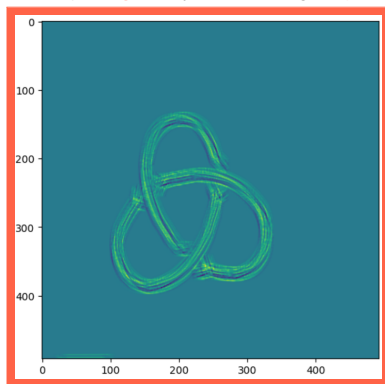


# Picture recognition, knots and quantum algebra

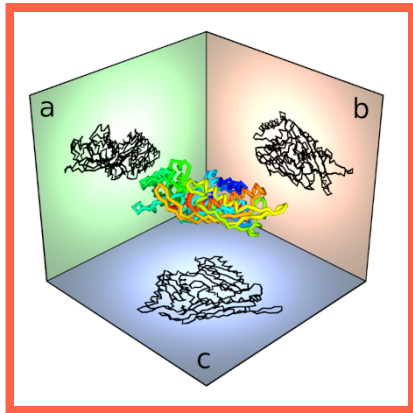
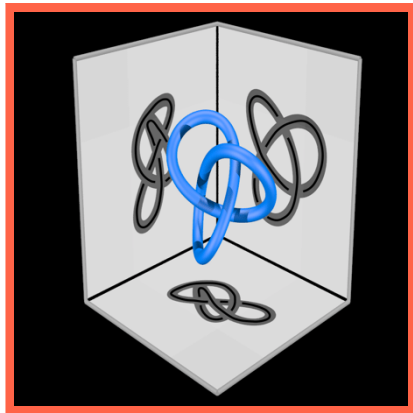
Or: Knot detector

Accept ~~Change~~ what you cannot ~~change~~ accept



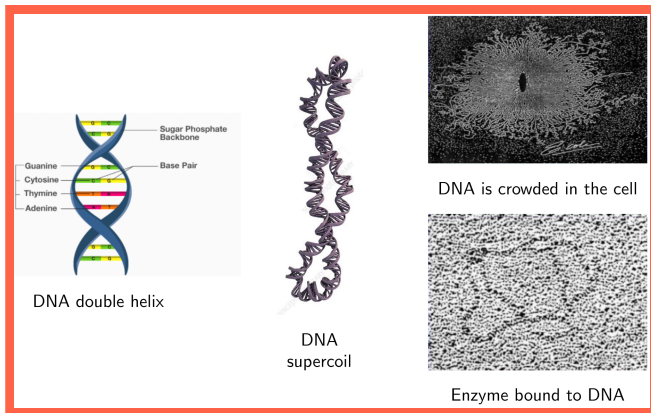
I report on work of Dranowski–Kabkov–Melamud (via Yulia's dream)

## Motivation: detect knots via images



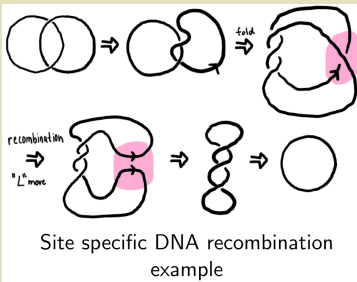
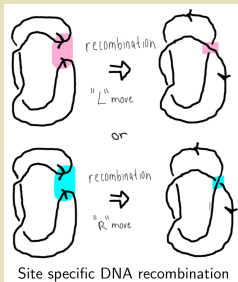
- ▶ **Knot** = closed string (a circle  $S^1$ ) in three spaces; link = multiple components
- ▶ Knots are studied by projections to the plane **Shadows**
- ▶ **In math** knot theory started in the early 20th century

# Motivation: detect knots via images

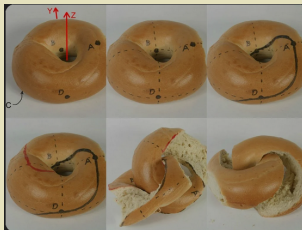


- Outside math knot theory started  $\sim 1980$
- Theorem Long strings in small boxes get knotted
- Example DNA is a long string in a tiny box (cell)  $\Rightarrow$  its often knotted

## Enzymes cut DNA knots



DNA knots need to be undone (the body uses the moves above) before the DNA can multiply; here is why (the two parts get knotted):

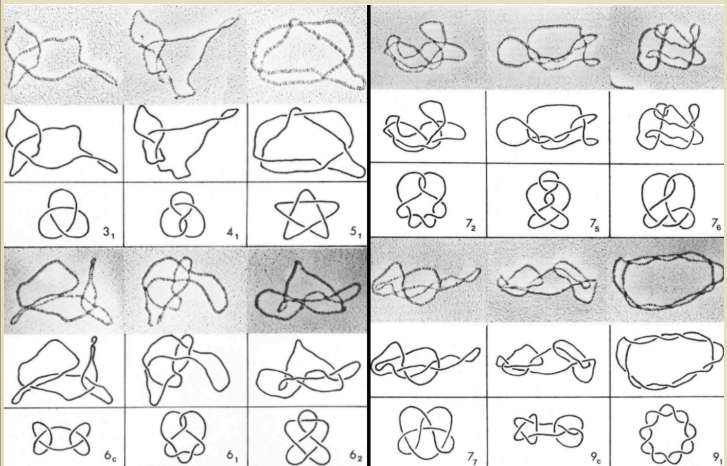


► Ou

► Th

► Ex

It is crucial to identify the DNA knot



**Figure:** Duplex DNA knots produced by *Escherichia coli* Topoisomerase, via *Journal of Biological Chemistry* 1985

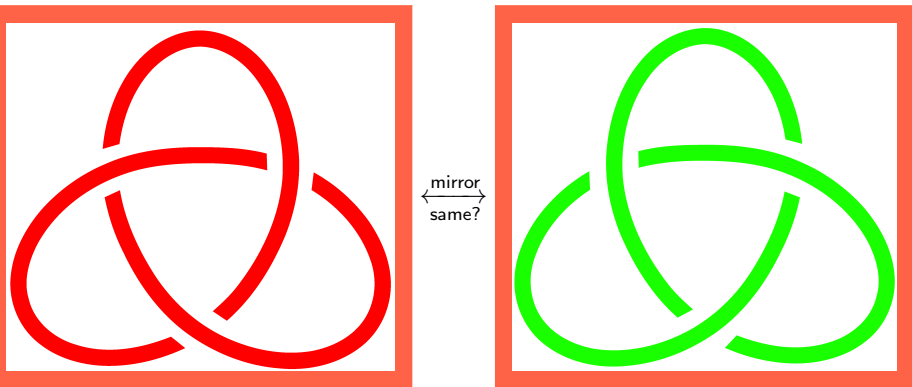
For example, difficult DNA knots prevent DNA from reproducing and you want that for things like viruses, or cancer cells

► Ou

► Th

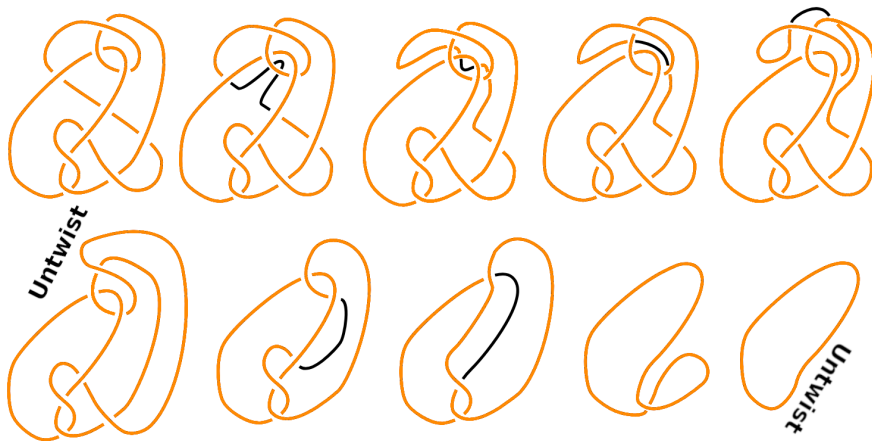
► Ex

## Motivation: detect knots via images



- ▶ **Problem** Deciding whether two knot projections are the same knot is difficult
- ▶ **Task** Find an invariant. Sounds easy? Well, most knot invariants are pretty bad...so: find a 'good' knot invariant
- ▶ **Example** There was no knot invariant before 1980 that can distinguish the above knots

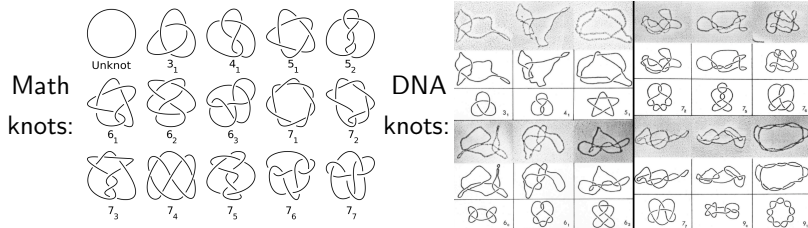
Even the unknotting problem is tricky



In general, the “standard invariants from algebraic topology”  
(homology and friends)  
are really not good for knots

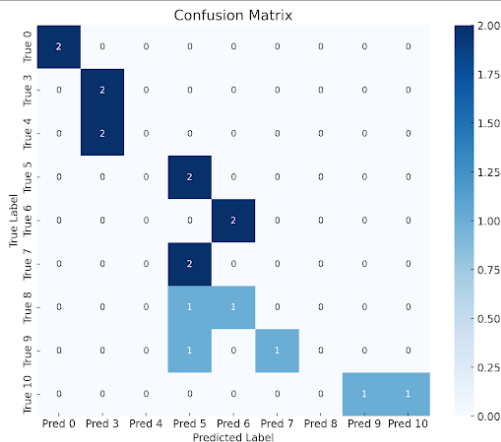
above knots

# Motivation: detect knots via images



- ▶ Knots are hard for humans/machines to recognize visually
- ▶ Developing an automated method to extract data from knot images has impact beyond mathematics (DNA, protein folding, polymer science, ...)
- ▶ **Goal** Develop a CNN model for knot recognition
- ▶ Aims, explained together with why this is feasible as we go:
  - ▶ Identify the number of crossings. **(Done!)**
  - ▶ Produce planar diagram (PD) presentations for computation of invariants, e.g., Jones polynomial. **(On it!)**

## Motivation: detect knots via images



**Figure:** Confusion matrix of o4-mini results. Average accuracy is 50%

- ▶ ChatGPT did poorly
- ▶ Although the test set was small, there was no way to even count the number of crossings with ChatGPT

# Motivation: detect knots via images

Reminder: A **confusion matrix** is a generalization of:

		Predicted condition	
		Positive (PP)	Negative (PN)
Actual condition	Positive (P)	True positive (TP)	False negative (FN)
	Negative (N)	False positive (FP)	True negative (TN)

		Predicted condition	
		Cancer	Non-cancer
Actual condition	Cancer	6	2
	Non-cancer	1	3

Figure:

is 50%

► ChatGPT d

► Although t

The more diagonal this matrix is the better

no way to even count the number of crossings with ChatGPT

## Preparation: neural networks (NN) and friends

---

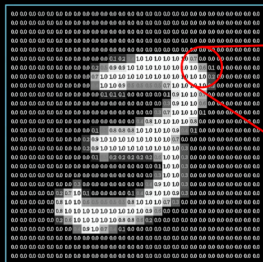


- Task: Identify handwritten digits
- We can see this as a function in the following way:
  - (a) Convert the pictures into grayscale values, e.g.  $28 \times 28$  grid of numbers
  - (b) Flatten this into a vector, e.g.  $28 \times 28 \mapsto$  a vector with  $28^2 = 784$  entries
  - (c) The output is a vector with 10 entries
  - (d) We thus have a function  $\mathbb{R}^{784} \rightarrow \mathbb{R}^{10}$

