoothing

Lo smoothing per le emissioni non presenti è stato gestito modificando il dizionario delle emissioni in modo che `emissions[token]` per un `token` non incontrato nel training restituisca un dizionario di probabilità scelte in base alla tecnica di smoothing da usare. I dizionari di probabilità per ogni tecnica di smoothing sono in `tagger/smoothing.py`.

```
ALWAYS_NOUN = { 'NOUN': log(1) }

NOUN_OR_VERB = { 'NOUN': log(.5), 'VERB': log(.5) }

UNIFORM = counts_to_log_probability(dict.fromkeys(POS_TAGS, 1))

def probability_of_occurring_once(corpus: Corpus):
    # Conteggi dei PoS dei token che compaiono una sola volta
    # ...
```

### Decoding

L'algoritmo di Viterbi è stato implementato in due funzioni, `pos_tags` e `_next_col`.

La funzione `pos_tags` è divisa in quattro parti:

- Inizializzazione: Inizializza la prima colonna della matrice di Viterbi, moltiplicando le probabilità di transizione dallo stato iniziale Q0 con quelle di emissione del primo token.
- Continuazione: Genera le colonne centrali della matrice chiamando `_next_col` per ogni token

---

<sup>1</sup>Dato che nel passo precedente della pipeline abbiamo un dizionario annidato, e vogliamo eseguire questa operazione per tutti i dizionari interni, usiamo la funzione `valmap(fn, dict)`, dalla libreria `toolz`, che applica `fn` a tutti i valori di un dizionario. La funzione è curried, per cui saltando l'ultimo argomento otteniamo una funzione che accetta `dict` ed esegue `counts_to_log_probability` su ogni dizionario interno.

- Fase finale: Aggiunge la colonna finale della matrice di Viterbi moltiplicando l'ultima colonna per le probabilità di transizione allo stato finale Qf
- Calcolo path: Effettua il calcolo del path seguendo i backpointer partendo dallo stato finale con probabilità massima.

```
def pos_tags(self, tokens: list[str]):
    transitions, emissions = self.transitions, self.emissions

    # Prima colonna
    viterbi = [
        sum_values(get_row(transitions, "Q0"), emissions[tokens[0]])
    ]
    backptr = []

    # Colonne centrali
    for token in tokens[1:]:
        next_viterbi, next_backptr = self._next_col(viterbi[-1], token)

        viterbi.append(next_viterbi)
        backptr.append(next_backptr)

    # Ultima colonna
    viterbi.append(sum_values(viterbi[-1], transitions["Qf"]))

    # Path
    path = [max(viterbi[-1].keys(), key=lambda k: viterbi[-1][k])]
    ... # segui backptr

    return path
```

Le matrici di Viterbi e dei backpointer sono rappresentate come liste di dizionari, dove ogni dizionario rappresenta una colonna. Per lavorare con i vettori, abbiamo usato la funzione di utilità `sum_values`, che somma i valori di due dizionari che hanno la stessa chiave. È da notare che questa funzione salta i valori che si trovano in un dizionario, ma non nell'altro. In questo modo possiamo gestire gli zeri: per come abbiamo calcolato le probabilità, se un elemento non è presente nel corpus, non è neanche presente nei dizionari di probabilità. Possiamo quindi saltarli dato che comunque, moltiplicandoli, darebbero zero (nel caso dei logaritmi e della somma, andremmo a sommare un valore con  $-\infty$ , ottenendo lo stesso risultato).

In `_next_col`, calcoliamo il valore di una colonna partendo dalla colonna precedente e dal token in entrata. Per farlo, andiamo a considerare ogni PoS<sup>2</sup> e le probabilità di transizione a quel PoS, e le moltiplichiamo con la colonna precedente. Otteniamo così un dizionario che contiene come chiavi tutti i possibili PoS di partenza per arrivare al PoS che stiamo considerando, e come valori le rispettive

---

<sup>2</sup>Ci limitiamo a iterare sui PoS presenti in `emissions[token]`, dato che gli altri avranno sempre probabilità 0.

probabilità. Scegliamo quindi, dal dizionario ottenuto, la voce con probabilità più alta e la memorizziamo nel backpointer e nella matrice di Viterbi. Infine moltiplichiamo il risultato con le probabilità di emissione del token.

```
def _next_col(self, last_col, token):
    transitions, emissions = self.transitions, self.emissions

    viterbi = {}
    backptr = {}

    for pos in emissions[token].keys():
        paths_to_pos = sum_values(last_col, transitions[pos])

        # tra tutti i path scelgo quello con probabilità massima
        backptr[pos], viterbi[pos] = max(
            paths_to_pos.items(), key=lambda it: it[1]
        )

    # aggiungo emissioni
    viterbi = sum_values(viterbi, emissions[token])
    return viterbi, backptr
```

