



UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA



Handwritten Text Recognition

Intelligenza Artificiale e il riconoscimento della scrittura manoscritta



Silvia Cascianelli, Rita Cucchiara

Dipartimento di Ingegneria «Enzo Ferrari»

Università di Modena e Reggio Emilia



Il riconoscimento di testo è una delle sfide più antiche, ma ancora aperte nella visione artificiale alla base della futura interazione uomo-IA

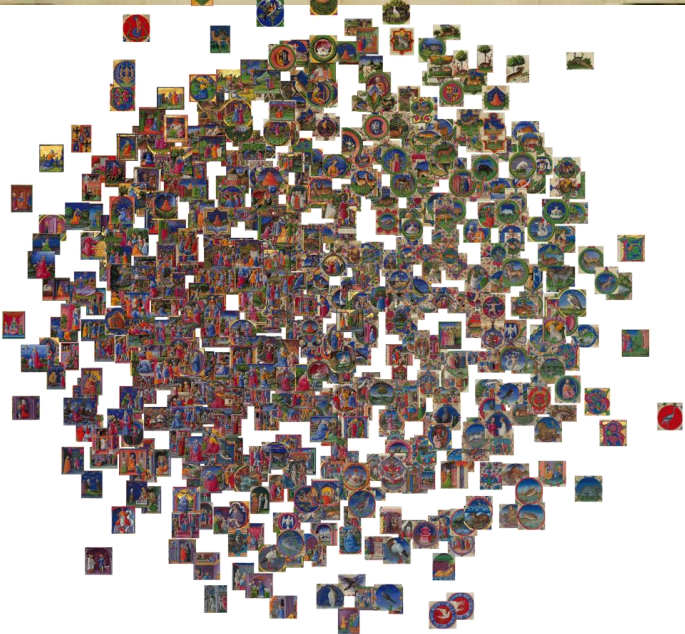
Molte soluzioni anche commerciali per

- OCR Optical Character Recognition
- HCR Handwritten character recognition
- OTR Optical Text Recognition

Sfide ancora aperte:

- HTR Handwritten text recognition
- “In the Wild” Text Recognition

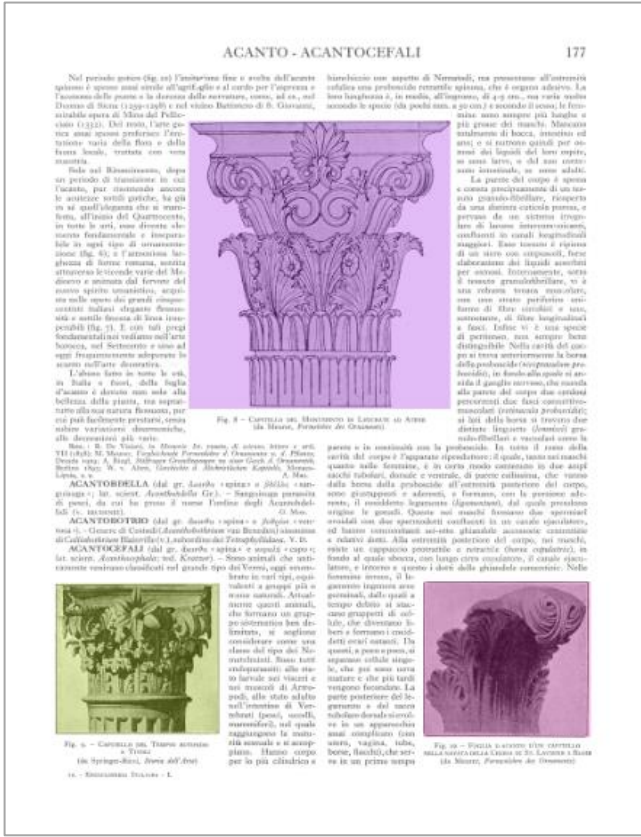




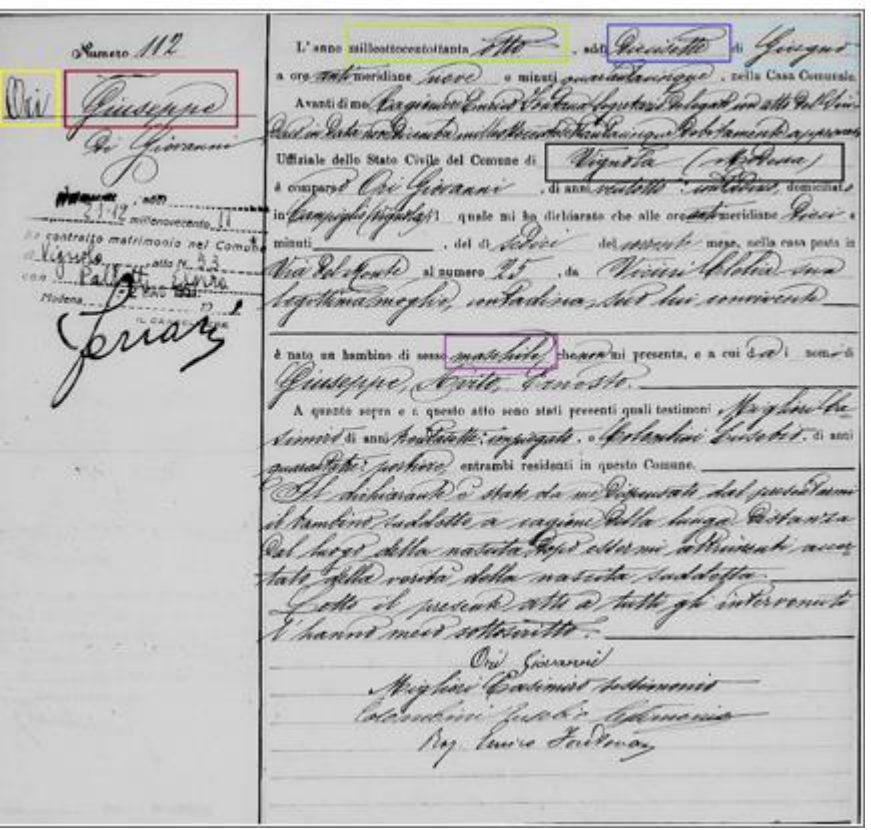
UNIMORE FCP BIBBIA ESTE 2010-13



UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA



UNIMORE TRECCANI 2014-2016



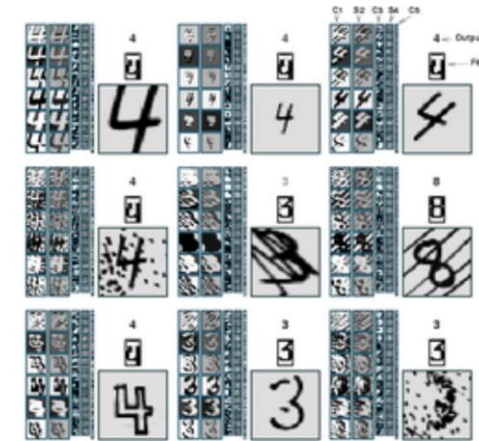
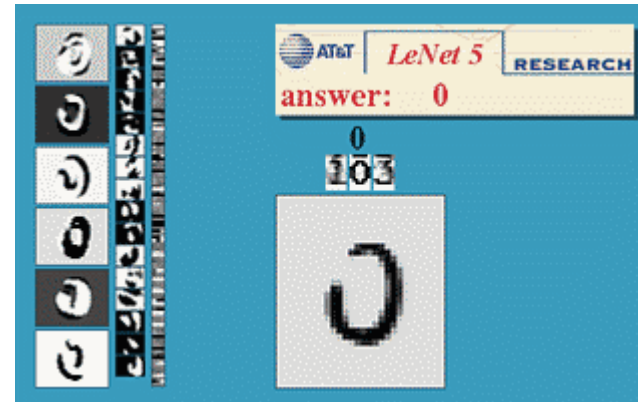
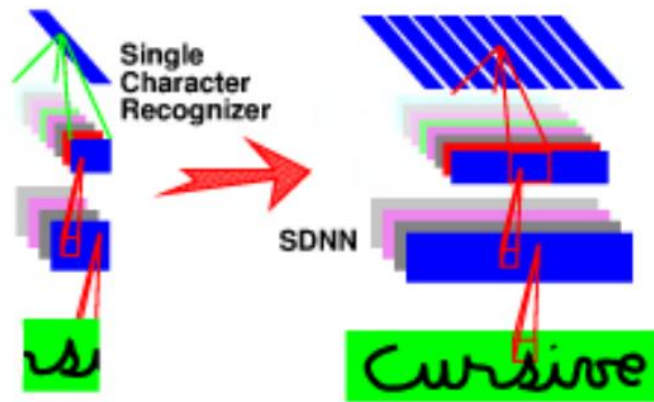
XDOC 2016-2018 FESR-ER