# Preparation: neural networks (NN) and friends

Input example

Output example



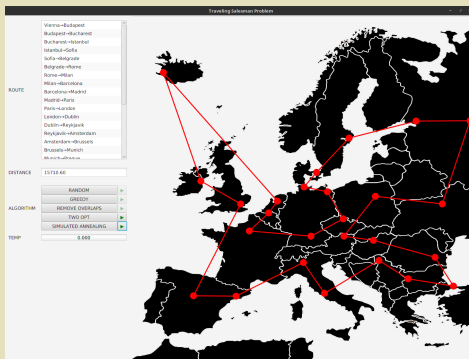
0.1	0
0.0	1
0.0	2
0.6	3
0.0	4
0.0	5
0.1	6
0.0	7
0.0	8
0.2	9

⇒ with 60% certainty  
this is a 3

- Task (rephrased): We have a function  $\mathbb{R}^{784} \rightarrow \mathbb{R}^{10}$ . How can we describe it?
- A NN is way to approximate an unknown function
- The specifics of how this works vary: there are many models and architectures

# Preparation: neural networks (NN) and friends

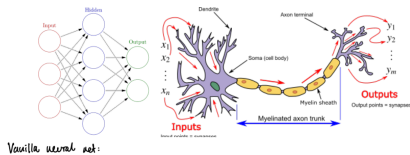
Key: Approximations to hard problems



NN are really good in finding approximate answers for difficult problems such as traveling salesperson (TSP)

- Task (rep)
- A NN is way to approximate an unknown function
- The specifics of how this works vary: there are many models and architectures

# Preparation: neural networks (NN) and friends



Vanilla neural net:

$$\phi: \mathbb{R}^{n_1} \xrightarrow{\phi_1} \mathbb{R}^{n_2} \xrightarrow{\phi_2} \mathbb{R}^{n_3} \xrightarrow{\phi_3} \mathbb{R}^{n_4} \xrightarrow{\phi_4} \mathbb{R}^{n_5} \xrightarrow{\phi_5} \mathbb{R}^{n_6}$$

Each "layer" is:  $\mathbb{R}^{n_i} \xrightarrow[\text{(or other linear)}]{\text{linear}} \mathbb{R}^{n_{i+1}} \xrightarrow[\text{w a x (0,-)}]{\text{coordinatewise}} \mathbb{R}^{n_{i+1}}$

ReLU

A typical model architecture consists of a composition of functions, say  $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_N$ . This composition is applied to the input data, and the result is processed to optimize the model parameters **called weights**

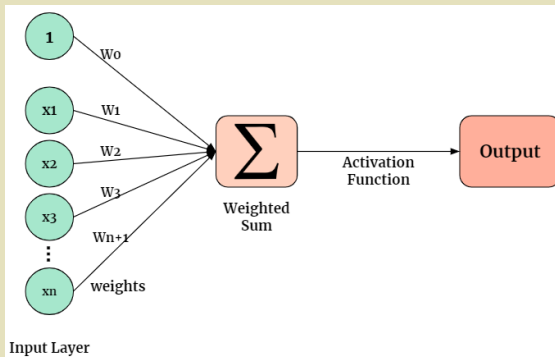
$$\phi_N \circ \phi_{N-1} \circ \dots \circ \phi_1(\text{input}) = \text{output}$$

$$\phi(\mathbf{x}; \boldsymbol{\theta}) = \phi_N \circ \phi_{N-1} \circ \dots \circ \phi_1(\mathbf{x}),$$

where  $\mathbf{x}$  is the input and  $\boldsymbol{\theta}$  is the vector of all weights

# Preparation: neural networks (NN) and friends

## Vanilla NN (multilayer perceptron)



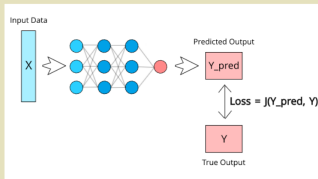
When you read about NN, people almost always mean vanilla NN  
Modern research usually uses beefed-up architectures  
We see one, a convolutional NN (CNN) on the next slide

where  $x$  is the input and  $\theta$  is the vector of all weights

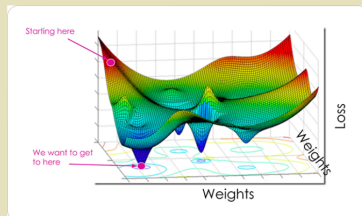
# Preparation: neural networks (NN) and friends

Loss

The difference between real values and predictions



Task Minimize loss function



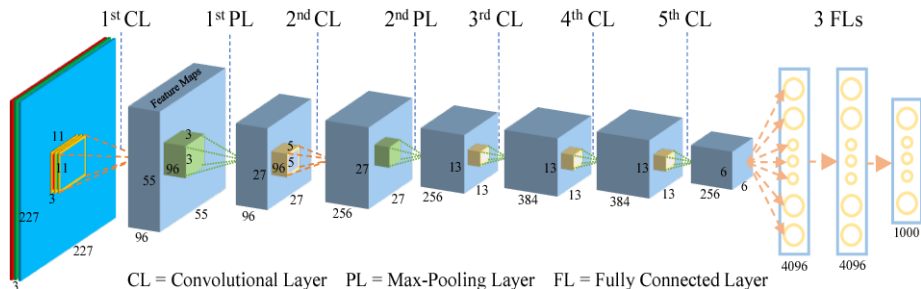
Loss function  $L$  measures the discrepancy between predictions and ground truth:

$$L = L(\text{predictions}, \text{truths}) = L(\phi(\text{input}), \text{truths}) = \text{discrepancy}$$

$$\min_{\theta \in \text{dom } L} L \Rightarrow \theta^{(l+1)} = \theta^{(l)} - \eta \nabla L(\theta^{(l)}), \quad (1)$$

where the superscript  $(l)$  denotes the  $l$ -th iteration,  $\eta$  is the **learning rate**, and  $\nabla L$  is the **gradient** of the loss function with respect to the weights

# Preparation: neural networks (NN) and friends








- ▶ **Task** Classify images by detecting local patterns
- ▶ **Key idea** Convolutions detect features (edges, textures)
- ▶ **CNN structure:**
  - (a) Convolutional layers: Extract features
  - (b) Pooling layers: Downsample the image **Ignore for today**
  - (c) Fully connected layers: Classify the image **Ignore for today**

## Preparation: neural networks (NN) and friends

---

Let us open <https://poloclub.github.io/cnn-explainer/>

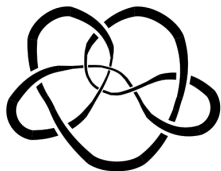
# Idea (kernel, filter, etc.)

Operation	Kernel $w$	Image result $g(x,y)$
Identity	$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	
Ridge or edge detection	$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$	
	$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$	
Sharpen	$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$	
Box blur (normalized)	$\frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	

In image processing, a kernel, convolution matrix, or mask is a small matrix used for blurring, sharpening, embossing, edge detection, and more. This is accomplished by doing a convolution between the kernel and an image.

## Preparation: neural networks (NN) and friends

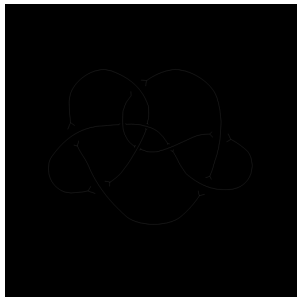
---



(a) Original knot



(b) Skeletonized



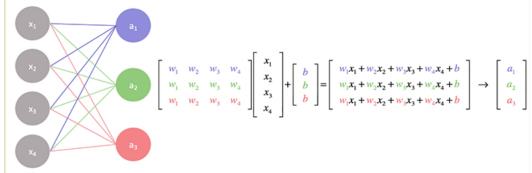
(c) Inverted

**Figure:** Steps of image preprocessing

- ▶ Our data source were many knot images as in (a)
- ▶ We ran a skeletonization on it

# Results

Boils down to a bunch of matrix multiplications



followed by the nonlinear activation e.g. ReLU

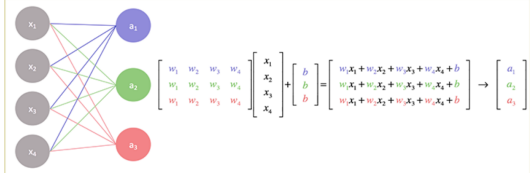
The easiest architecture is linear layer + nonlinear activation function e.g. ELU.

$$FC(\mathbf{x}) = ELU(\mathbf{W}\mathbf{x} + \mathbf{b})$$

$$Vanilla = FC^k, k \in \mathbb{N}$$

# Results

Boils down to a bunch of matrix multiplications



followed by the nonlinear activation e.g. ReLU

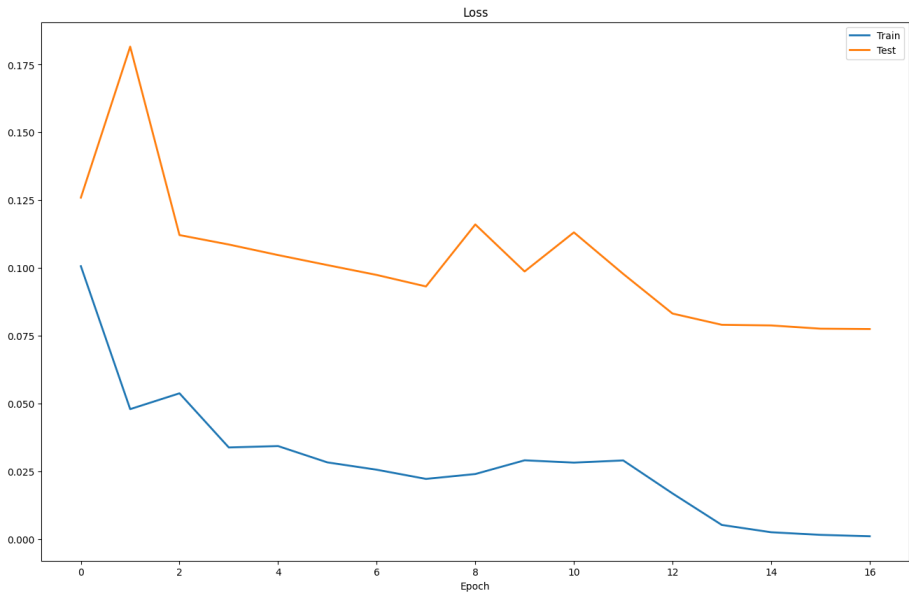
The easiest architecture is linear layer + nonlinear activation function e.g. ELU.

$$FC(\mathbf{x}) = ELU(\mathbf{W}\mathbf{x} + \mathbf{b})$$

$$Vanilla = FC^k, k \in \mathbb{N}$$

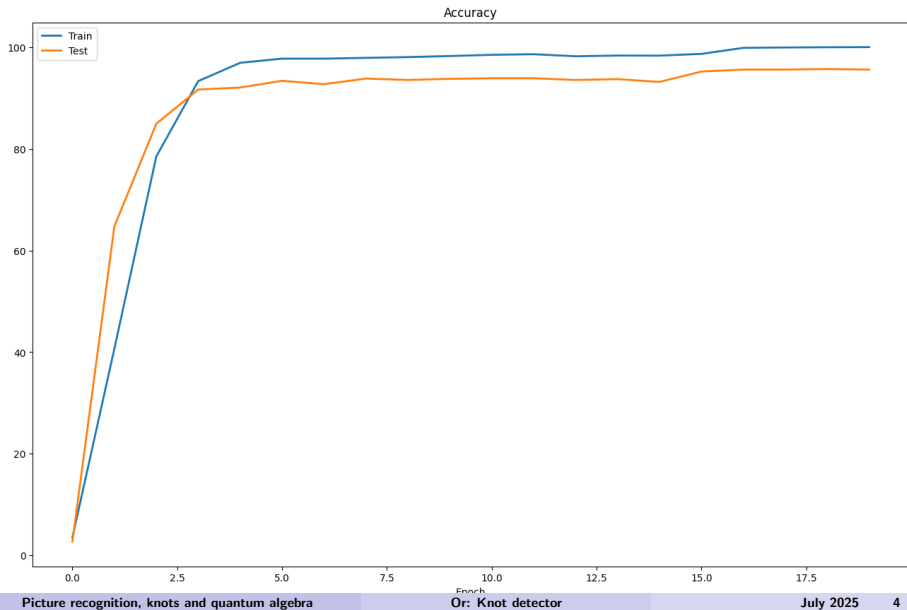
# Results

## Vanilla, loss



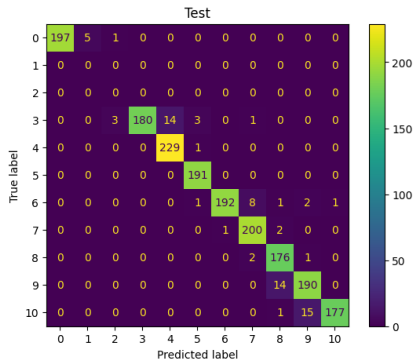
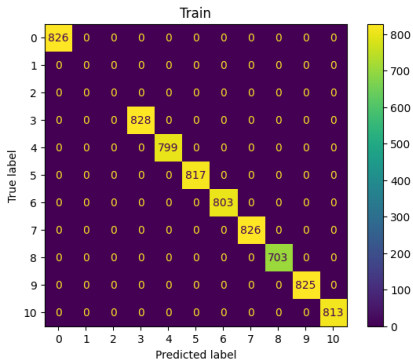
# Results