## Valutazione

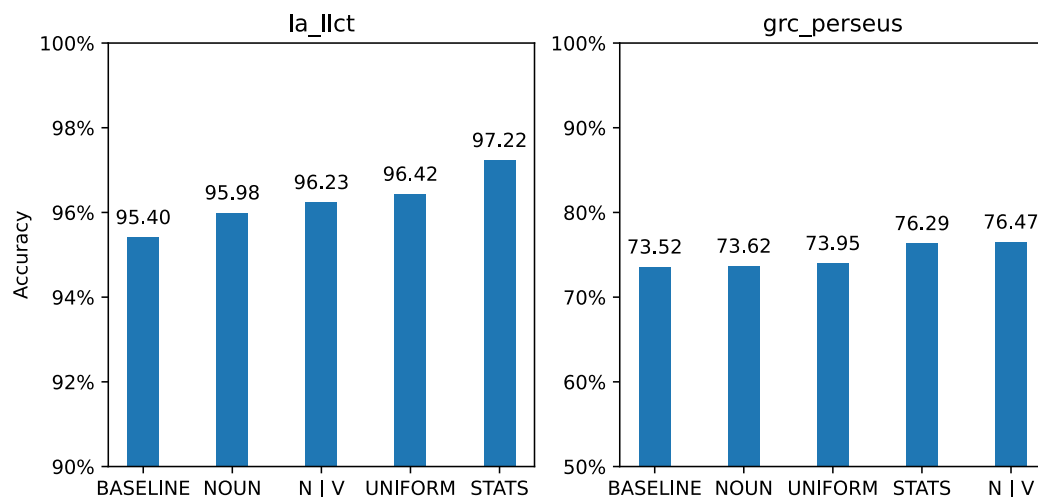
La parte di test del programma si trova in `tagger/evaluation.py`. Nella funzione `main` creiamo una lista di tagger su cui effettuare il calcolo delle performance, dove ogni tagger utilizza una tecnica di smoothing differente:

- Considero le parole sconosciute come nomi
- Considero le parole sconosciute come nomi o verbi
- Assegno alle parole sconosciute ogni PoS tag con una probabilità uniforme
- Assegno alle parole sconosciute le probabilità dei PoS delle parole che appaiono una volta sola nel corpus

La baseline con cui li andiamo a paragonare restituisce sempre il PoS più frequentemente incontrato nel corpus per ogni parola, e NOUN quando incontra una parola sconosciuta.

Come parte opzionale della consegna, veniva proposto di effettuare il confronto anche con un tagger MEMM. Per mancanza di risorse non siamo riusciti a eseguire l'implementazione proposta sull'intero corpus (poca RAM). Siamo stati in grado di eseguire il tagger MEMM su di un 10% del corpus latino, e in quel caso nel test offriva un accuracy di circa il 33%, ma non ci è sembrato un dato confrontabile con gli altri.

## Performance



**Figura 1:** Accuracy dei tagger nei corpus.

Sul corpus greco la performance media dei tagger HMM è del 75.04%. La performance migliore è stata ottenuta dal tagger che ha etichettato le parole sconosciute come nomi o verbi (NOUN | VERB), seguito dal tagger che ha assegnato alle parole sconosciute le probabilità dei PoS delle parole apparse una sola volta nel corpus (STATS).

I tagger NOUN e UNIFORM invece si discostano dagli altri due ottenendo performance più basse. Tutti i tagger hanno ottenuto prestazioni migliori rispetto alla baseline.

La performance media dei tagger sul corpus latino è del 96.46%. In questo caso la performance migliore è stata raggiunta dal tagger STATS con il 97,22% di precisione.

Seguono rispetto alle performance i tagger UNIFORM, NOUN|VERB e infine NOUN. Anche in questo caso tutti i tagger HMM hanno superato la baseline.