Yann Le Cun Reti neurali artificiali per HCR 1989

Yann Le Cun Yoshua Bengio Neural Networks ed Hidden Markov Models 1994

Yann le Cun et al. Convolutional Neural networks 1998 LeNet-5

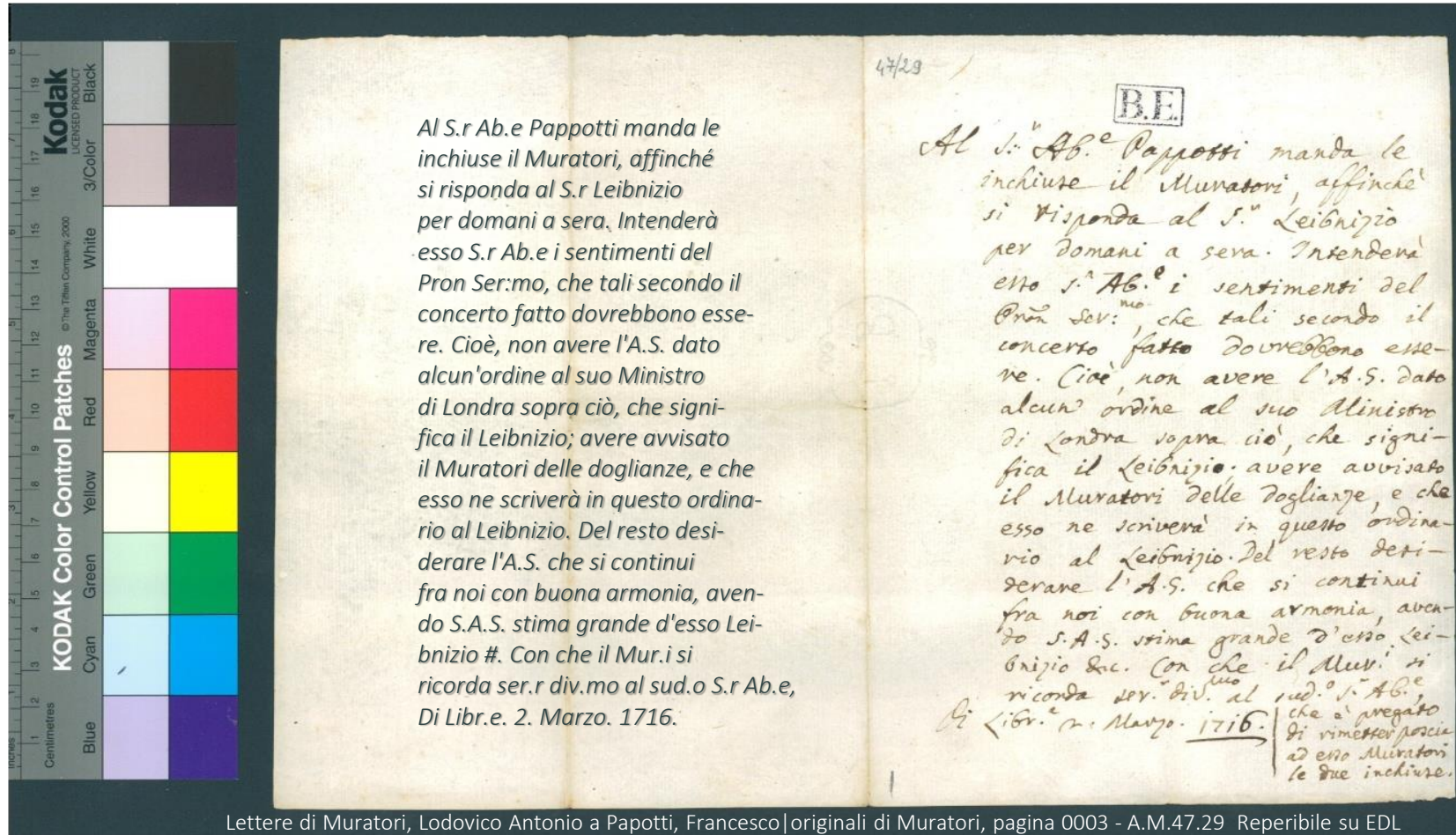


MNIST Database dal 1998
60.000 caratteri

Handwritten Character Recognition
La prima palestra per il
Deep learning e l'AI moderna

1998: error rate 12.0% 1 layer Neural Network
2002: error rate 0.68 Support Vector Machine
2007: error rate 0.54 k nearest neighbour
2012: error rate 0.23 convolutional neural net

<http://yann.lecun.com/exdb/mnist/>

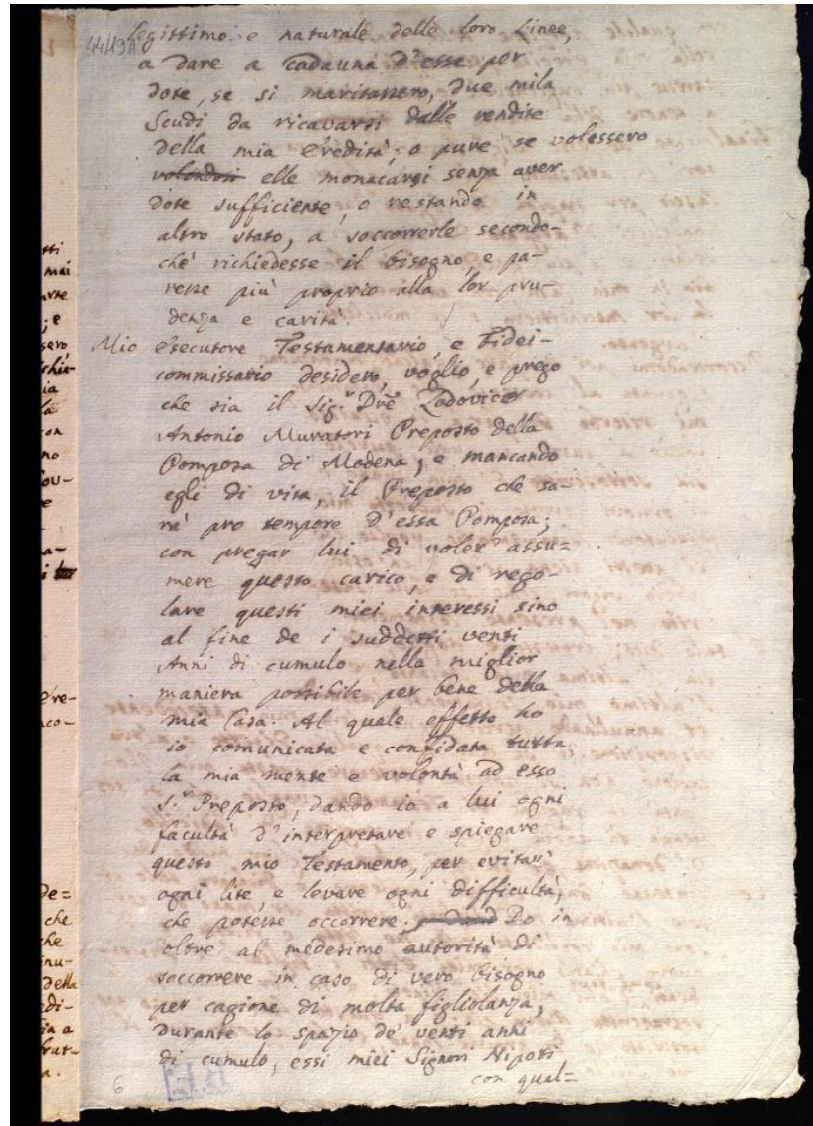


Lettere di Muratori, Lodovico Antonio a Papotti, Francesco|originali di Muratori, pagina 0003 - A.M.47.29 Reperibile su EDL

- Trascrizione semi-automatica a basso costo
- Fruizione più agevole del testo
- Ricerca automatica in grandi collezioni
- Una sfida per l'AI moderna

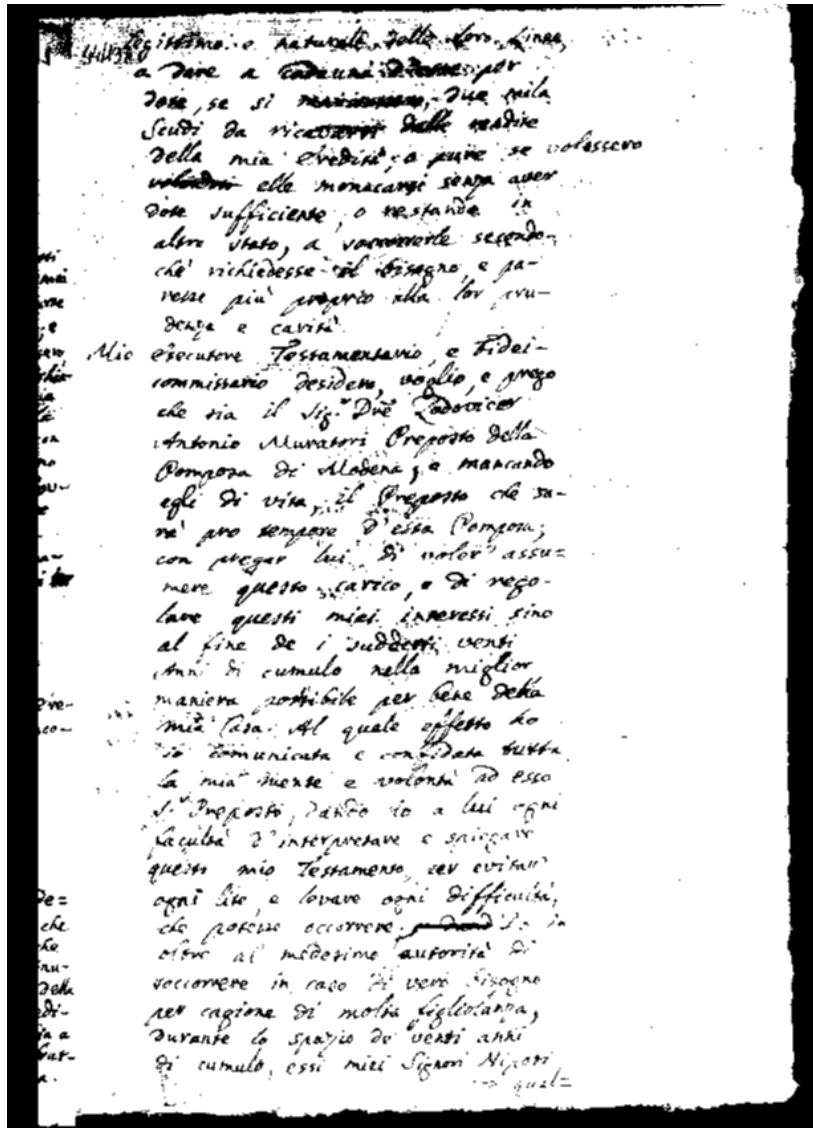


- Per la sua rilevanza culturale per la città di Modena
- Per la vastità del corpus muratoriano
 - Più di **3000 fascicoli in EDL** (lettere, minute, appunti; autografi e non; principalmente in Italiano, ma anche in Latino, Francese, ...)
- Per le sfide tecniche di questi manoscritti



I documenti storici mostrano i segni del tempo...

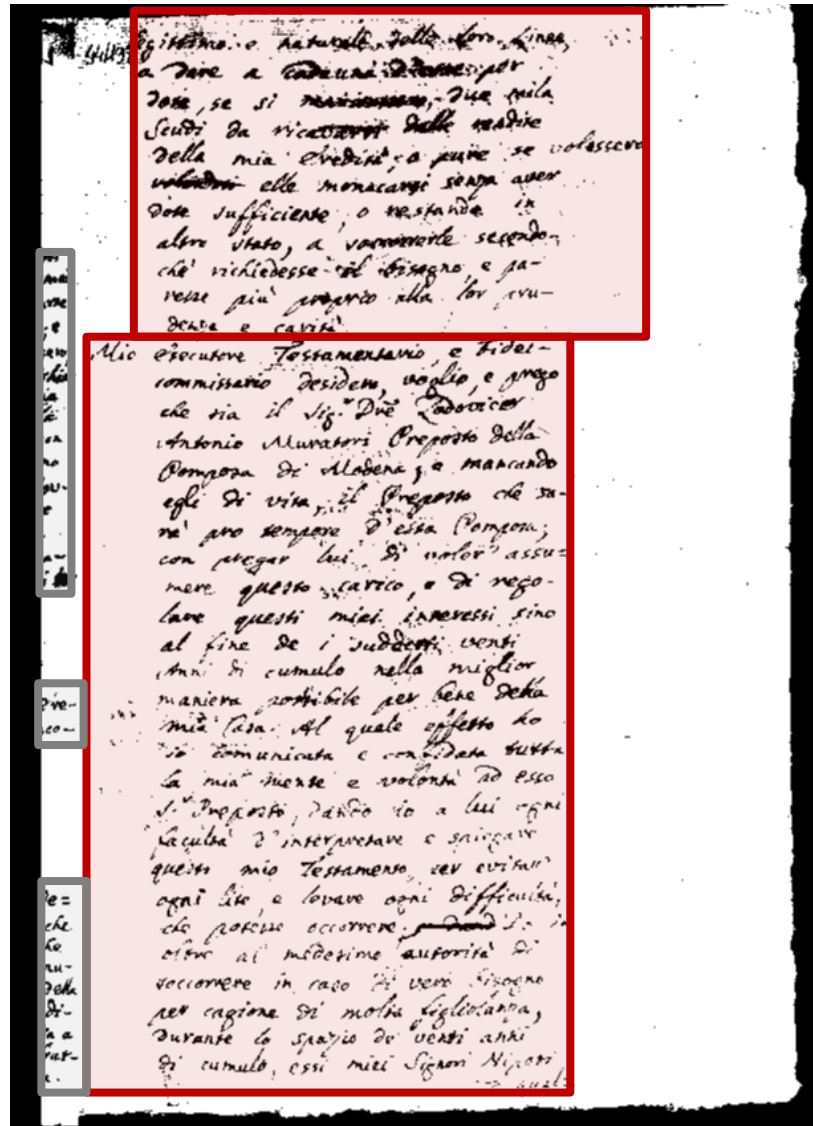
→ Preprocessing



I documenti storici mostrano i segni del tempo...