## Vanilla, accuracy



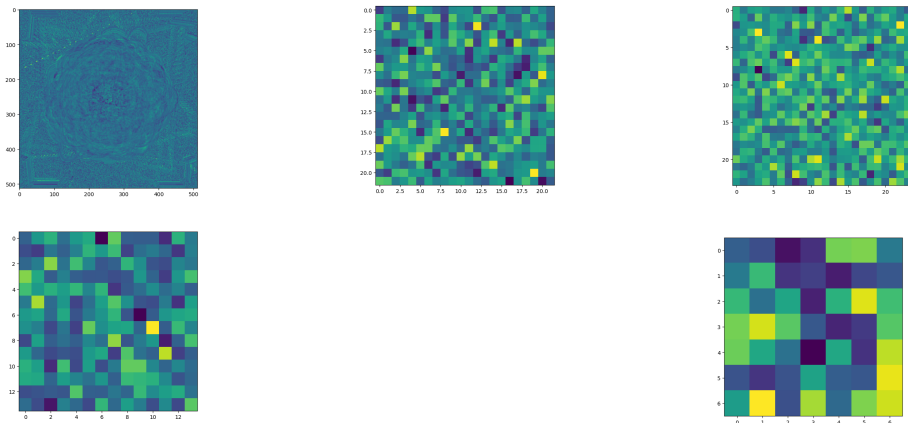
# Results

## Vanilla, confusion matrices



# Results

## Vanilla, weights

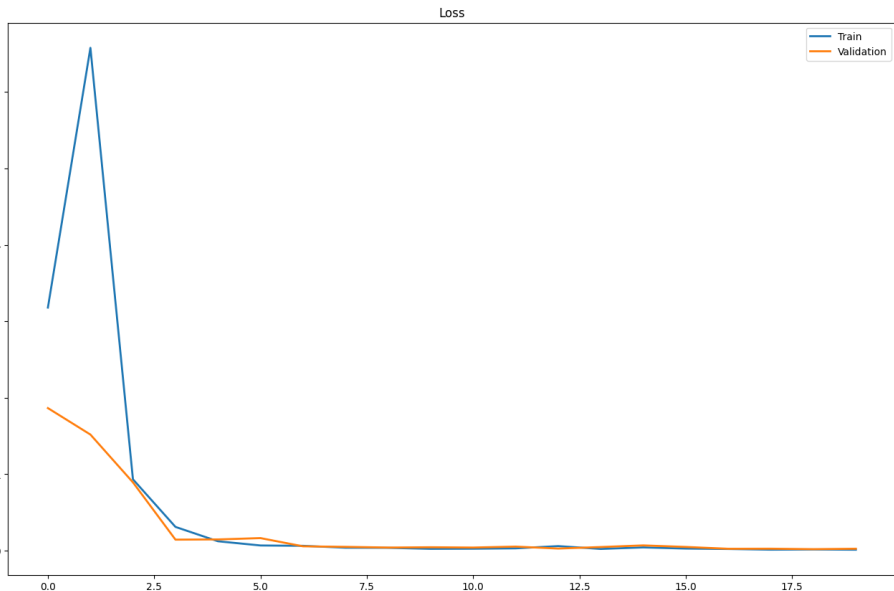


**Figure:** Weights of different Vanilla's layers – pretty random!

Problem: This is random, doesn't seem generalizable

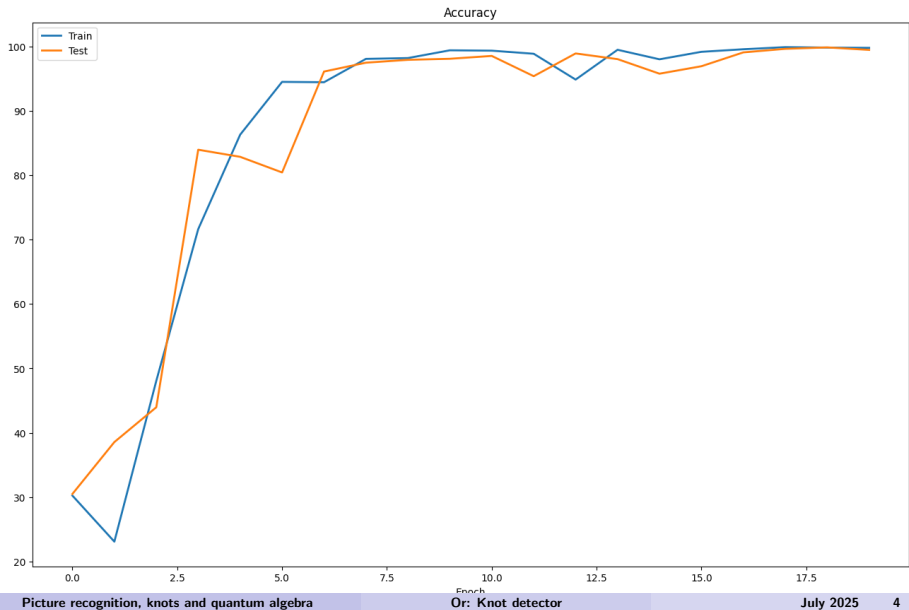
# Results

## CNN, loss



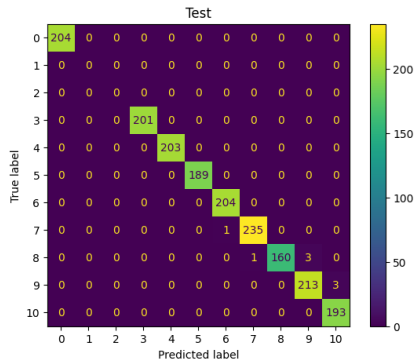
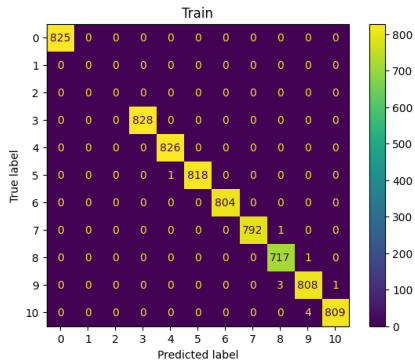
# Results

## CNN, accuracy



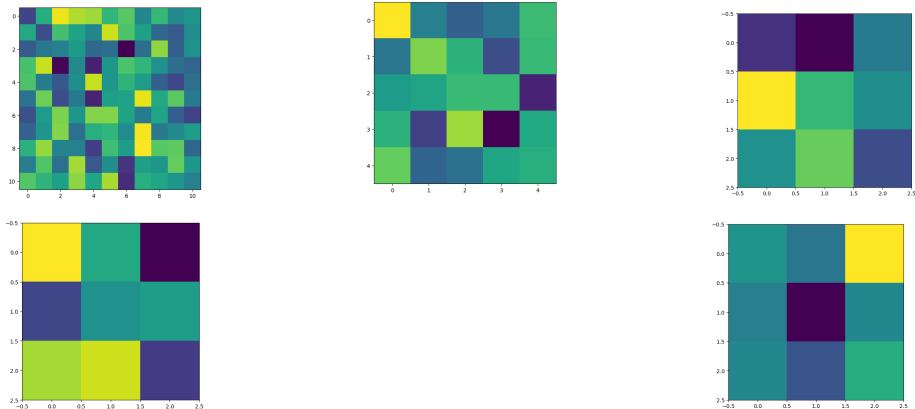
# Results

## CNN, confusion matrices



# Results

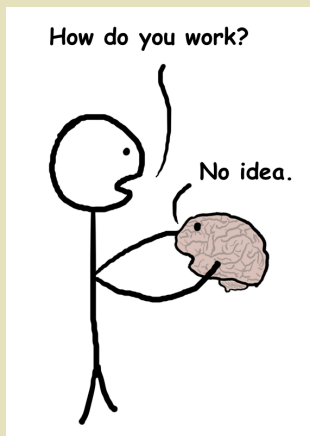
## CNN, weights



**Figure:** Weights of different CNN's layers

Turns out this is not random: we feed in a knot next!

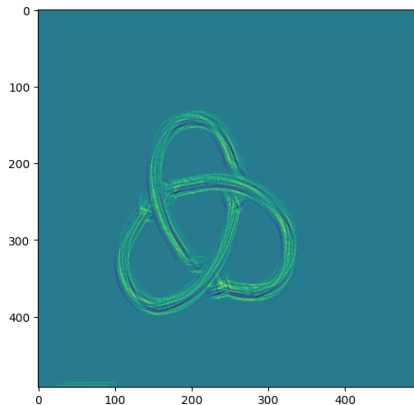
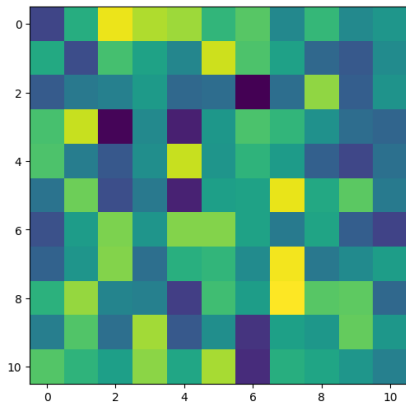
Is a NN a black box? Well...yes and no!



The vanilla NN learns the pixel distribution – and that is why it looks random!  
Most vanilla NN do something similar – and that is why people call them black boxes  
For more sophisticated architectures it is often possible to understand what is going on!  
We see that next for the CNN – it learns what crossings are!

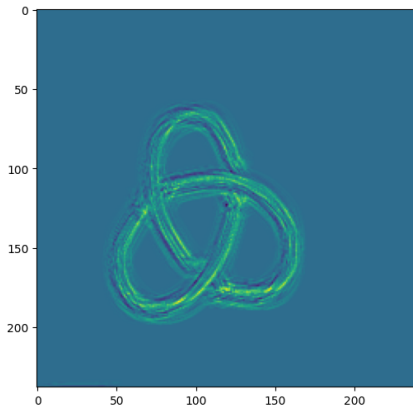
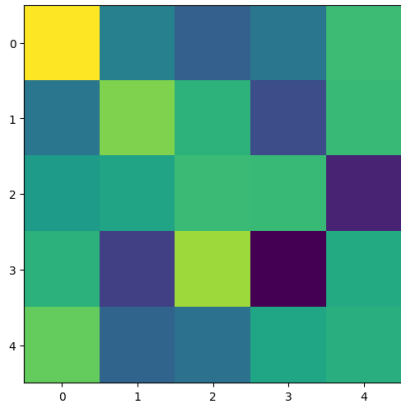
# Results

What does the CNN actually do?