## Errori più comuni

### Latino

Baseline			HMM: Always NOUN		
Errori	Corretto	Predetto	Errori	Corretto	Predetto
42.10%	PROPN	NOUN	48.19%	PROPN	NOUN
11.38%	VERB	AUX	12.41%	VERB	NOUN
11.38%	DET	PRON	8.27%	VERB	AUX
10.84%	VERB	NOUN	8.27%	ADJ	NOUN
7.32%	ADJ	NOUN	3.31%	ADV	CCONJ

HMM: 0.5 NOUN, 0.5 VERB			HMM: 1/#PosTags			HMM: Stats on occurring once		
Errori	Corretto	Predetto	Errori	Corretto	Predetto	Errori	Corretto	Predetto
26.87%	PROPN	VERB	17.42%	PROPN	NOUN	14.65%	PROPN	VERB
24.45%	PROPN	NOUN	13.01%	PROPN	VERB	11.96%	VERB	AUX
8.81%	VERB	AUX	9.41%	VERB	AUX	11.51%	PROPN	NOUN
6.06%	ADJ	NOUN	5.69%	PROPN	DET	7.47%	VERB	PROPN
5.07%	NOUN	VERB	3.95%	PROPN	PUNCT	5.98%	ADJ	PROPN

Dalle tabelle degli errori più comuni per il corpus latino, possiamo vedere nella baseline si riscontra una percentuale di errore molto alta sulla predizione di PROPN.

Al variare delle tecniche di smoothing, gli errori diminuiscono. Il tagger Always NOUN, nonostante commetta una quantità di errori su PROPN più alta rispetto alla baseline (passando dal 42% al 48%), diminuisce gli errori di predizione su tutti gli altri POS, aumentando comunque l'accuracy.

Gli errori più comuni dei tagger UNIFORM e NOUN | VERB sono stati principalmente due, etichettare i nomi propri come nomi o come verbi. Le percentuali di errore sono state comunque molto più basse rispetto alla baseline arrivando ad un accuracy del 96,23% per NOUN | VERB e 96,42% per UNIFORM.

Infine, il tagger STATS si è dimostrato il tagger migliore per la lingua latina in questo esperimento, arrivando a una percentuale del 97,22%. Ciò è in linea con le aspettative, essendo il tagger che ha utilizzato una tecnica di smoothing più raffinata rispetto alle altre.

**Greco**

Baseline			HMM: Always NOUN		
Errori	Corretto	Predetto	Errori	Corretto	Predetto
35.59%	VERB	NOUN	35.67%	VERB	NOUN
20.09%	ADV	PART	18.63%	ADV	PART
15.50%	ADJ	NOUN	15.61%	ADJ	NOUN
9.73%	ADV	CCONJ	9.35%	ADV	CCONJ
7.24%	PRON	ADJ	8.63%	PRON	ADJ

HMM: 0.5 NOUN, 0.5 VERB			HMM: 1/#PosTags			HMM: Stats on occurring once		
Errori	Corretto	Predetto	Errori	Corretto	Predetto	Errori	Corretto	Predetto
20.28%	ADV	PART	18.75%	ADV	PART	22.68%	NOUN	VERB
14.91%	NOUN	VERB	11.00%	NOUN	VERB	20.08%	ADV	PART
14.62%	VERB	NOUN	8.98%	VERB	NOUN	9.44%	ADV	CCONJ
11.90%	ADJ	NOUN	8.70%	ADV	CCONJ	8.81%	PRON	ADJ
9.73%	ADV	CCONJ	8.52%	ADJ	NOUN	8.75%	ADJ	NOUN

Nella baseline calcolata sul corpus in lingua greca, gli errori più comuni sono su VERB e ADV con rispettivamente il 35% e il 20% di prevalenza.

I tagger HMM hanno diminuito di molto gli errori effettuati sul PoS VERB, ad eccezione del tagger Always NOUN. Questo tagger sembra aver aumentato sensibilmente gli errori su VERB e ADJ diminuendo l'errore compiuto sugli altri POS.

Il tagger Always NOUN è quello che si discosta meno dalla baseline, ottenendo un accuracy del 73,62% rispetto al 73,52% della baseline.

Il tagger STATS ha diminuito molto gli errori compiuti su VERB (infatti non è rappresentato in tabella) ma ha peggiorato le prestazioni sul tag NOUN. In particolare ha ottenuto un errore del 22,7% su NOUN e ha percentuali simili anche per ADV.

Il tagger UNIFORM sembra avere delle percentuali massime di errore più basse rispetto a tutti i POS, ma questo non l'ha reso il tagger migliore. Anche per questo tagger, come in STATS, le percentuali di errore più alte sono sui PoS NOUN e ADV.

Il tagger migliore risulta essere NOUN | VERB la cui percentuale di errore maggiore è su ADV. Questo tagger ha raggiunto un accuracy molto simile al tagger STATS, ottenendo una percentuale del 76,47.

In generale abbiamo visto come le percentuali di errore rispetto ai singoli POS siano diversamente distribuite da una lingua all'altra. Nella lingua latina si sono riscontrati errori maggiormente sui verbi e sui nomi propri. Per il greco antico abbiamo ottenuto errori maggiori su verbi, avverbi e aggettivi.