→ Preprocessing!

Binarization, Enhancement, Completion, ...

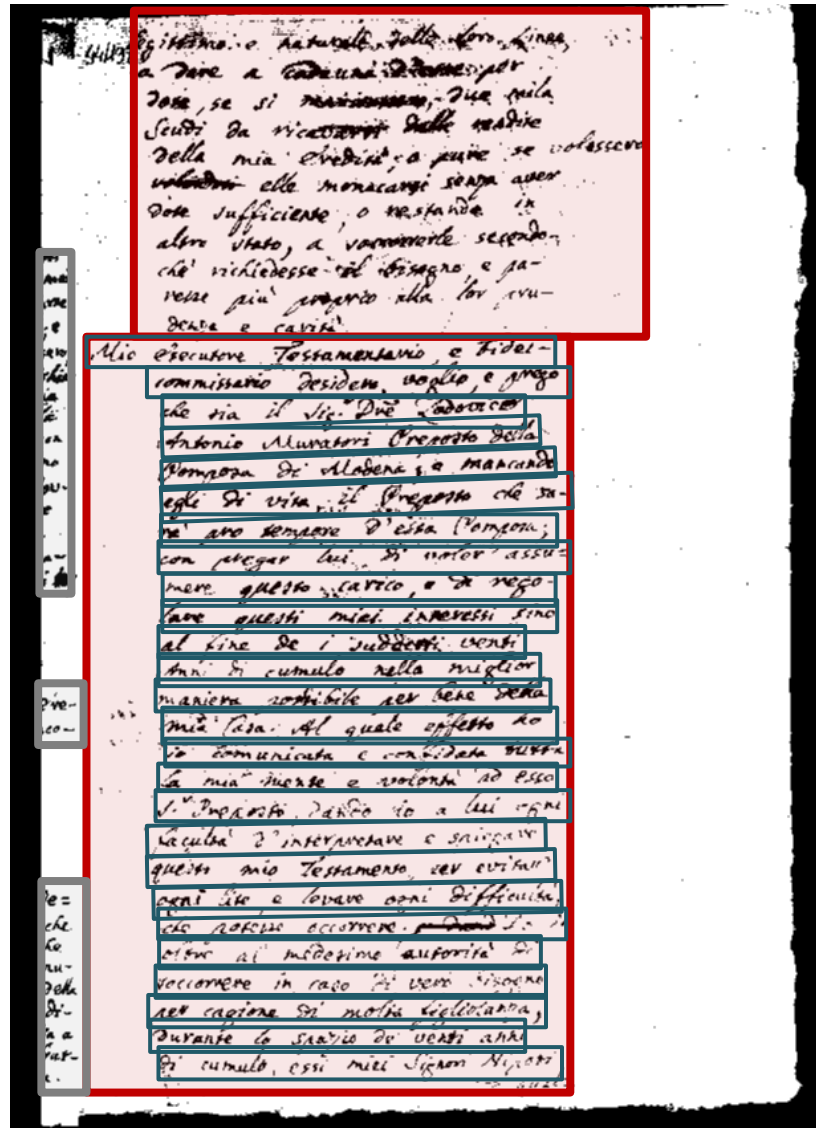


I documenti storici mostrano i segni del tempo...

→ Preprocessing!

Binarization, Enhancement, Completion, ...

Layout Analysis



I documenti storici mostrano i segni del tempo...

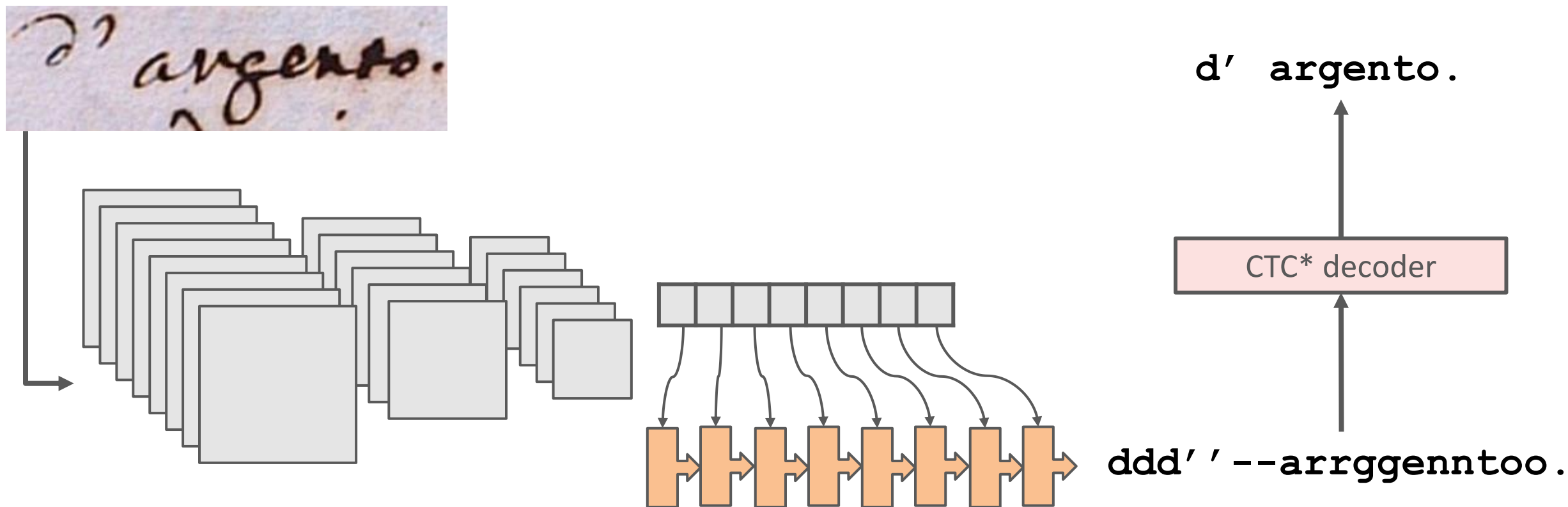
→ Preprocessing!

Binarization, Enhancement, Completion, ...

Layout Analysis

Line segmentation (& Rectification)*

* La segmentazione può essere anche a livello di parola o di paragrafo, quella per linee è la più comune



A roindan number: 1234.



"A roindan nunibr: 1234."

Post-elaborazioni con strutture semantiche ad albero
(word beam search) se esiste un vocabolario, es. Inglese