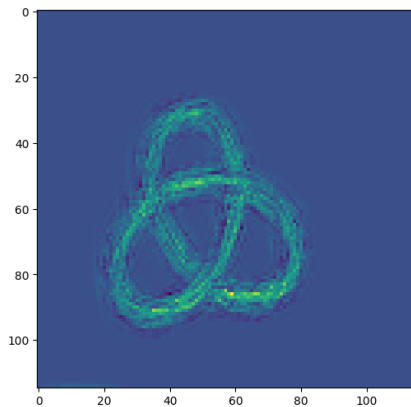
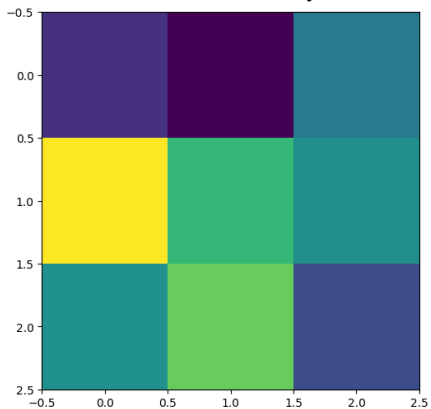
# Results

What does the CNN actually do?



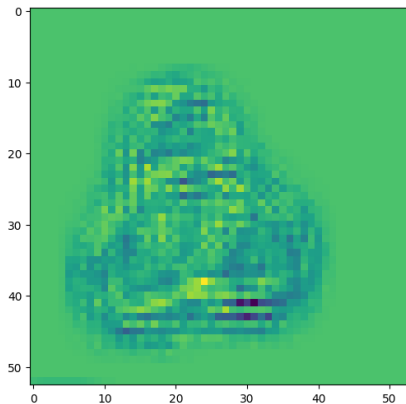
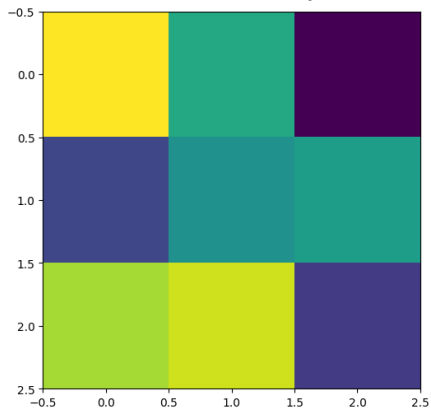
# Results

What does the CNN actually do?



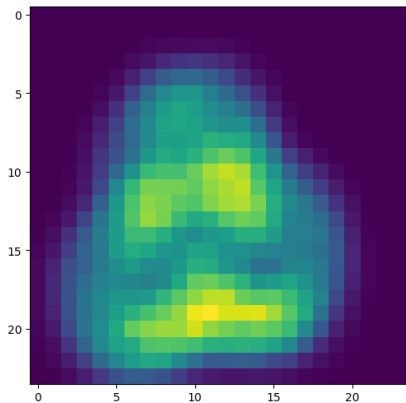
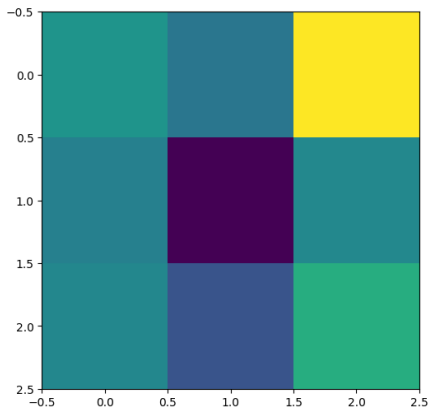
# Results

What does the CNN actually do?



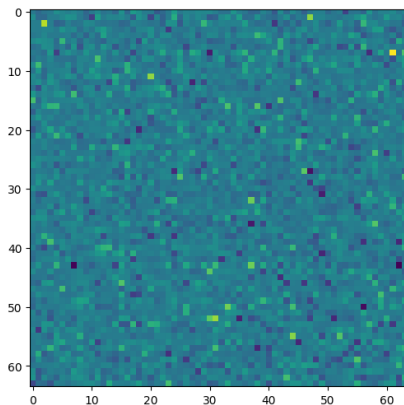
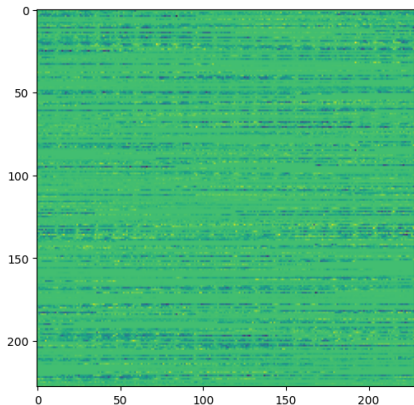
# Results

What does the CNN actually do?



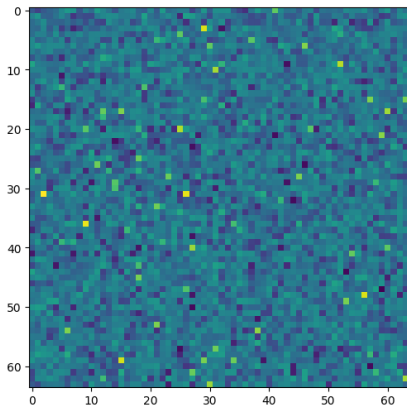
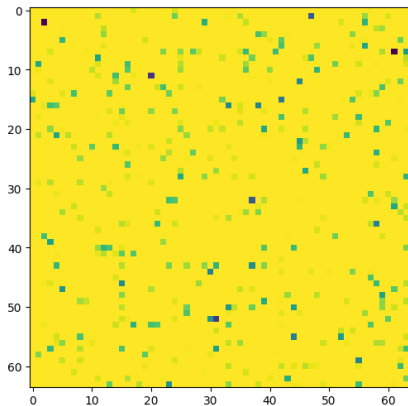
# Results

What does the CNN actually do?



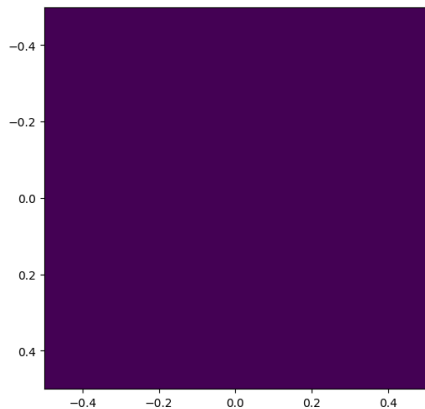
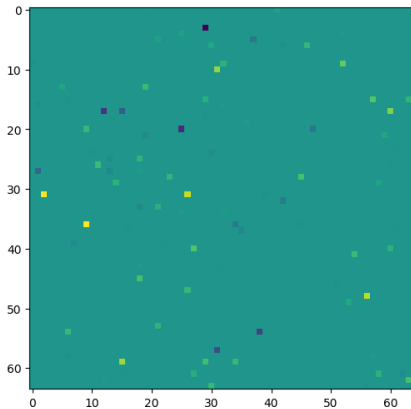
# Results

What does the CNN actually do?



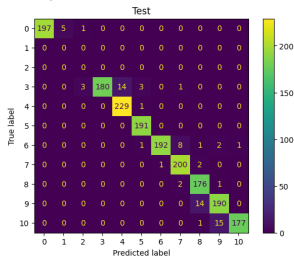
# Results

What does the CNN actually do?

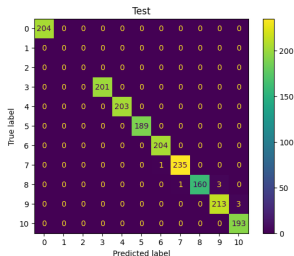


# Results

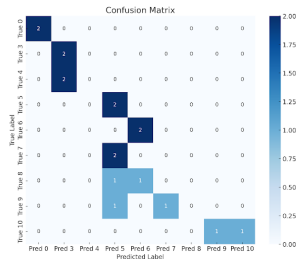
## Comparison



(a) Vanilla, acc.  $\approx 95.74\%$



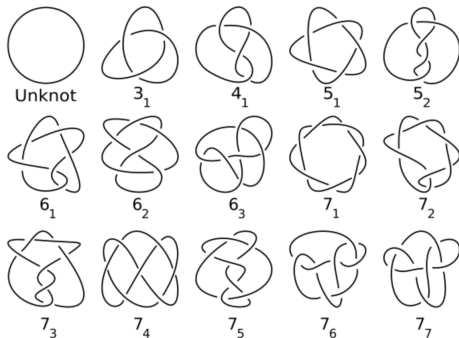
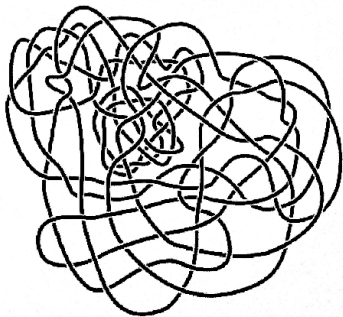
(b) CNN, acc.  $\approx 99.50\%$



(c) GPT, acc.  $\approx 50.00\%$

**Figure:** Confusion matrices on test dataset

## Next steps? Identify knots using the quantum invariants

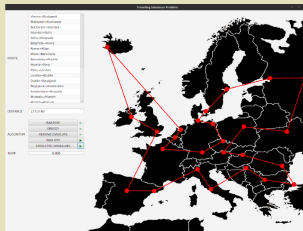


- Above, left A nasty picture of the unknot
- Above, right The first few knots (easy diagrams)
- Knot detection is **not** (expected to be) an easy problem: there are too many nasty diagrams – this is where NN come into the game

## Recall

## Preparation: neural networks (NN) and friends

Key: Approximations to hard problems



## Example

60% certainty  
his is a 3

NN are really good in finding approximate answers for difficult problems such as traveling salesperson (TSP)

- Task (re) NN are really good in finding approximate answers for difficult problems such as traveling salesperson (TSP) e describe it?
- A NN is way to approximate an unknown function
- The specifics of how this works vary: there are many models and architectures

NN are really good in approximating answers

And I will tell you know that one can solve the problem approximately  
(This is work in progress: take it with a pinch of salt)

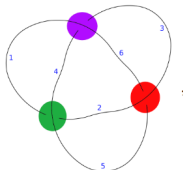
nasty diagrams – this is where NN come into the game



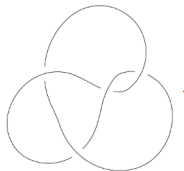
## Next steps? Identify knots using the quantum invariants

---

$$PD[X[1, 5, 2, 4], X[3, 1, 4, 6], X[5, 3, 6, 2]] \rightsquigarrow$$



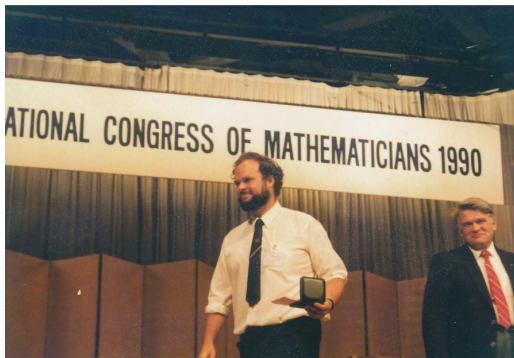
$$PD[X[4, 2, 5, 1], X[8, 6, 1, 5], X[6, 3, 7, 4], X[2, 7, 3, 8]] \rightsquigarrow$$



- ▶ Above A PD presentation (an algebraic way to encode knot diagrams)
- ▶ Using the same architecture as before, we can read this in from an image
- ▶ This is Step 1

## Next steps? Identify knots using the quantum invariants

---

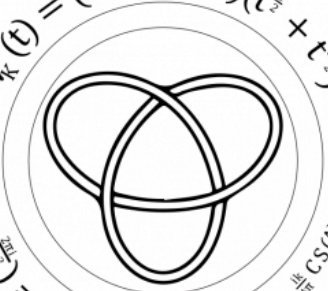


- ▶ Above Jones receives the fields medal (also for the Jones polynomial)
- ▶ From the PD presentation one can compute the Jones polynomial or friends (we have a program that can do this fast for 100 crossing knots)
- ▶ This is Step 2