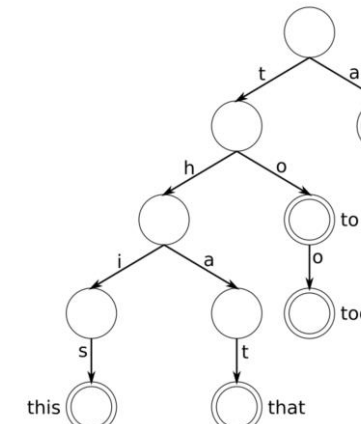
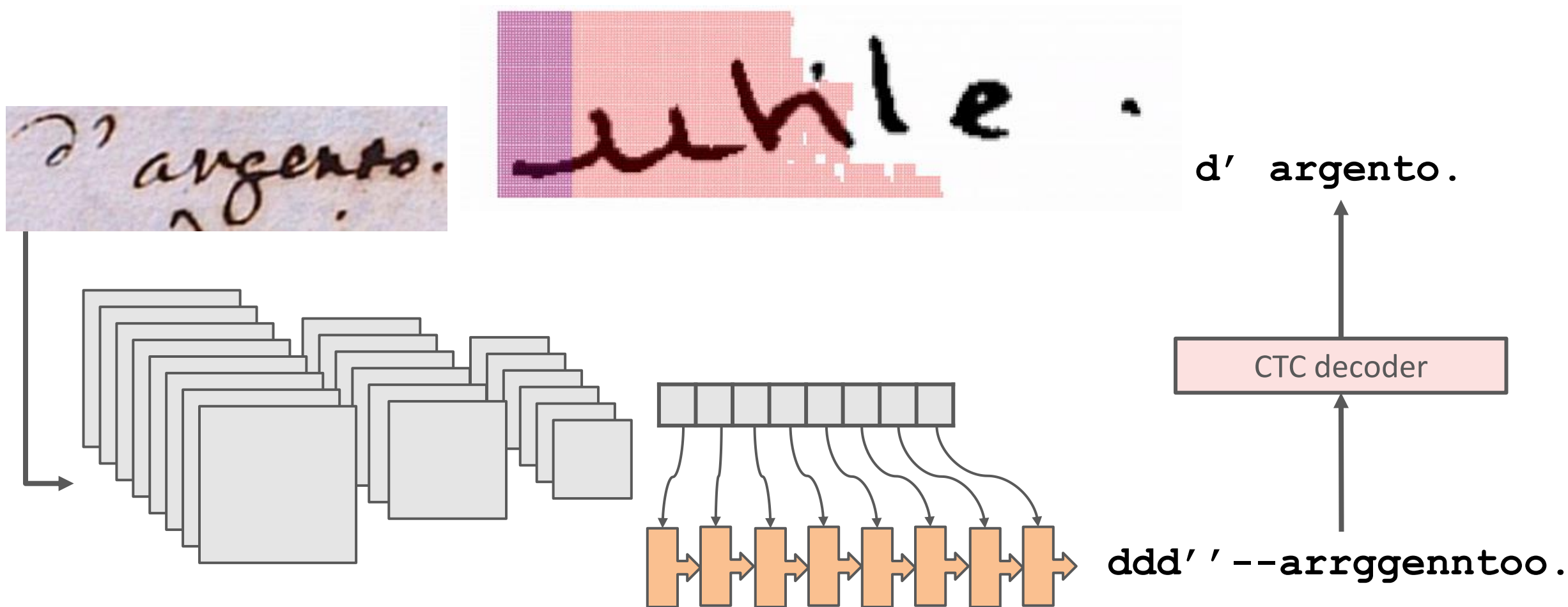
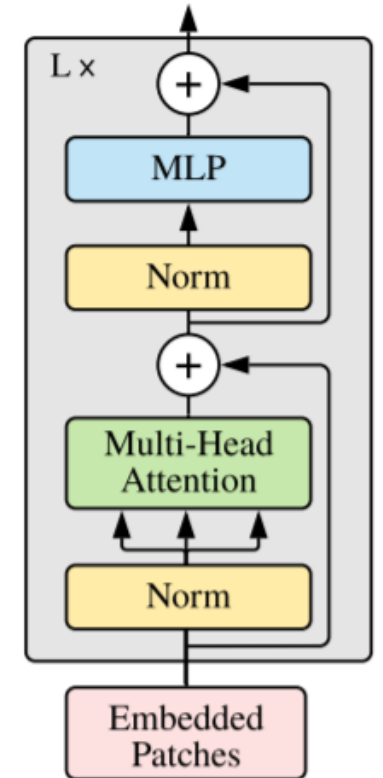
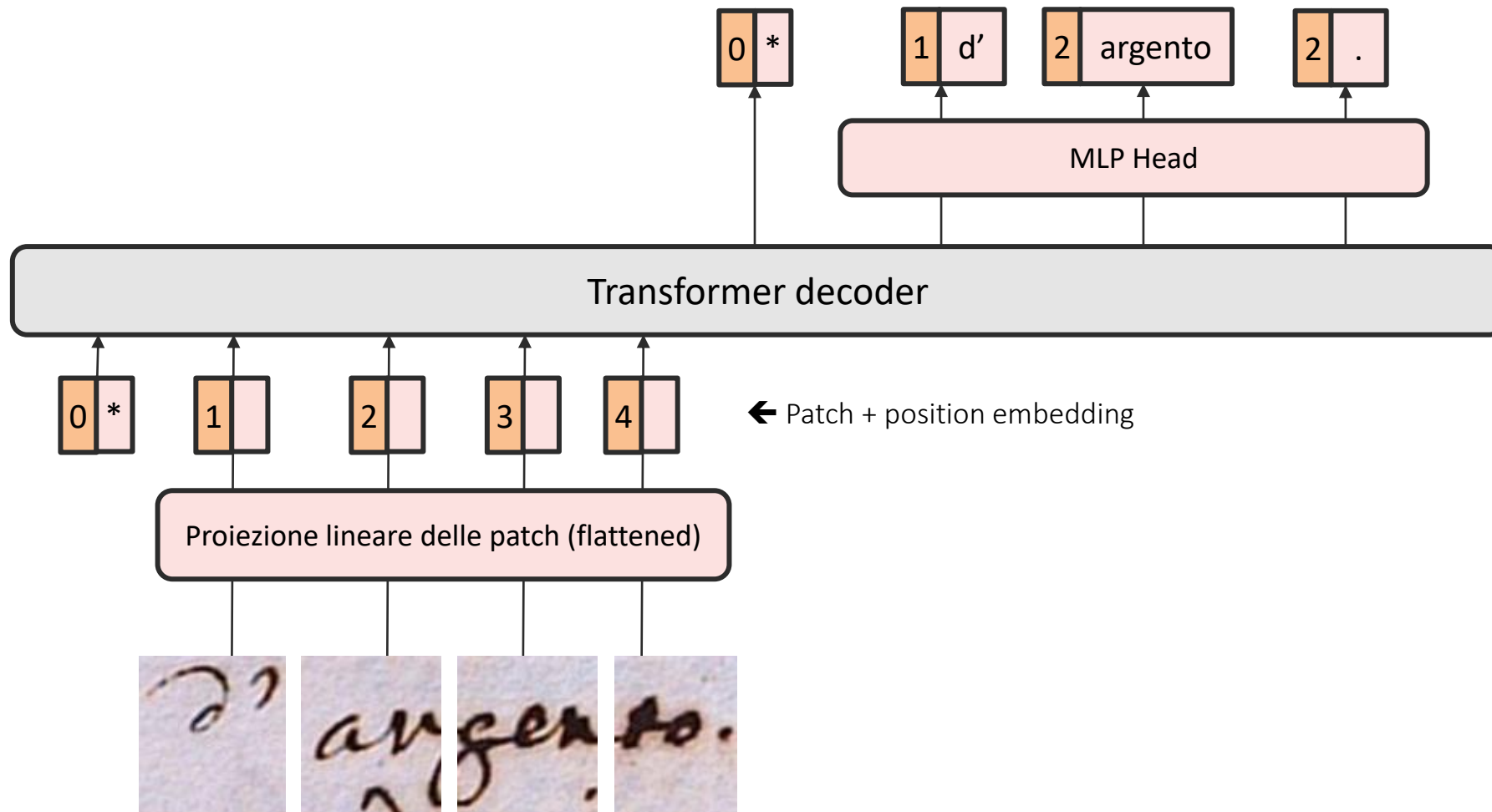
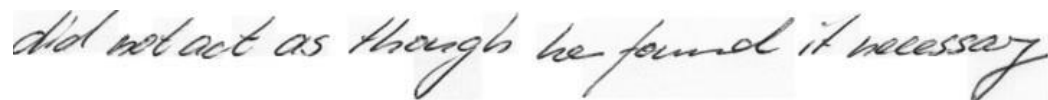


Fig. 4: Prefix tree containing words "to", "to", "to", "this" and "that".





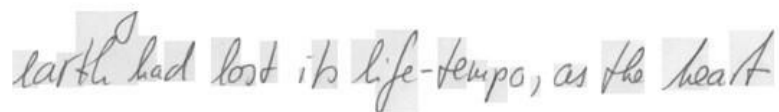
Sullo IAM dataset:



Groud Truth: did not act as though he found it necessary

→ **Full-DefConv:** did not act as though he found it necessary

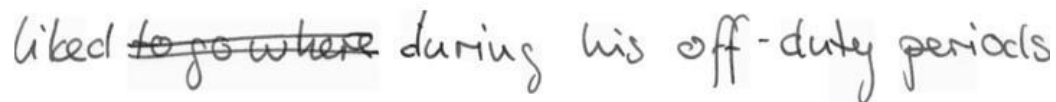
Shi et al. [14]: dd n act as thaugh kefanod it necarseay



Groud Truth: earth had lost its life-tempo, as the heart

→ **Full-DefConv:** earth had lost its lefe-tempo, as the heart

Shi et al. in [14]: earthled bost its eferteupo, as the beat

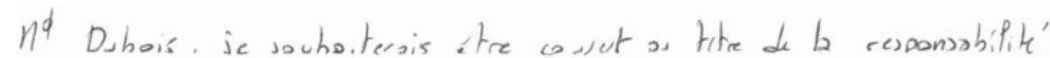


Groud Truth: liked during his off-duty periods

→ **Full-DefConv:** liked # during his off-duty periods

Shi et al. [14]: liked tegotere during his off-duty periots

Sul RIMES dataset:



Groud Truth: Md Dubois je souhaiterais être couvert au titre de la responsabilité

→ **Full-DefConv:** Ma Duois je souhaiterais être coupet au. Titre de l ressonabilité

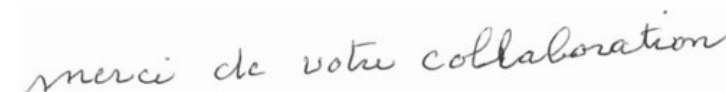
Shi et al. in [14]: ma Buboiss. Je souhatersir être lea mert u titre de b ressonssbilité



Groud Truth: JE ME PERMETS DE VOUS ECRIRE POUR AVOIR

→ **Full-DefConv:** JE ME MERMETS DE VOUS ECPIR POUP QNOIR

Shi et al. in [14]: JEe PERMET DE voUS FcAlrRe Pour avoin



Groud Truth: merci de votre collaboration

→ **Full-DefConv:** erci de votre collaloration

Shi et al. in [14]: A'acexio de votre collaloration

I risultati ottenuti sono molto competitivi con lo stato dell'arte, ma la **capacità di generalizzazione** è un **punto debole** dei sistemi di HTR...

	Addestramento sullo IAM dataset		Addestramento sul RIMES dataset	
	CER [%]	WER [%]	CER [%]	WER [%]
IAM test set	7,0	25,6	51,3	95,5
RIMES test set	32,2	86,5	5,5	17,9
Sample Muratori	50,5	88,8	78,4	99,4
Sample Muratori - Binarized	36,6	82,6	41,9	87,9

→ Servono dei dati di addestramento specifici, per adattare i modelli a lavorare sul nuovo dominio

✎ Abbiamo finora annotato 14675 righe in 1323 pagine.

Elenco fascicoli annotabili

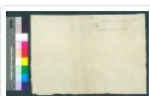


Lettere di Muratori, Lodovico Antonio a Muratori Bianchi, Giovanna Maria|originali di Muratori

A.M.46.06

Accedi ➔

87.5%



Lettere di Muratori, Lodovico Antonio a Muratori, Francesco Antonio|originali di Muratori

A.M.47.08

Accedi ➔

100%



Segnatura: AC.LEOPARDI.GIACOMO

AC.LEOPARDI.GIACOMO

Accedi ➔

100%



Lettere di Muratori, Lodovico Antonio a Soli Muratori, Antonio Fortunato|originali di Muratori

A.M.47.48

Accedi ➔

100%



Lettere di Muratori, Lodovico Antonio a Zeno, Apostolo|originali di Muratori

A.M.48.16

Accedi ➔

95%



Lettere di Muratori, Lodovico Antonio a Tolomei, Giovanni Battista|originali di Muratori

A.M.48.08

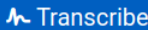
Accedi ➔

100%

Una nuova interfaccia
Per addestrare reti neurali
da esperti umani*

Transcribe @ AGO




[Home](#)
[Importa fascicoli](#)
[Esci](#)

[Log-in come scascianelli](#)


 Abbiamo finora annotato 14675 righe in 1323 pagine.

Elenco fascicoli annotabili

	Lettere di Muratori, Lodovico Antonio a Muratori Bianchi, Giovanna Maria originali di Muratori A.M.46.06 Accedi  87.5%
	Lettere di Muratori, Lodovico Antonio a Muratori, Francesco Antonio originali di Muratori A.M.47.08 Accedi  100%
	Segnatura: AC.LEOPARDI.GIACOMO AC.LEOPARDI.GIACOMO Accedi  100%
	Lettere di Muratori, Lodovico Antonio a Soli Muratori, Antonio Fortunato originali di Muratori A.M.47.48 Accedi  100%
	Lettere di Muratori, Lodovico Antonio a Zeno, Apostolo originali di Muratori A.M.48.16 Accedi  95%
	Lettere di Muratori, Lodovico Antonio a Tolomei, Giovanni Battista originali di Muratori A.M.48.08 Accedi  100%

Monitoriamo i nostri progressi

Abbiamo finora annotato 14675 righe in 1323 pagine.

Elenco fascicoli annotabili

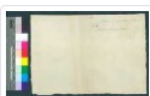


Lettere di Muratori, Lodovico Antonio a Muratori Bianchi, Giovanna Maria|originali di Muratori

A.M.46.06

Accedi ➔

87.5%



Lettere di Muratori, Lodovico Antonio a Muratori, Francesco Antonio|originali di Muratori

A.M.47.08

Accedi ➔

100%



Segnatura: AC.LEOPARDI.GIACOMO

AC.LEOPARDI.GIACOMO

Accedi ➔

100%



Lettere di Muratori, Lodovico Antonio a Soli Muratori, Antonio Fortunato|originali di Muratori

A.M.47.48

Accedi ➔

100%



Lettere di Muratori, Lodovico Antonio a Zeno, Apostolo|originali di Muratori

A.M.48.16

Accedi ➔

95%



Lettere di Muratori, Lodovico Antonio a Tolomei, Giovanni Battista|originali di Muratori

A.M.48.08

Accedi ➔

100%

Individuiamo i fascicoli pronti e quelli che hanno ancora bisogno di lavoro

Importazione fascicoli

Crea nuovo job di importazione

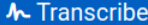
Identificativo IIIF*

L'identificativo IIIF si ricava dalla pagina del fascicolo su EDL. Si trova nell'URL riportato alla voce "Manifest IIIF". Ad esempio, per [questo fascicolo](#), il Manifest IIIF è <https://iiif.edl.beniculturali.it/9725/manifest> e l'identificativo IIF è 9725.

Invia

Stato dei job di importazione

#	Identificativo IIIF	Data creazione	Data ultimo aggiornamento	Stato	Fascicolo importato
43	14827	Oct. 14, 2020, 3:58 p.m.	Oct. 14, 2020, 4:07 p.m.	Completato	Lettere di Leibniz, Gottfried Wilhelm von a Lodovico Antonio Muratori
42	10995	Oct. 14, 2020, 2:57 p.m.	Oct. 14, 2020, 3:30 p.m.	Completato	Aminta, favola pastorale
41	10945	Oct. 14, 2020, 2:57 p.m.	Oct. 14, 2020, 3:40 p.m.	Completato	Rime
40	10913	Oct. 14, 2020, 2:57 p.m.	Oct. 14, 2020, 3:27 p.m.	Completato	Rime di diversi autori
39	10908	Oct. 14, 2020, 2:53 p.m.	Oct. 14, 2020, 3:06 p.m.	Completato	Lettere familiari
38	8804	Aug. 24, 2020, 10:40 a.m.	Aug. 24, 2020, 10:51 a.m.	Completato	Appunti su Locke
37	8804	Aug. 24, 2020, 10:40 a.m.	Aug. 24, 2020, 10:51 a.m.	Completato	Appunti su Locke
36	8857	July 31, 2020, 12:58 a.m.	July 31, 2020, 1:04 a.m.	Completato	Scritti relativi a La filosofia morale esposta e proposta ai giovani
35	14965	July 29, 2020, 11:36 a.m.	July 30, 2020, 3:22 p.m.	Completato	Lettere ottanta di Lodovico Antonio Muratori al D.r Matteo Meloni e all'ab. Francesco Panotti e Lettera del Meloni al Muratori trascritte dagli autografa da D. Paolo


[Home](#)
[Importa fascicoli](#)
[Esci](#)

Log-in come scascianelli

Importazione fascicoli

Crea nuovo job di importazione

Identificativo IIIF*

4242

L'identificativo IIIF si ricava dalla pagina del fascicolo su EDL. Si trova nell'URL riportato alla voce "Manifest IIIF". Ad esempio, per [questo fascicolo](#), il Manifest IIIF è <https://iiif.edl.beniculturali.it/9725/manifest> e l'identificativo IIF è 9725.

Invia

Stato dei job di importazione

#	Identificativo IIIF	Data creazione	Data ultimo aggiornamento	Stato	Fascicolo importato
43	14827	Oct. 14, 2020, 3:58 p.m.	Oct. 14, 2020, 4:07 p.m.	Completato	Lettere di Leibniz, Gottfried Wilhelm von a Lodovico Antonio Muratori
42	10995	Oct. 14, 2020, 2:57 p.m.	Oct. 14, 2020, 3:30 p.m.	Completato	Aminta, favola pastorale
41	10945	Oct. 14, 2020, 2:57 p.m.	Oct. 14, 2020, 3:40 p.m.	Completato	Rime
40	10913	Oct. 14, 2020, 2:57 p.m.	Oct. 14, 2020, 3:27 p.m.	Completato	Rime di diversi autori
39	10908	Oct. 14, 2020, 2:53 p.m.	Oct. 14, 2020, 3:06 p.m.	Completato	Lettere familiari
38	8804	Aug. 24, 2020, 10:40 a.m.	Aug. 24, 2020, 10:51 a.m.	Completato	Appunti su Locke
37	8804	Aug. 24, 2020, 10:40 a.m.	Aug. 24, 2020, 10:51 a.m.	Completato	Appunti su Locke
36	8857	July 31, 2020, 12:58 a.m.	July 31, 2020, 1:04 a.m.	Completato	Scritti relativi a La filosofia morale esposta e proposta ai giovani
35	14965	July 29, 2020, 11:36 a.m.	July 30, 2020, 3:22 p.m.	Completato	Lettere ottanta di Lodovico Antonio Muratori al D.r Matteo Meloni e all'ab. Francesco Panotti e Lettera del Meloni al Muratori trascritte dagli autografa da D. Paolo

Importiamo i fascicoli direttamente da EDL, tramite identificativo IIIF



Lettere di Muratori, Lodovico Antonio a Genovesi, Antonio|originali di Muratori

☰ Torna alla lista dei fascicoli

Metadati

Segnatura: A.M.46.73

Tipologia: Fascicoli

Collezione: Fondo L.A. Muratori

Creatori: Muratori, Lodovico Antonio Genovesi, Antonio

Pagine annotabili



✓ 0001 - A.M.46.73



✓ 0002 - A.M.46.73



✗ 0003 - A.M.46.73



✓ 0004 - A.M.46.73



0005 - A.M.46.73



✓ 0006 - A.M.46.73



✗ 0007 - A.M.46.73



✓ 0008 - A.M.46.73



✓ 0009 - A.M.46.73



✓ 0010 - A.M.46.73



✓ 0011 - A.M.46.73



0012 - A.M.46.73



✓ 0013 - A.M.46.73



✓ 0014 - A.M.46.73



Lettere di Muratori, Lodovico Antonio a Genovesi, Antonio|originali di Muratori

[Torna alla lista dei fascicoli](#)

Metadati

Segnatura: A.M.46.73

Tipologia: Fascicoli

Collezione: Fondo L.A. Muratori

Creatori: Muratori, Lodovico Antonio Genovesi, Antonio

Pagine annotabili



✓ 0001 - A.M.46.73



✓ 0002 - A.M.46.73



✗ 0003 - A.M.46.73



✓ 0004 - A.M.46.73



0005 - A.M.46.73



✓ 0006 - A.M.46.73



✗ 0007 - A.M.46.73



✓ 0008 - A.M.46.73



✓ 0009 - A.M.46.73



✓ 0010 - A.M.46.73



✓ 0011 - A.M.46.73



✗ 0012 - A.M.46.73



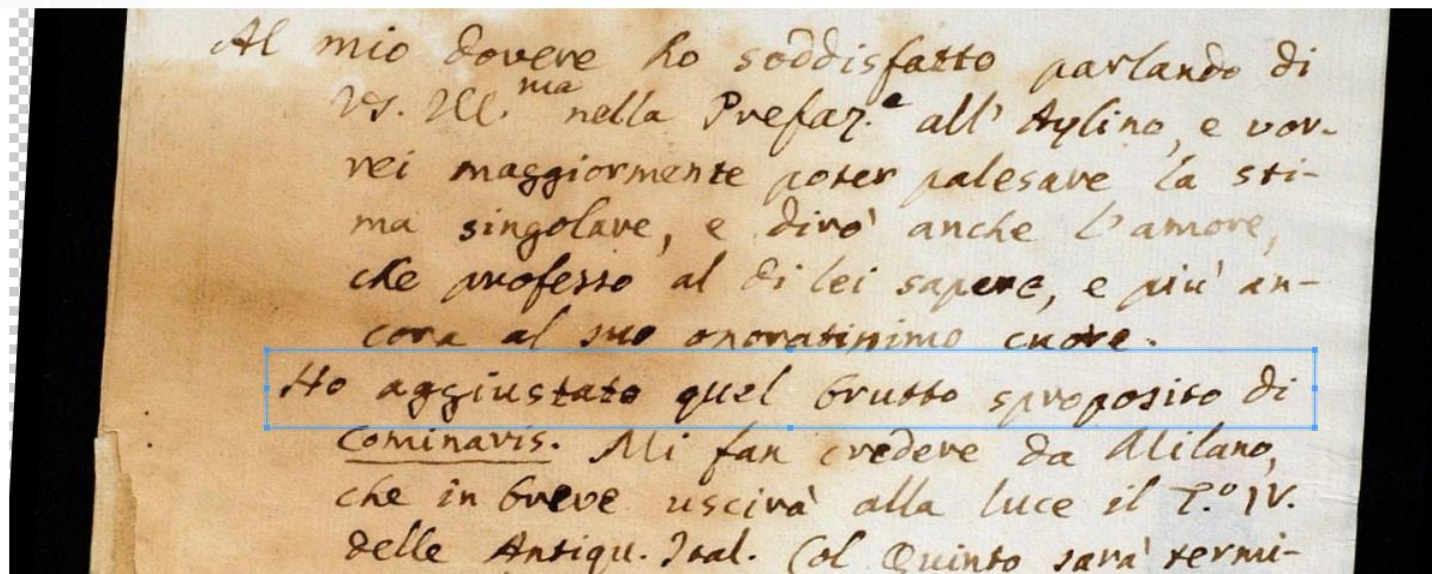
✓ 0013 - A.M.46.73



✓ 0014 - A.M.46.73

Teniamo traccia delle pagine annotate, in corso di annotazione e ancora da annotare

Lettere di Muratori, Lodovico Antonio a Beretta, Francesco | originali di Muratori, pagina 0007 - A.M.46.11

[← Pagina precedente](#) [☰ Torna alla lista delle pagine](#) [Pagina successiva →](#)Stato della pagina: annotazione in corso. [✓ Chiudi pagina](#)[✓ Salva](#)

Trascrizioni già inserite

- III.mo Sig.r Sig.re e Pron Col.mo
- Al mio dovere ho soddisfatto parlando di
- Vs. III.ma nella Prefaz.e all'Aylino, e vor-
- rei maggiormente poter palesare la sti-
- ma singolare, e dirò anche l'amore,
- che professo al di lei sapere, e più an-

Lettere di Muratori, Lodovico Antonio a Beretta, Francesco | originali di Muratori, pagina 0007 - A.M.46.11

← Pagina precedente

☰ Torna alla lista delle pagine

Pagina successiva →

Stato della pagina: annotazione in corso.