## Next steps? Identify knots using the quantum invariants

For this talk: Jones polynomial

= a number thing that you can compute from a knot diagram

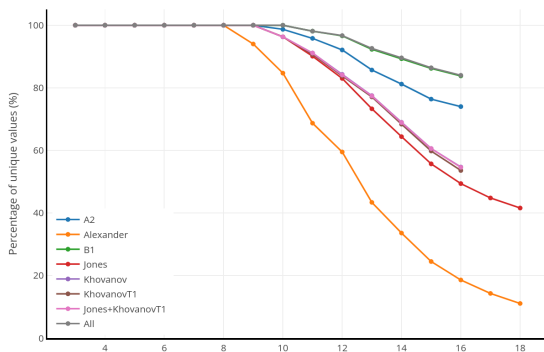

$$V_k(t) = (t + t^{-1} - t^4)(t^{\frac{1}{2}} + t^{-\frac{1}{2}})$$
$$V_k(e^{\frac{2\pi i}{k+2}}) = \frac{1}{2} \int (Tr P \exp \oint_K A) e^{\frac{ik}{4\pi} CS(A)} D$$

► Above

► From  
(we ha

► This is Step 2

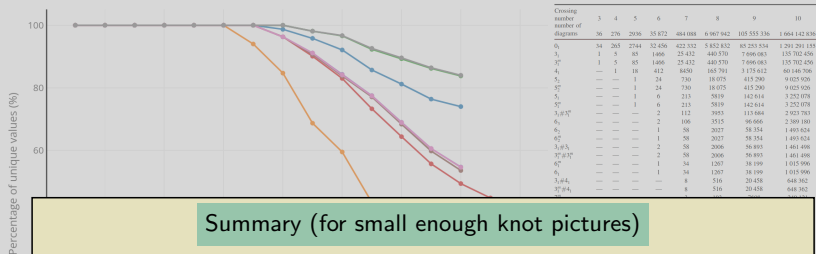
# Next steps? Identify knots using the quantum invariants



Crossing number of diagrams	3	4	5	6	7	8	9	10
0 <sub>1</sub>	34	265	2744	32 456	422 532	5 852 832	85 283 534	1 291 291 135
3 <sub>1</sub>	1	5	85	1406	25 432	440 570	7 696 083	135 702 456
3 <sub>1</sub> <sup>*</sup>	1	5	85	1406	25 432	440 570	7 696 083	135 702 456
4 <sub>1</sub>	—	1	18	412	8450	165 791	3 175 612	60 146 706
5 <sub>1</sub>	—	—	1	24	730	18 075	415 290	9 025 926
5 <sub>1</sub> <sup>*</sup>	—	—	1	24	730	18 075	415 290	9 025 926
5 <sub>2</sub>	—	—	1	6	213	5819	142 614	3 252 078
5 <sub>2</sub> <sup>*</sup>	—	—	1	6	213	5819	142 614	3 252 078
3 <sub>1</sub> #3 <sub>1</sub> <sup>*</sup>	—	—	—	2	112	3985	113 684	2 923 783
6 <sub>1</sub>	—	—	—	2	108	3515	96 666	2 389 190
6 <sub>2</sub>	—	—	—	1	58	2027	58 354	1 493 624
6 <sub>2</sub> <sup>*</sup>	—	—	—	1	58	2027	58 354	1 493 624
3 <sub>1</sub> #3 <sub>1</sub>	—	—	—	2	58	2006	56 893	1 481 498
3 <sub>1</sub> #3 <sub>1</sub> <sup>*</sup>	—	—	—	2	58	2006	56 893	1 481 498
6 <sub>3</sub>	—	—	—	1	34	1267	38 199	1 015 906
6 <sub>3</sub> <sup>*</sup>	—	—	—	1	34	1267	38 199	1 015 906
3 <sub>1</sub> #4 <sub>1</sub>	—	—	—	—	8	516	20 458	648 362
7 <sub>1</sub>	—	—	—	—	8	516	20 458	648 362
7 <sub>2</sub>	—	—	—	—	3	193	7608	240 121
7 <sub>2</sub> <sup>*</sup>	—	—	—	—	3	193	7608	240 121
7 <sub>3</sub>	—	—	—	—	2	124	4709	144 455
7 <sub>3</sub> <sup>*</sup>	—	—	—	—	2	124	4709	144 455
7 <sub>4</sub>	—	—	—	—	2	102	4244	138 467
7 <sub>4</sub> <sup>*</sup>	—	—	—	—	2	102	4244	138 467
7 <sub>5</sub>	—	—	—	—	1	44	2103	74 739
7 <sub>5</sub> <sup>*</sup>	—	—	—	—	1	44	2103	74 739
7 <sub>6</sub>	—	—	—	—	1	39	1793	62 059
7 <sub>6</sub> <sup>*</sup>	—	—	—	—	1	39	1793	62 059
4 <sub>1</sub> #4 <sub>1</sub>	—	—	—	—	—	20	1176	51 526
7 <sub>7</sub>	—	—	—	—	—	1516	49 731	151 702
7 <sub>7</sub> <sup>*</sup>	—	—	—	—	—	1	36	1516
8 <sub>1</sub>	—	—	—	—	—	14	985	41 843
8 <sub>2</sub>	—	—	—	—	—	14	985	41 843
3 <sub>1</sub> #5 <sub>1</sub>	—	—	—	—	—	10	784	36 548
3 <sub>1</sub> #5 <sub>2</sub>	—	—	—	—	—	10	784	36 548
3 <sub>1</sub> #5 <sub>2</sub> <sup>*</sup>	—	—	—	—	—	10	784	36 548

- **“Problem”** The Jones polynomial is not a very good invariant
- **Solution** This doesn’t matter as the distribution of knot diagrams is biased towards “easy knots” – and the polynomial is good on these!
- This is **Step 3**

# Next steps? Identify knots using the quantum invariants

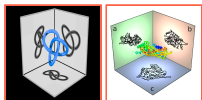


## Summary (for small enough knot pictures)

- Step 1** Take a picture with your phone, a CNN gives the PD presentation
- Step 2** An algorithm computes the Jones polynomial
- Step 3** This determines the knot with probability 1

- **“Problem”** The Jones polynomial is not a very good invariant
- **Solution** This doesn’t matter as the distribution of knot diagrams is biased towards “easy knots” – and the polynomial is good on these!
- This is **Step 3**

Motivation: detect knots via images



- **Knot** = closed string (a circle  $S^1$ ) in three spaces; link = multiple components
- Knots are studied by projections to the plane **Shadow**
- **In math** knot theory started in the early 20th century

Picture recognition, knots and quantum algebra (Dr. Rocco Dettori) July 2025 - 7 / 8

Preparation: neural networks (NN) and friends

**Key: Approximations to hard problems**

sample

1975, century in 10: 10

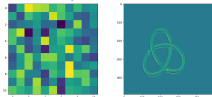
► Task (in NN) is to find approximate answers for difficult problems such as traveling salesman (TSP)

► A NN is way to **approximate an unknown function**

► The specifics of how this works vary: there are many models and architectures

Results

What does the CNN actually do?



Picture recognition, knots and quantum algebra (Dr. Rocco Dettori) July 2025 - 7 / 8

Motivation

**It is crucial to identify the DNA knot**

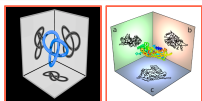
**Figure:** Duplex DNA knots produced by Escherichia coli Topoisomerase via Journal of Biological Chemistry 1985

For example, difficult DNA knots prevent DNA from reproducing and may cause that for things like viruses, or cancer cells