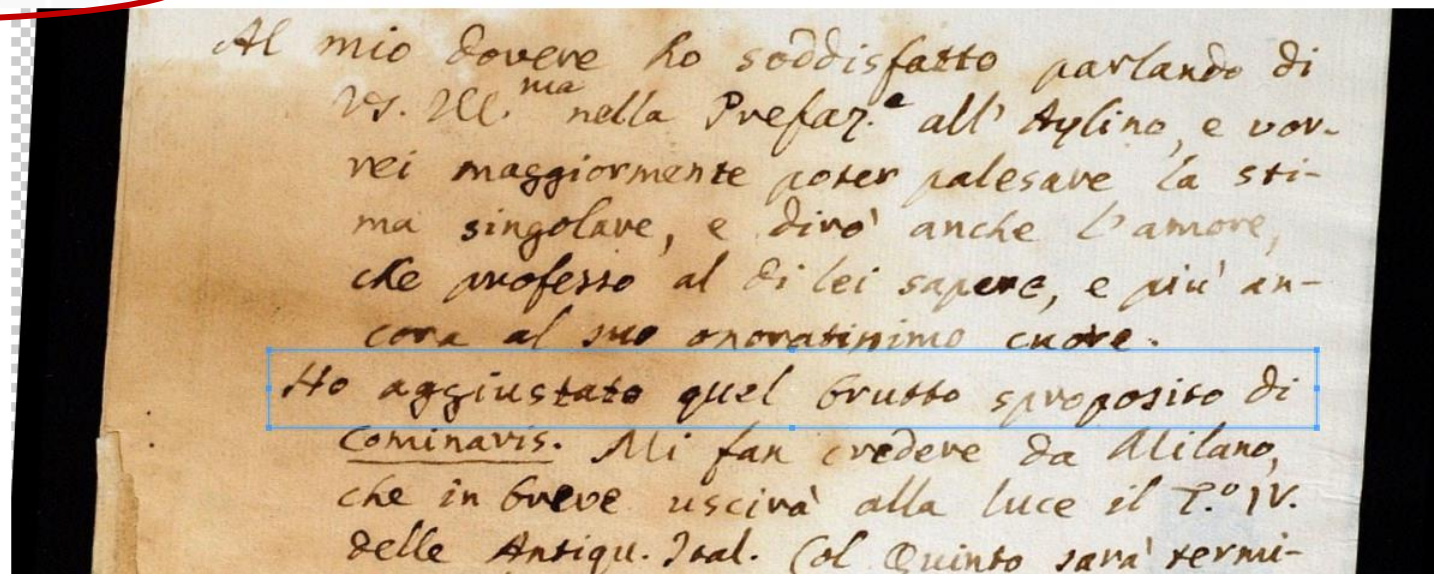
✓ Chiudi pagina

Ho aggiustato quel brutto sproposito di

✓ Salva



Posizioniamo
la pagina



Trascrizioni già inserite

III.mo Sig.r Sig.re e Pron Col.mo

Al mio dovere ho soddisfatto parlando di

Vs. Ill.ma nella Prefaz.e all'Ayliano, e vor-

rei maggiormente poter palesare la sti-

ma singolare, e dirò anche l'amore,

che professo al di lei sapere, e più an-

Transcribe Home Importa fascicoli Esci Log-in come scascianelli

Lettere di Muratori, Lodovico Antonio a Beretta, Francesco | originali di Muratori, pagina 0007 - A.M.46.11

← Pagina precedente Torna alla lista delle pagine Pagina successiva → Stato della pagina: annotazione in corso. ✓ Chiudi pagina

Ho aggiustato quel brutto sproposito di ✓ Salva

Al mio dovere ho soddisfatto parlando di
V. Ill.^{ma} nella Prefaz.^e all' Ayliano, e vor-
rei maggiormente poter palesare la sti-
ma singolare, e dirò anche l'amore,
che professo al di lei sapere, e più an-
cora al suo ornatissimo cuore.

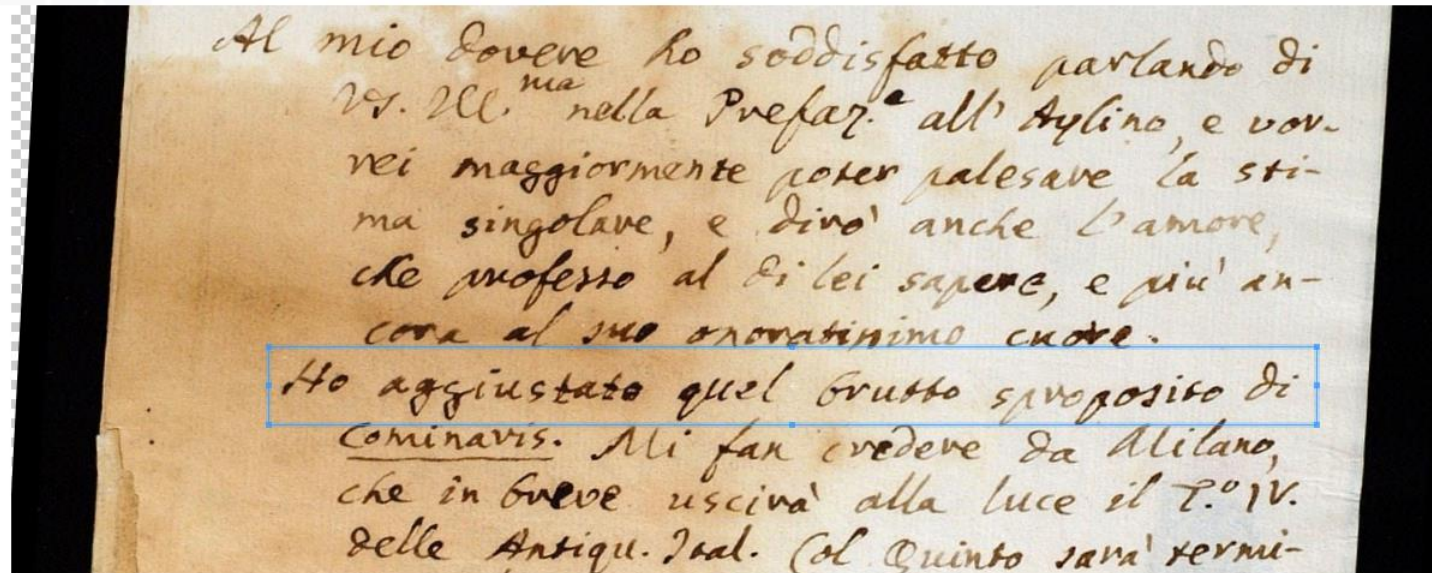
Ho aggiustato quel brutto sproposito di
cominavis. Mi fan credere da Milano,
che in breve uscirà alla luce il T.^o IV.
delle Antiqu. Ital. Col. Quinto sarà termi-

Isoliamo e annotiamo le righe

Trascrizioni già inserite

- Ill.mo Sig.r Sig.re e Pron Col.mo
- Al mio dovere ho soddisfatto parlando di
- Vs. Ill.ma nella Prefaz.e all'Ayliano, e vor-
- rei maggiormente poter palesare la sti-
- ma singolare, e dirò anche l'amore,
- che professo al di lei sapere, e più an-

Lettere di Muratori, Lodovico Antonio a Beretta, Francesco | originali di Muratori, pagina 0007 - A.M.46.11

[← Pagina precedente](#) [☰ Torna alla lista delle pagine](#) [Pagina successiva →](#)Stato della pagina: annotazione in corso. [✓ Chiudi pagina](#)[✓ Salva](#)

Trascrizioni già inserite

- Ill.mo Sig.r Sig.re e Pron Col.mo
- Al mio dovere ho soddisfatto parlando di
- Vs. Ill.ma nella Prefaz.e all'Aylino, e vor-
- rei maggiormente poter palesare la sti-
- ma singolare, e dirò anche l'amore
- che professo al di lei sapere, e più an-

Teniamo traccia delle righe già trascritte,
per poterle poi anche modificare

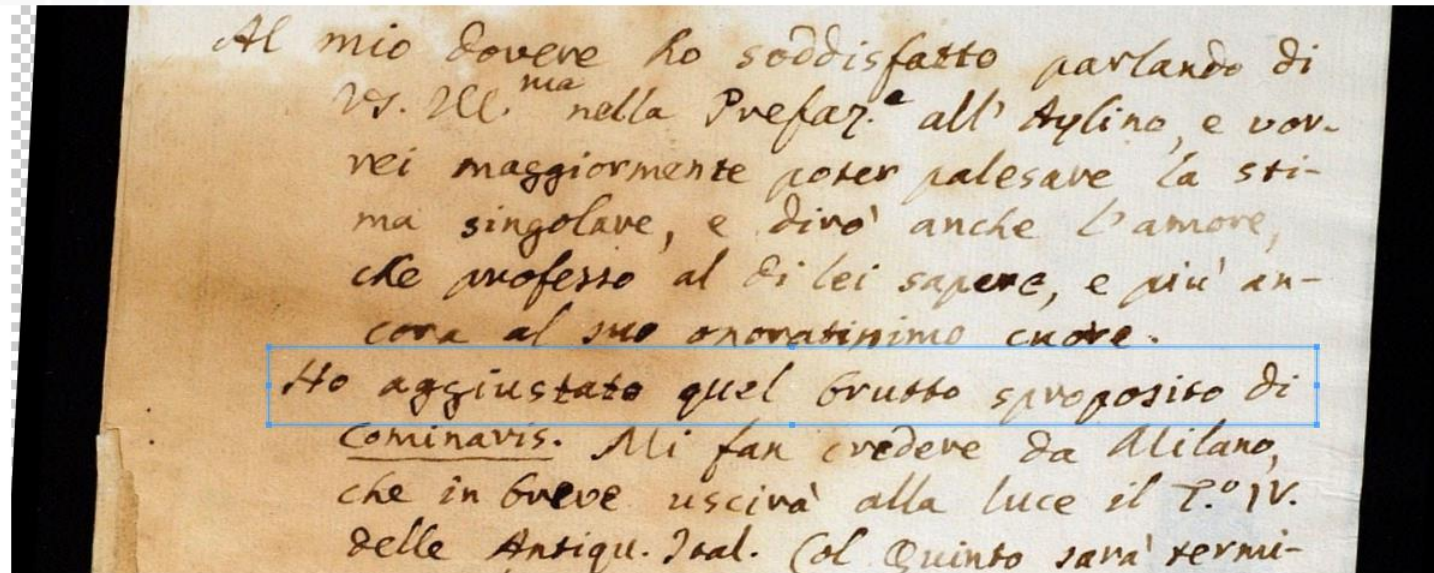
Lettere di Muratori, Lodovico Antonio a Beretta, Francesco | originali di Muratori, pagina 0007 - A.M.46.11

← Pagina precedente Torna alla lista delle pagine Pagina successiva →

Stato della pagina: annotazione in corso ✓ Chiudi pagina

Ho aggiustato quel brutto sproposito di

✓ Salva



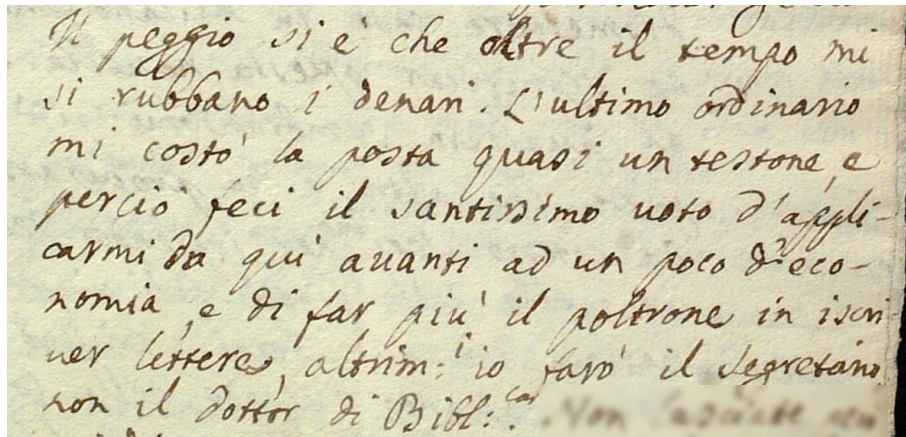
Trascrizioni già inserite

- III.mo Sig.r Sig.re e Pron Col.mo
- Al mio dovere ho soddisfatto parlando di
- Vs. Ill.ma nella Prefaz.e all'Ayliano, e vor-
- rei maggiormente poter palesare la sti-
- ma singolare, e dirò anche l'amore,
- che professo al di lei sapere, e più an-

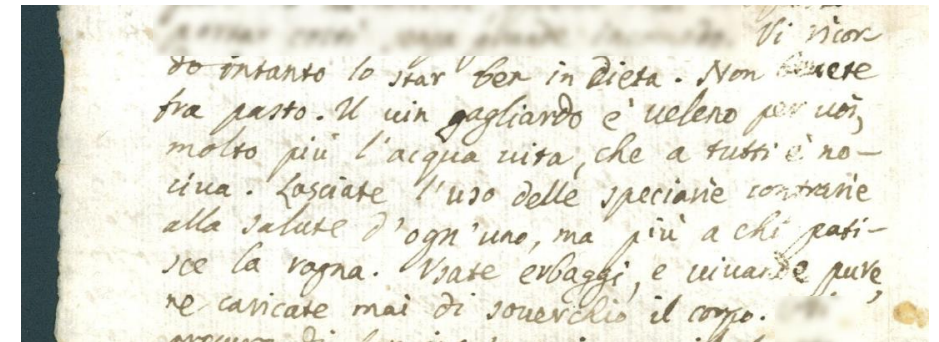
Chiudiamo la pagina per
aggiungerla al dataset

Ad oggi, abbiamo annotato ~**14000 righe** in ~**1200 pagine** (ed è un work in progress...)

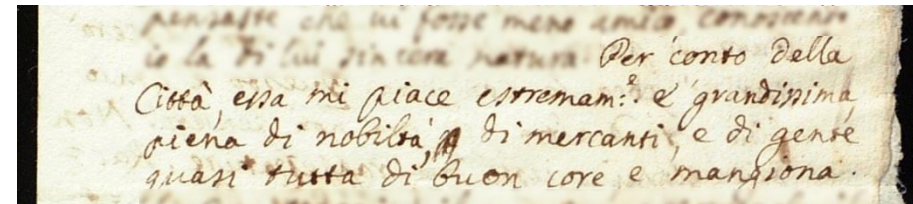
- Uno dei più grandi dataset di (line-level) HTR su documenti storici
- Il più grande dataset di HTR su documenti storici in Italiano



Il peggio si è che oltre il tempo mi si rubbano i denari. L'ultimo ordinario mi costò la posta quasi un testone, e perciò feci il santissimo voto d'applicarmi da quì avanti ad un poco d'economia, e di far più poltrone in iscriver lettere, altrim:i io farò il Segretario, non il dottor di Bibl:ca.



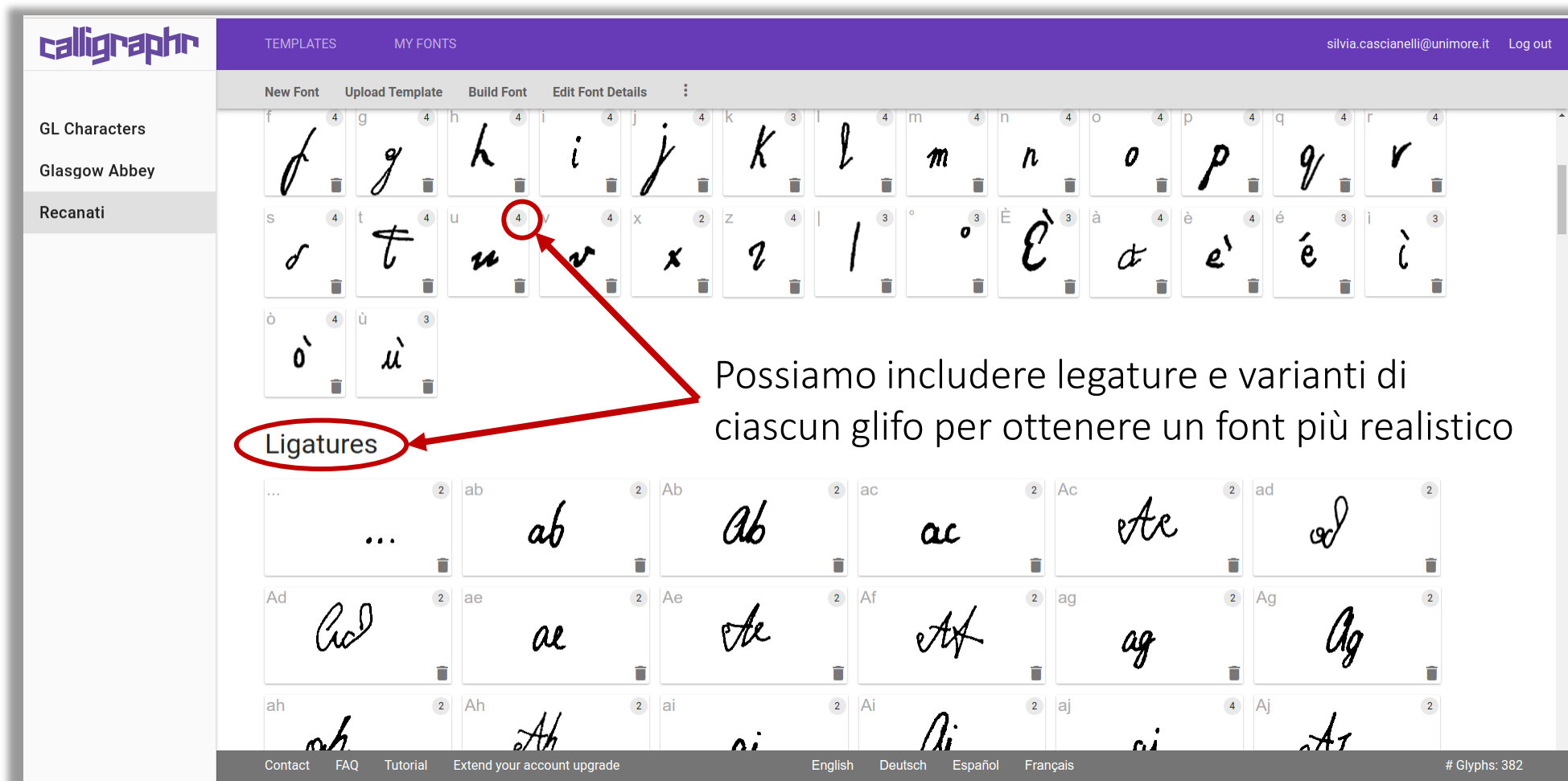
Vi ricordo intanto lo star bene in dieta. Non bevete fra pasto. Il vin gagliardo è veleno per noi, molto più l'acqua vita, che a tutti è nociva. Lasciate l'uso delle speciane contrarie alla salute d'ogn'uno, ma più a chi patisce la rognia. Usate erbaggi, e vivande pure, ne caricate mai di soverchio il corpo.



Per conto della Città, essa mi piace estremamente. È grandissima, piena di nobiltà, di mercanti, e di gente quasi tutta di bon core, e mangiona.

Le reti profonde sono strumenti **potenti**, ma anche molto **data greedy**

→ **Stiamo generando dati di training sintetici**

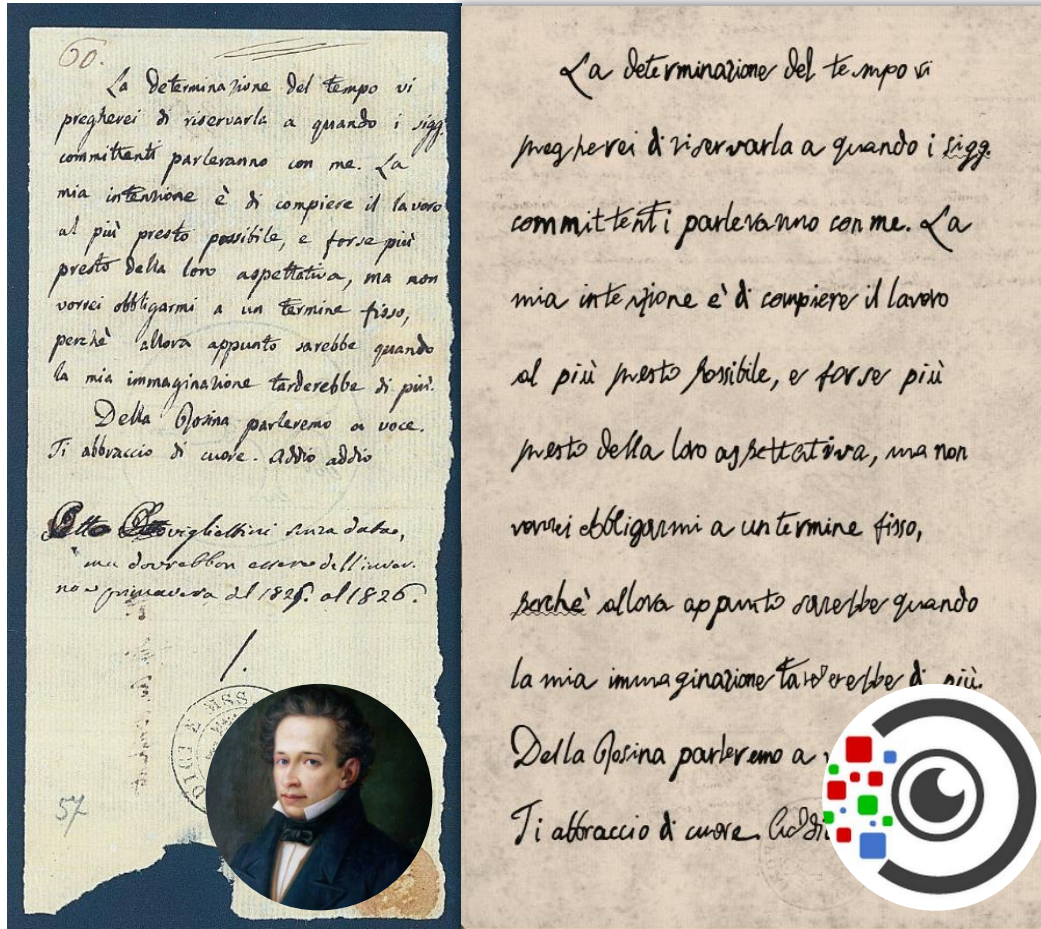


The screenshot shows the Calligraphr web interface. On the left, a sidebar lists 'GL Characters', 'Glasgow Abbey', and 'Recanati'. The main area is divided into two sections: 'New Font' and 'Ligatures'. The 'New Font' section displays a grid of individual glyphs (characters) in a cursive script, including letters from 'f' to 'v' and various accented characters. A red circle highlights the character 'u' in this grid. The 'Ligatures' section, located below, shows a grid of two-letter combinations (e.g., 'ab', 'ac', 'ad') that are rendered as single, connected cursive characters. A red arrow points from the 'u' in the 'New Font' section to the 'Ligatures' section, which is also circled in red. To the right of the 'Ligatures' section, text explains the purpose of this section.