Preparation: neural networks (NN) and friends

1<sup>st</sup> CL, 1<sup>st</sup> PL, 2<sup>nd</sup> CL, 2<sup>nd</sup> PL, 3<sup>rd</sup> CL, 4<sup>th</sup> CL, 5<sup>th</sup> CL, 6<sup>th</sup> CL, 7<sup>th</sup> CL, 8<sup>th</sup> CL, 9<sup>th</sup> CL, 10<sup>th</sup> CL, 11<sup>th</sup> CL, 12<sup>th</sup> CL, 13<sup>th</sup> CL, 14<sup>th</sup> CL, 15<sup>th</sup> CL, 16<sup>th</sup> CL, 17<sup>th</sup> CL, 18<sup>th</sup> CL, 19<sup>th</sup> CL, 20<sup>th</sup> CL, 21<sup>st</sup> CL, 22<sup>nd</sup> CL, 23<sup>rd</sup> CL, 24<sup>th</sup> CL, 25<sup>th</sup> CL, 26<sup>th</sup> CL, 27<sup>th</sup> CL, 28<sup>th</sup> CL, 29<sup>th</sup> CL, 30<sup>th</sup> CL, 31<sup>st</sup> CL, 32<sup>nd</sup> CL, 33<sup>rd</sup> CL, 34<sup>th</sup> CL, 35<sup>th</sup> CL, 36<sup>th</sup> CL, 37<sup>th</sup> CL, 38<sup>th</sup> CL, 39<sup>th</sup> CL, 40<sup>th</sup> CL, 41<sup>st</sup> CL, 42<sup>nd</sup> CL, 43<sup>rd</sup> CL, 44<sup>th</sup> CL, 45<sup>th</sup> CL, 46<sup>th</sup> CL, 47<sup>th</sup> CL, 48<sup>th</sup> CL, 49<sup>th</sup> CL, 50<sup>th</sup> CL, 51<sup>st</sup> CL, 52<sup>nd</sup> CL, 53<sup>rd</sup> CL, 54<sup>th</sup> CL, 55<sup>th</sup> CL, 56<sup>th</sup> CL, 57<sup>th</sup> CL, 58<sup>th</sup> CL, 59<sup>th</sup> CL, 60<sup>th</sup> CL, 61<sup>st</sup> CL, 62<sup>nd</sup> CL, 63<sup>rd</sup> CL, 64<sup>th</sup> CL, 65<sup>th</sup> CL, 66<sup>th</sup> CL, 67<sup>th</sup> CL, 68<sup>th</sup> CL, 69<sup>th</sup> CL, 70<sup>th</sup> CL, 71<sup>st</sup> CL, 72<sup>nd</sup> CL, 73<sup>rd</sup> CL, 74<sup>th</sup> CL, 75<sup>th</sup> CL, 76<sup>th</sup> CL, 77<sup>th</sup> CL, 78<sup>th</sup> CL, 79<sup>th</sup> CL, 80<sup>th</sup> CL, 81<sup>st</sup> CL, 82<sup>nd</sup> CL, 83<sup>rd</sup> CL, 84<sup>th</sup> CL, 85<sup>th</sup> CL, 86<sup>th</sup> CL, 87<sup>th</sup> CL, 88<sup>th</sup> CL, 89<sup>th</sup> CL, 90<sup>th</sup> CL, 91<sup>st</sup> CL, 92<sup>nd</sup> CL, 93<sup>rd</sup> CL, 94<sup>th</sup> CL, 95<sup>th</sup> CL, 96<sup>th</sup> CL, 97<sup>th</sup> CL, 98<sup>th</sup> CL, 99<sup>th</sup> CL, 100<sup>th</sup> CL, 101<sup>st</sup> CL, 102<sup>nd</sup> CL, 103<sup>rd</sup> CL, 104<sup>th</sup> CL, 105<sup>th</sup> CL, 106<sup>th</sup> CL, 107<sup>th</sup> CL, 108<sup>th</sup> CL, 109<sup>th</sup> CL, 110<sup>th</sup> CL, 111<sup>st</sup> CL, 112<sup>nd</sup> CL, 113<sup>rd</sup> CL, 114<sup>th</sup> CL, 115<sup>th</sup> CL, 116<sup>th</sup> CL, 117<sup>th</sup> CL, 118<sup>th</sup> CL, 119<sup>th</sup> CL, 120<sup>th</sup> CL, 121<sup>st</sup> CL, 122<sup>nd</sup> CL, 123<sup>rd</sup> CL, 124<sup>th</sup> CL, 125<sup>th</sup> CL, 126<sup>th</sup> CL, 127<sup>th</sup> CL, 128<sup>th</sup> CL, 129<sup>th</sup> CL, 130<sup>th</sup> CL, 131<sup>st</sup> CL, 132<sup>nd</sup> CL, 133<sup>rd</sup> CL, 134<sup>th</sup> CL, 135<sup>th</sup> CL, 136<sup>th</sup> CL, 137<sup>th</sup> CL, 138<sup>th</sup> CL, 139<sup>th</sup> CL, 140<sup>th</sup> CL, 141<sup>st</sup> CL, 142<sup>nd</sup> CL, 143<sup>rd</sup> CL, 144<sup>th</sup> CL, 145<sup>th</sup> CL, 146<sup>th</sup> CL, 147<sup>th</sup> CL, 148<sup>th</sup> CL, 149<sup>th</sup> CL, 150<sup>th</sup> CL, 151<sup>st</sup> CL, 152<sup>nd</sup> CL, 153<sup>rd</sup> CL, 154<sup>th</sup> CL, 155<sup>th</sup> CL, 156<sup>th</sup> CL, 157<sup>th</sup> CL, 158<sup>th</sup> CL, 159<sup>th</sup> CL, 160<sup>th</sup> CL, 161<sup>st</sup> CL, 162<sup>nd</sup> CL, 163<sup>rd</sup> CL, 164<sup>th</sup> CL, 165<sup>th</sup> CL, 166<sup>th</sup> CL, 167<sup>th</sup> CL, 168<sup>th</sup> CL, 169<sup>th</sup> CL, 170<sup>th</sup> CL, 171<sup>st</sup> CL, 172<sup>nd</sup> CL, 173<sup>rd</sup> CL, 174<sup>th</sup> CL, 175<sup>th</sup> CL, 176<sup>th</sup> CL, 177<sup>th</sup> CL, 178<sup>th</sup> CL, 179<sup>th</sup> CL, 180<sup>th</sup> CL, 181<sup>st</sup> CL, 182<sup>nd</sup> CL, 183<sup>rd</sup> CL, 184<sup>th</sup> CL, 185<sup>th</sup> CL, 186<sup>th</sup> CL, 187<sup>th</sup> CL, 188<sup>th</sup> CL, 189<sup>th</sup> CL, 190<sup>th</sup> CL, 191<sup>st</sup> CL, 192<sup>nd</sup> CL, 193<sup>rd</sup> CL, 194<sup>th</sup> CL, 195<sup>th</sup> CL, 196<sup>th</sup> CL, 197<sup>th</sup> CL, 198<sup>th</sup> CL, 199<sup>th</sup> CL, 200<sup>th</sup> CL, 201<sup>st</sup> CL, 202<sup>nd</sup> CL, 203<sup>rd</sup> CL, 204<sup>th</sup> CL, 205<sup>th</sup> CL, 206<sup>th</sup> CL, 207<sup>th</sup> CL, 208<sup>th</sup> CL, 209<sup>th</sup> CL, 210<sup>th</sup> CL, 211<sup>st</sup> CL, 212<sup>nd</sup> CL, 213<sup>rd</sup> CL, 214<sup>th</sup> CL, 215<sup>th</sup> CL, 216<sup>th</sup> CL, 217<sup>th</sup> CL, 218<sup>th</sup> CL, 219<sup>th</sup> CL, 220<sup>th</sup> CL, 221<sup>st</sup> CL, 222<sup>nd</sup> CL, 223<sup>rd</sup> CL, 224<sup>th</sup> CL, 225<sup>th</sup> CL, 226<sup>th</sup> CL, 227<sup>th</sup> CL, 228<sup>th</sup> CL, 229<sup>th</sup> CL, 230<sup>th</sup> CL, 231<sup>st</sup> CL, 232<sup>nd</sup> CL, 233<sup>rd</sup> CL, 234<sup>th</sup> CL, 235<sup>th</sup> CL, 236<sup>th</sup> CL, 237<sup>th</sup> CL, 238<sup>th</sup> CL, 239<sup>th</sup> CL, 240<sup>th</sup> CL, 241<sup>st</sup> CL, 242<sup>nd</sup> CL, 243<sup>rd</sup> CL, 244<sup>th</sup> CL, 245<sup>th</sup> CL, 246<sup>th</sup> CL, 247<sup>th</sup> CL, 248<sup>th</sup> CL, 249<sup>th</sup> CL, 250<sup>th</sup> CL, 251<sup>st</sup> CL, 252<sup>nd</sup> CL, 253<sup>rd</sup> CL, 254<sup>th</sup> CL, 255<sup>th</sup> CL, 256<sup>th</sup> CL, 257<sup>th</sup> CL, 258<sup>th</sup> CL, 259<sup>th</sup> CL, 260<sup>th</sup> CL, 261<sup>st</sup> CL, 262<sup>nd</sup> CL, 263<sup>rd</sup> CL, 264<sup>th</sup> CL, 265<sup>th</sup> CL, 266<sup>th</sup> CL, 267<sup>th</sup> CL, 268<sup>th</sup> CL, 269<sup>th</sup> CL, 270<sup>th</sup> CL, 271<sup>st</sup> CL, 272<sup>nd</sup> CL, 273<sup>rd</sup> CL, 274<sup>th</sup> CL, 275<sup>th</sup> CL, 276<sup>th</sup> CL, 277<sup>th</sup> CL, 278<sup>th</sup> CL, 279<sup>th</sup> CL, 280<sup>th</sup> CL, 281<sup>st</sup> CL, 282<sup>nd</sup> CL, 283<sup>rd</sup> CL, 284<sup>th</sup> CL, 285<sup>th</sup> CL, 286<sup>th</sup> CL, 287<sup>th</sup> CL, 288<sup>th</sup> CL, 289<sup>th</sup> CL, 290<sup>th</sup> CL, 291<sup>st</sup> CL, 292<sup>nd</sup> CL, 293<sup>rd</sup> CL, 294<sup>th</sup> CL, 295<sup>th</sup> CL, 296<sup>th</sup> CL, 297<sup>th</sup> CL, 298<sup>th</sup> CL, 299<sup>th</sup> CL, 300<sup>th</sup> CL, 301<sup>st</sup> CL, 302<sup>nd</sup> CL, 303<sup>rd</sup> CL, 304<sup>th</sup> CL, 305<sup>th</sup> CL, 306<sup>th</sup> CL, 307<sup>th</sup> CL, 308<sup>th</sup> CL, 309<sup>th</sup> CL, 310<sup>th</sup> CL, 311<sup>st</sup> CL, 312<sup>nd</sup> CL, 313<sup>rd</sup> CL, 314<sup>th</sup> CL, 315<sup>th</sup> CL, 316<sup>th</sup> CL, 317<sup>th</sup> CL, 318<sup>th</sup> CL, 319<sup>th</sup> CL, 320<sup>th</sup> CL, 321<sup>st</sup> CL, 322<sup>nd</sup> CL, 323<sup>rd</sup> CL, 324<sup>th</sup> CL, 325<sup>th</sup> CL, 326<sup>th</sup> CL, 327<sup>th</sup> CL, 328<sup>th</sup> CL, 329<sup>th</sup> CL, 330<sup>th</sup> CL, 331<sup>st</sup> CL, 332<sup>nd</sup> CL, 333<sup>rd</sup> CL, 334<sup>th</sup> CL, 335<sup>th</sup> CL, 336<sup>th</sup> CL, 337<sup>th</sup> CL, 338<sup>th</sup> CL, 339<sup>th</sup> CL, 340<sup>th</sup> CL, 341<sup>st</sup> CL, 342<sup>nd</sup> CL, 343<sup>rd</sup> CL, 344<sup>th</sup> CL, 345<sup>th</sup> CL, 346<sup>th</sup> CL, 347<sup>th</sup> CL, 348<sup>th</sup> CL, 349<sup>th</sup> CL, 350<sup>th</sup> CL, 351<sup>st</sup> CL, 352<sup>nd</sup> CL, 353<sup>rd</sup> CL, 354<sup>th</sup> CL, 355<sup>th</sup> CL, 356<sup>th</sup> CL, 357<sup>th</sup> CL, 358<sup>th</sup> CL, 359<sup>th</sup> CL, 360<sup>th</sup> CL, 361<sup>st</sup> CL, 362<sup>nd</sup> CL, 363<sup>rd</sup> CL, 364<sup>th</sup> CL, 365<sup>th</sup> CL, 366<sup>th</sup> CL, 367<sup>th</sup> CL, 368<sup>th</sup> CL, 369<sup>th</sup> CL, 370<sup>th</sup> CL, 371<sup>st</sup> CL, 372<sup>nd</sup> CL, 373<sup>rd</sup> CL, 374<sup>th</sup> CL, 375<sup>th</sup> CL, 376<sup>th</sup> CL, 377<sup>th</sup> CL, 378<sup>th</sup> CL, 379<sup>th</sup> CL, 380<sup>th</sup> CL, 381<sup>st</sup> CL, 382<sup>nd</sup> CL, 383<sup>rd</sup> CL, 384<sup>th</sup> CL, 385<sup>th</sup> CL, 386<sup>th</sup> CL, 387<sup>th</sup> CL, 388<sup>th</sup> CL, 389<sup>th</sup> CL, 390<sup>th</sup> CL, 391<sup>st</sup> CL, 392<sup>nd</sup> CL, 393<sup>rd</sup> CL, 394<sup>th</sup> CL, 395<sup>th</sup> CL, 396<sup>th</sup> CL, 397<sup>th</sup> CL, 398<sup>th</sup> CL, 399<sup>th</sup> CL, 400<sup>th</sup> CL, 401<sup>st</sup> CL, 402<sup>nd</sup> CL, 403<sup>rd</sup> CL, 404<sup>th</sup> CL, 405<sup>th</sup> CL, 406<sup>th</sup> CL, 407<sup>th</sup> CL, 408<sup>th</sup> CL, 409<sup>th</sup> CL, 410<sup>th</sup> CL, 411<sup>st</sup> CL, 412<sup>nd</sup> CL, 413<sup>rd</sup> CL, 414<sup>th</sup> CL, 415<sup>th</sup> CL, 416<sup>th</sup> CL, 417<sup>th</sup> CL, 418<sup>th</sup> CL, 419<sup>th</sup> CL, 420<sup>th</sup> CL, 421<sup>st</sup> CL, 422<sup>nd</sup> CL, 423<sup>rd</sup> CL, 424<sup>th</sup> CL, 425<sup>th</sup> CL, 426<sup>th</sup> CL, 427<sup>th</sup> CL, 428<sup>th</sup> CL, 429<sup>th</sup> CL, 430<sup>th</sup> CL, 431<sup>st</sup> CL, 432<sup>nd</sup> CL, 433<sup>rd</sup> CL, 434<sup>th</sup> CL, 435<sup>th</sup> CL, 436<sup>th</sup> CL, 437<sup>th</sup> CL, 438<sup>th</sup> CL, 439<sup>th</sup> CL, 440<sup>th</sup> CL, 441<sup>st</sup> CL, 442<sup>nd</sup> CL, 443<sup>rd</sup> CL, 