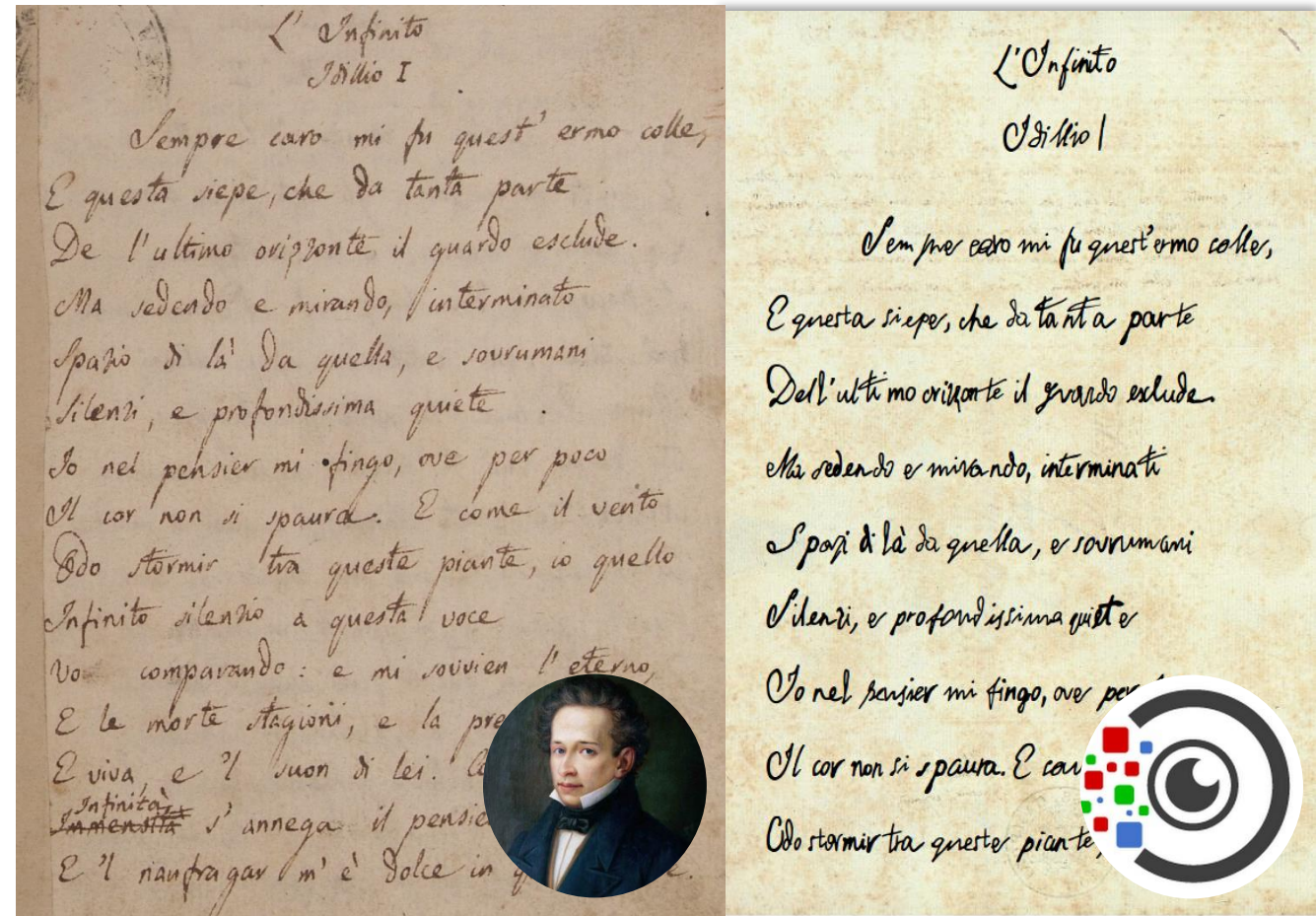
Possiamo includere legature e varianti di ciascun glifo per ottenere un font più realistico

Ligatures

Contact FAQ Tutorial Extend your account upgrade English Deutsch Español Français # Glyphs: 382



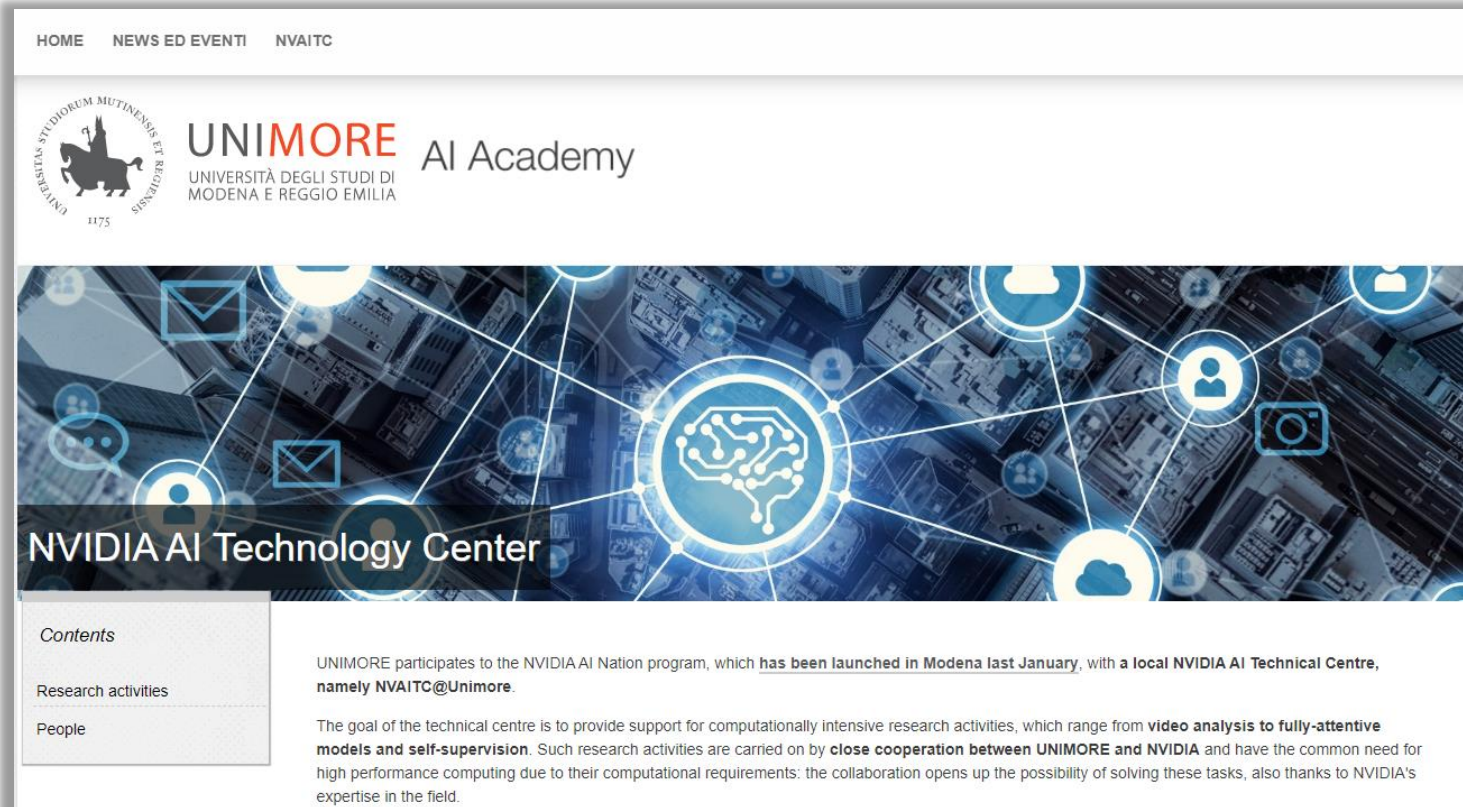
Lettera di Giacomo Leopardi a Pietro Brighenti, ca.1825/26,
dal Fondo Campori (Segnatura:AC.LEOPARDI.GIACOMO)



Manoscritto di Visso de *L'Infinito* di Giacomo Leopardi, 1830

Grazie ai Supercomputer

Collaborazione tra AlmageLab, NVIDIA e CINECA



HOME NEWS ED EVENTI NVAITC

 **UNIMORE** AI Academy
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA


NVIDIA AI Technology Center

Contents

Research activities

People

UNIMORE participates to the NVIDIA AI Nation program, which has been launched in Modena last January, with a local NVIDIA AI Technical Centre, namely **NVAITC@Unimore**.

The goal of the technical centre is to provide support for computationally intensive research activities, which range from **video analysis to fully-attentive models and self-supervision**. Such research activities are carried on by **close cooperation between UNIMORE and NVIDIA** and have the common need for high performance computing due to their computational requirements: the collaboration opens up the possibility of solving these tasks, also thanks to NVIDIA's expertise in the field.





UNIMORE
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI
MODENA E REGGIO EMILIA



Grazie

Per informazioni:

Silvia Cascianelli Dipartimento di Ingegneria “Enzo Ferrari”, UNIMORE

Silvia.Cascianelli@unimore.it



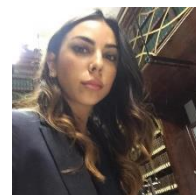
Matteo
Stefanini



Riccardo
Gasparini



Ludovica
Piazzini



Rosiana
Schiuma



Marcella
Cornia



Silvia
Cascianelli



Lorenzo
Baraldi



Rita
Cucchiara

Si ringrazia

- La Fondazione di Modena per il Progetto AI4DH ed AGO
- La Fondazione di Modena per il Progetto Estensi Digital Library con la Biblioteca Estense
- La Regione Emilia Romagna per il finanziamento DHMORE
- NVIDIA e CINECA per l'HPC