444<sup>th</sup> CL, 445<sup>th</sup> CL, 446<sup>th</sup> CL, 447<sup>th</sup> CL, 448<sup>th</sup> CL, 449<sup>th</sup> CL, 450<sup>th</sup> CL, 451<sup>st</sup> CL, 452<sup>nd</sup> CL, 453<sup>rd</sup> CL, 454<sup>th</sup> CL, 455<sup>th</sup> CL, 456<sup>th</sup> CL, 457<sup>th</sup> CL, 458<sup>th</sup> CL, 459<sup>th</sup> CL, 460<sup>th</sup> CL, 461<sup>st</sup> CL, 462<sup>nd</sup> CL, 463<sup>rd</sup> CL, 464<sup>th</sup> CL, 465<sup>th</sup> CL, 466<sup>th</sup> CL, 467<sup>th</sup> CL, 468<sup>th</sup> CL, 469<sup>th</sup> CL, 470<sup>th</sup> CL, 471<sup>st</sup> CL, 472<sup>nd</sup> CL, 473<sup>rd</sup> CL, 474<sup>th</sup> CL, 475<sup>th</sup> CL, 476<sup>th</sup> CL, 477<sup>th</sup> CL, 478<sup>th</sup> CL, 479<sup>th</sup> CL, 480<sup>th</sup> CL, 481<sup>st</sup> CL, 482<sup>nd</sup> CL, 483<sup>rd</sup> CL, 484<sup>th</sup> CL, 485<sup>th</sup> CL, 486<sup>th</sup> CL, 487<sup>th</sup> CL, 488<sup>th</sup> CL, 489<sup>th</sup> CL, 490<sup>th</sup> CL, 491<sup>st</sup> CL, 492<sup>nd</sup> CL, 493<sup>rd</sup> CL, 494<sup>th</sup> CL, 495<sup>th</sup> CL, 496<sup>th</sup> CL, 497<sup>th</sup> CL, 498<sup>th</sup> CL, 499<sup>th</sup> CL, 500<sup>th</sup> CL, 501<sup>st</sup> CL, 502<sup>nd</sup> CL, 503<sup>rd</sup> CL, 504<sup>th</sup> CL, 505<sup>th</sup> CL, 506<sup>th</sup> CL, 507<sup>th</sup> CL, 508<sup>th</sup> CL, 509<sup>th</sup> CL, 510<sup>th</sup> CL, 511<sup>st</sup> CL, 512<sup>nd</sup> CL, 513<sup>rd</sup> CL, 514<sup>th</sup> CL, 515<sup>th</sup> CL, 516<sup>th</sup> CL, 517<sup>th</sup> CL, 518<sup>th</sup> CL, 519<sup>th</sup> CL, 520<sup>th</sup> CL, 521<sup>st</sup> CL, 522<sup>nd</sup> CL, 523<sup>rd</sup> CL, 524<sup>th</sup> CL, 525<sup>th</sup> CL, 526<sup>th</sup> CL, 527<sup>th</sup> CL, 528<sup>th</sup> CL, 529<sup>th</sup> CL, 530<sup>th</sup> CL, 531<sup>st</sup> CL, 532<sup>nd</sup> CL, 533<sup>rd</sup> CL, 534<sup>th</sup> CL, 535<sup>th</sup> CL, 536<sup>th</sup> CL, 537<sup>th</sup> CL, 538<sup>th</sup> CL, 539<sup>th</sup> CL, 540<sup>th</sup> CL, 541<sup>st</sup> CL, 542<sup>nd</sup> CL, 543<sup>rd</sup> CL, 544<sup>th</sup> CL, 545<sup>th</sup> CL, 546<sup>th</sup> CL, 547<sup>th</sup> CL, 548<sup>th</sup> CL, 549<sup>th</sup> CL, 550<sup>th</sup> CL, 551<sup>st</sup> CL, 552<sup>nd</sup> CL, 553<sup>rd</sup> CL, 554<sup>th</sup> CL, 555<sup>th</sup> CL, 556<sup>th</sup> CL, 557<sup>th</sup> CL, 558<sup>th</sup> CL, 559<sup>th</sup> CL, 560<sup>th</sup> CL, 561<sup>st</sup> CL, 562<sup>nd</sup> CL, 563<sup>rd</sup> CL, 564<sup>th</sup> CL, 565<sup>th</sup> CL, 566<sup>th</sup> CL, 567<sup>th</sup> CL, 568<sup>th</sup> CL, 569<sup>th</sup> CL, 570<sup>th</sup> CL, 571<sup>st</sup> CL, 572<sup>nd</sup> CL, 573<sup>rd</sup> CL, 574<sup>th</sup> CL, 575<sup>th</sup> CL, 576<sup>th</sup> CL, 577<sup>th</sup> CL, 578<sup>th</sup> CL, 579<sup>th</sup> CL, 580<sup>th</sup> CL, 581<sup>st</sup> CL, 582<sup>nd</sup> CL, 583<sup>rd</sup> CL, 584<sup>th</sup> CL, 585<sup>th</sup> CL, 586<sup>th</sup> CL, 587<sup>th</sup> CL, 588<sup>th</sup> CL, 589<sup>th</sup> CL, 590<sup>th</sup> CL, 591<sup>st</sup> CL, 592<sup>nd</sup> CL, 593<sup>rd</sup> CL, 594<sup>th</sup> CL, 595<sup>th</sup> CL, 596<sup>th</sup> CL, 597<sup>th</sup> CL, 598<sup>th</sup> CL, 599<sup>th</sup> CL, 600<sup>th</sup> CL, 601<sup>st</sup> CL, 602<sup>nd</sup> CL, 603<sup>rd</sup> CL, 604<sup>th</sup> CL, 605<sup>th</sup> CL, 606<sup>th</sup> CL, 607<sup>th</sup> CL, 608<sup>th</sup> CL, 609<sup>th</sup> CL, 610<sup>th</sup> CL, 611<sup>st</sup> CL, 612<sup>nd</sup> CL, 613<sup>rd</sup> CL, 614<sup>th</sup> CL, 615<sup>th</sup> CL, 616<sup>th</sup> CL, 617<sup>th</sup> CL, 618<sup>th</sup> CL, 619<sup>th</sup> CL, 620<sup>th</sup> CL, 621<sup>st</sup> CL, 622<sup>nd</sup> CL, 623<sup>rd</sup> CL, 624<sup>th</sup> CL, 625<sup>th</sup> CL, 626<sup>th</sup> CL, 627<sup>th</sup> CL, 628<sup>th</sup> CL, 629<sup>th</sup> CL, 630<sup>th</sup> CL, 631<sup>st</sup> CL, 632<sup>nd</sup> CL, 633<sup>rd</sup> CL, 634<sup>th</sup> CL, 635<sup>th</sup> CL, 636<sup>th</sup> CL, 637<sup>th</sup> CL, 638<sup>th</sup> CL, 639<sup>th</sup> CL, 640<sup>th</sup> CL, 641<sup>st</sup> CL, 642<sup>nd</sup> CL, 643<sup>rd</sup> CL, 644<sup>th</sup> CL, 645<sup>th</sup> CL, 646<sup>th</sup> CL, 647<sup>th</sup> CL, 648<sup>th</sup> CL, 649<sup>th</sup> CL, 650<sup>th</sup> CL, 651<sup>st</sup> CL, 652<sup>nd</sup> CL, 653<sup>rd</sup> CL, 654<sup>th</sup> CL, 655<sup>th</sup> CL, 656<sup>th</sup> CL, 657<sup>th</sup> CL, 658<sup>th</sup> CL, 659<sup>th</sup> CL, 660<sup>th</sup> CL, 661<sup>st</sup> CL, 662<sup>nd</sup> CL, 663<sup>rd</sup> CL, 664<sup>th</sup> CL, 665<sup>th</sup> CL, 666<sup>th</sup> CL, 667<sup>th</sup> CL, 668<sup>th</sup> CL, 669<sup>th</sup> CL, 670<sup>th</sup> CL, 671<sup>st</sup> CL, 672<sup>nd</sup> CL, 673<sup>rd</sup> CL, 674<sup>th</sup> CL, 675<sup>th</sup> CL, 676<sup>th</sup> CL, 677<sup>th</sup> CL, 678<sup>th</sup> CL, 679<sup>th</sup> CL, 680<sup>th</sup> CL, 681<sup>st</sup> CL, 682<sup>nd</sup> CL, 683<sup>rd</sup> CL, 684<sup>th</sup> CL, 685<sup>th</sup> CL, 686<sup>th</sup> CL, 687<sup>th</sup> CL, 688<sup>th</sup> CL, 689<sup>th</sup> CL, 690<sup>th</sup> CL, 691<sup>st</sup> CL, 692<sup>nd</sup> CL, 693<sup>rd</sup> CL, 694<sup>th</sup> CL, 695<sup>th</sup> CL, 696<sup>th</sup> CL, 697<sup>th</sup> CL, 698<sup>th</sup> CL, 699<sup>th</sup> CL, 700<sup>th</sup> CL, 701<sup>st</sup> CL, 702<sup>nd</sup> CL, 703<sup>rd</sup> CL, 704<sup>th</sup> CL, 705<sup>th</sup> CL, 706<sup>th</sup> CL, 707<sup>th</sup> CL, 708<sup>th</sup> CL, 709<sup>th</sup> CL, 710<sup>th</sup> CL, 711<sup>st</sup> CL, 712<sup>nd</sup> CL, 713<sup>rd</sup> CL, 714<sup>th</sup> CL, 715<sup>th</sup> CL, 716<sup>th</sup> CL, 717<sup>th</sup> CL, 718<sup>th</sup> CL, 719<sup>th</sup> CL, 720<sup>th</sup> CL, 721<sup>st</sup> CL, 722<sup>nd</sup> CL, 723<sup>rd</sup> CL, 724<sup>th</sup> CL, 725<sup>th</sup> CL, 726<sup>th</sup> CL, 727<sup>th</sup> CL, 728<sup>th</sup> CL, 729<sup>th</sup> CL, 730<sup>th</sup> CL, 731<sup>st</sup> CL, 732<sup>nd</sup> CL, 733<sup>rd</sup> CL, 734<sup>th</sup> CL, 735<sup>th</sup> CL, 736<sup>th</sup> CL, 737<sup>th</sup> CL, 738<sup>th</sup> CL, 739<sup>th</sup> CL, 740<sup>th</sup> CL, 741<sup>st</sup> CL, 742<sup>nd</sup> CL, 743<sup>rd</sup> CL, 744<sup>th</sup> CL, 745<sup>th</sup> CL, 746<sup>th</sup> CL, 747<sup>th</sup> CL, 748<sup>th</sup> CL, 749<sup>th</sup> CL, 750<sup>th</sup> CL, 751<sup>st</sup> CL, 752<sup>nd</sup> CL, 753<sup>rd</sup> CL, 754<sup>th</sup> CL, 755<sup>th</sup> CL, 756<sup>th</sup> CL, 757<sup>th</sup> CL, 758<sup>th</sup> CL, 759<sup>th</sup> CL, 760<sup>th</sup> CL, 761<sup>st</sup> CL, 762<sup>nd</sup> CL, 763<sup>rd</sup> CL, 764<sup>th</sup> CL, 765<sup>th</sup> CL, 766<sup>th</sup> CL, 767<sup>th</sup> CL, 768<sup>th</sup> CL, 769<sup>th</sup> CL, 770<sup>th</sup> CL, 771<sup>st</sup> CL, 772<sup>nd</sup> CL, 773<sup>rd</sup> CL, 774<sup>th</sup> CL, 775<sup>th</sup> CL, 776<sup>th</sup> CL, 777<sup>th</sup> CL, 778<sup>th</sup> CL, 779<sup>th</sup> CL, 780<sup>th</sup> CL, 781<sup>st</sup> CL, 782<sup>nd</sup> CL, 783<sup>rd</sup> CL, 784<sup>th</sup> CL, 785<sup>th</sup> CL, 786<sup>th</sup> CL, 787<sup>th</sup> CL, 788<sup>th</sup> CL, 789<sup>th</sup> CL, 790<sup>th</sup> CL, 791<sup>st</sup> CL, 792<sup>nd</sup> CL, 793<sup>rd</sup> CL, 794<sup>th</sup> CL, 795<sup>th</sup> CL, 796<sup>th</sup> CL, 797<sup>th</sup> CL, 798<sup>th</sup> CL, 799<sup>th</sup> CL, 800<sup>th</sup> CL, 801<sup>st</sup> CL, 802<sup>nd</sup> CL, 803<sup>rd</sup> CL, 804<sup>th</sup> CL, 805<sup>th</sup> CL, 806<sup>th</sup> CL, 807<sup>th</sup> CL, 808<sup>th</sup> CL, 809<sup>th</sup> CL, 810<sup>th</sup> CL, 811<sup>st</sup> CL, 812<sup>nd</sup> CL, 813<sup>rd</sup> CL, 814<sup>th</sup> CL, 815<sup>th</sup> CL, 816<sup>th</sup> CL, 817<sup>th</sup> CL, 818<sup>th</sup> CL, 819<sup>th</sup> CL, 820<sup>th</sup> CL, 821<sup>st</sup> CL, 822<sup>nd</sup> CL, 823<sup>rd</sup> CL, 824<sup>th</sup> CL, 825<sup>th</sup> CL, 826<sup>th</sup> CL, 827<sup>th</sup> CL, 828<sup>th</sup> CL, 829<sup>th</sup> CL, 830<sup>th</sup> CL, 831<sup>st</sup> CL, 832<sup>nd</sup> CL, 833<sup>rd</sup> CL, 834<sup>th</sup> CL, 835<sup>th</sup> CL, 836<sup>th</sup> CL, 837<sup>th</sup> CL, 838<sup>th</sup> CL, 839<sup>th</sup> CL, 840<sup>th</sup> CL, 841<sup>st</sup> CL, 842<sup>nd</sup> CL, 843<sup>rd</sup> CL, 844<sup>th</sup> CL, 845<sup>th</sup> CL, 846<sup>th</sup> CL, 847<sup>th</sup> CL, 848<sup>th</sup> CL, 849<sup>th</sup> CL, 850<sup>th</sup> CL, 851<sup>st</sup> CL, 852<sup>nd</sup> CL, 853<sup>rd</sup> CL, 854<sup>th</sup> CL, 855<sup>th</sup> CL, 856<sup>th</sup> CL, 857<sup>th</sup> CL, 858<sup>th</sup> CL, 859<sup>th</sup> CL, 860<sup>th</sup> CL, 861<sup>st</sup> CL, 862<sup>nd</sup> CL, 863<sup>rd</sup> CL, 864<sup>th</sup> CL, 865<sup>th</sup> CL, 866<sup>th</sup> CL, 867<sup>th</sup> CL, 868<sup>th</sup> CL, 869<sup>th</sup> CL, 870<sup>th</sup> CL, 871<sup>st</sup> CL, 872<sup>nd</sup> CL, 873<sup>rd</sup> CL, 874<sup>th</sup> CL, 875<sup>th</sup> CL, 876<sup>th</sup> CL, 877<sup>th</sup> CL, 878<sup>th</sup> CL, 879<sup>th</sup> CL, 880<sup>th</sup> CL, 881<sup>st</sup> CL, 882<sup>nd</sup> CL, 883<sup>rd</sup> CL, 884<sup>th</sup> CL, 885<sup>th</sup> CL, 88

Motivation: detect knots via images



- **Knot** = closed string (a circle  $S^1$ ) in three spaces; link = multiple components
- Knots are studied by projections to the plane **Shadow**
- **In math** knot theory started in the early 20th century

Picture recognition, knots and quantum algebra (Dr. Rocco Dettori) July 2025 - 7 / 8

Preparation: neural networks (NN) and friends

**Key: Approximations to hard problems**

sample

1975 century in 10: 10

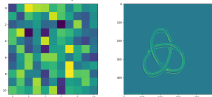
► Task (in NN) is to find approximate answers for difficult problems such as traveling salesman (TSP)

► A NN is way to **approximate an unknown function**

► The specifics of how this works vary: there are many models and architectures

Results

What does the CNN actually do?



Picture recognition, knots and quantum algebra (Dr. Rocco Dettori) July 2025 - 7 / 8

Motivation

**It is crucial to identify the DNA knot**

Figure: Duplex DNA knots produced by Escherichia coli Topoisomerase via Journal of Biological Chemistry 1985

For example, difficult DNA knots prevent DNA from reproducing and are seen that for things like viruses, or cancer cells

Preparation: neural networks (NN) and friends

1<sup>st</sup> CL, 1<sup>st</sup> PL, 2<sup>nd</sup> CL, 2<sup>nd</sup> PL, 3<sup>rd</sup> CL, 4<sup>th</sup> CL, 5<sup>th</sup> CL, 6<sup>th</sup> CL, 7<sup>th</sup> CL, 8<sup>th</sup> CL, 9<sup>th</sup> CL, 10<sup>th</sup> CL, 11<sup>th</sup> CL, 12<sup>th</sup> CL, 13<sup>th</sup> CL, 14<sup>th</sup> CL, 15<sup>th</sup> CL, 16<sup>th</sup> CL, 17<sup>th</sup> CL, 18<sup>th</sup> CL, 19<sup>th</sup> CL, 20<sup>th</sup> CL, 21<sup>st</sup> CL, 22<sup>nd</sup> CL, 23<sup>rd</sup> CL, 24<sup>th</sup> CL, 25<sup>th</sup> CL, 26<sup>th</sup> CL, 27<sup>th</sup> CL, 28<sup>th</sup> CL, 29<sup>th</sup> CL, 30<sup>th</sup> CL, 31<sup>st</sup> CL, 32<sup>nd</sup> CL, 33<sup>rd</sup> CL, 34<sup>th</sup> CL, 35<sup>th</sup> CL, 36<sup>th</sup> CL, 37<sup>th</sup> CL, 38<sup>th</sup> CL, 39<sup>th</sup> CL, 40<sup>th</sup> CL, 41<sup>st</sup> CL, 42<sup>nd</sup> CL, 43<sup>rd</sup> CL, 44<sup>th</sup> CL, 45<sup>th</sup> CL, 46<sup>th</sup> CL, 47<sup>th</sup> CL, 48<sup>th</sup> CL, 49<sup>th</sup> CL, 50<sup>th</sup> CL, 51<sup>st</sup> CL, 52<sup>nd</sup> CL, 53<sup>rd</sup> CL, 54<sup>th</sup> CL, 55<sup>th</sup> CL, 56<sup>th</sup> CL, 57<sup>th</sup> CL, 58<sup>th</sup> CL, 59<sup>th</sup> CL, 60<sup>th</sup> CL, 61<sup>st</sup> CL, 62<sup>nd</sup> CL, 63<sup>rd</sup> CL, 64<sup>th</sup> CL, 65<sup>th</sup> CL, 66<sup>th</sup> CL, 67<sup>th</sup> CL, 68<sup>th</sup> CL, 69<sup>th</sup> CL, 70<sup>th</sup> CL, 71<sup>st</sup> CL, 72<sup>nd</sup> CL, 73<sup>rd</sup> CL, 74<sup>th</sup> CL, 75<sup>th</sup> CL, 76<sup>th</sup> CL, 77<sup>th</sup> CL, 78<sup>th</sup> CL, 79<sup>th</sup> CL, 80<sup>th</sup> CL, 81<sup>st</sup> CL, 82<sup>nd</sup> CL, 83<sup>rd</sup> CL, 84<sup>th</sup> CL, 85<sup>th</sup> CL, 86<sup>th</sup> CL, 87<sup>th</sup> CL, 88<sup>th</sup> CL, 89<sup>th</sup> CL, 90<sup>th</sup> CL, 91<sup>st</sup> CL, 92<sup>nd</sup> CL, 93<sup>rd</sup> CL, 94<sup>th</sup> CL, 95<sup>th</sup> CL, 96<sup>th</sup> CL, 97<sup>th</sup> CL, 98<sup>th</sup> CL, 99<sup>th</sup> CL, 100<sup>th</sup> CL, 101<sup>st</sup> CL, 102<sup>nd</sup> CL, 103<sup>rd</sup> CL, 104<sup>th</sup> CL, 105<sup>th</sup> CL, 106<sup>th</sup> CL, 107<sup>th</sup> CL, 108<sup>th</sup> CL, 109<sup>th</sup> CL, 110<sup>th</sup> CL, 111<sup>st</sup> CL, 112<sup>nd</sup> CL, 113<sup>rd</sup> CL, 114<sup>th</sup> CL, 115<sup>th</sup> CL, 116<sup>th</sup> CL, 117<sup>th</sup> CL, 118<sup>th</sup> CL, 119<sup>th</sup> CL, 120<sup>th</sup> CL, 121<sup>st</sup> CL, 122<sup>nd</sup> CL, 123<sup>rd</sup> CL, 124<sup>th</sup> CL, 125<sup>th</sup> CL, 126<sup>th</sup> CL, 127<sup>th</sup> CL, 128<sup>th</sup> CL, 129<sup>th</sup> CL, 130<sup>th</sup> CL, 131<sup>st</sup> CL, 132<sup>nd</sup> CL, 133<sup>rd</sup> CL, 134<sup>th</sup> CL, 135<sup>th</sup> CL, 136<sup>th</sup> CL, 137<sup>th</sup> CL, 138<sup>th</sup> CL, 139<sup>th</sup> CL, 140<sup>th</sup> CL, 141<sup>st</sup> CL, 142<sup>nd</sup> CL, 143<sup>rd</sup> CL, 144<sup>th</sup> CL, 145<sup>th</sup> CL, 146<sup>th</sup> CL, 147<sup>th</sup> CL, 148<sup>th</sup> CL, 149<sup>th</sup> CL, 150<sup>th</sup> CL, 151<sup>st</sup> CL, 152<sup>nd</sup> CL, 153<sup>rd</sup> CL, 154<sup>th</sup> CL, 155<sup>th</sup> CL, 156<sup>th</sup> CL, 157<sup>th</sup> CL, 158<sup>th</sup> CL, 159<sup>th</sup> CL, 160<sup>th</sup> CL, 161<sup>st</sup> CL, 162<sup>nd</sup> CL, 163<sup>rd</sup> CL, 164<sup>th</sup> CL, 165<sup>th</sup> CL, 166<sup>th</sup> CL, 167<sup>th</sup> CL, 168<sup>th</sup> CL, 169<sup>th</sup> CL, 170<sup>th</sup> CL, 171<sup>st</sup> CL, 172<sup>nd</sup> CL, 173<sup>rd</sup> CL, 174<sup>th</sup> CL, 175<sup>th</sup> CL, 176<sup>th</sup> CL, 177<sup>th</sup> CL, 178<sup>th</sup> CL, 179<sup>th</sup> CL, 180<sup>th</sup> CL, 181<sup>st</sup> CL, 182<sup>nd</sup> CL, 183<sup>rd</sup> CL, 184<sup>th</sup> CL, 185<sup>th</sup> CL, 186<sup>th</sup> CL, 187<sup>th</sup> CL, 188<sup>th</sup> CL, 189<sup>th</sup> CL, 190<sup>th</sup> CL, 191<sup>st</sup> CL, 192<sup>nd</sup> CL, 193<sup>rd</sup> CL, 194<sup>th</sup> CL, 195<sup>th</sup> CL, 196<sup>th</sup> CL, 197<sup>th</sup> CL, 198<sup>th</sup> CL, 199<sup>th</sup> CL, 200<sup>th</sup> CL, 201<sup>st</sup> CL, 202<sup>nd</sup> CL, 203<sup>rd</sup> CL, 204<sup>th</sup> CL, 205<sup>th</sup> CL, 206<sup>th</sup> CL, 207<sup>th</sup> CL, 208<sup>th</sup> CL, 209<sup>th</sup> CL, 210<sup>th</sup> CL, 211<sup>st</sup> CL, 212<sup>nd</sup> CL, 213<sup>rd</sup> CL, 214<sup>th</sup> CL, 215<sup>th</sup> CL, 216<sup>th</sup> CL, 217<sup>th</sup> CL, 218<sup>th</sup> CL, 219<sup>th</sup> CL, 220<sup>th</sup> CL, 221<sup>st</sup> CL, 222<sup>nd</sup> CL, 223<sup>rd</sup> CL, 224<sup>th</sup> CL, 225<sup>th</sup> CL, 226<sup>th</sup> CL, 227<sup>th</sup> CL, 228<sup>th</sup> CL, 229<sup>th</sup> CL, 230<sup>th</sup> CL, 231<sup>st</sup> CL, 232<sup>nd</sup> CL, 233<sup>rd</sup> CL, 234<sup>th</sup> CL, 235<sup>th</sup> CL, 236<sup>th</sup> CL, 237<sup>th</sup> CL, 238<sup>th</sup> CL, 239<sup>th</sup> CL, 240<sup>th</sup> CL, 241<sup>st</sup> CL, 242<sup>nd</sup> CL, 243<sup>rd</sup> CL, 244<sup>th</sup> CL, 245<sup>th</sup> CL, 246<sup>th</sup> CL, 247<sup>th</sup> CL, 248<sup>th</sup> CL, 249<sup>th</sup> CL, 250<sup>th</sup> CL, 251<sup>st</sup> CL, 252<sup>nd</sup> CL, 253<sup>rd</sup> CL, 254<sup>th</sup> CL, 255<sup>th</sup> CL, 256<sup>th</sup> CL, 257<sup>th</sup> CL, 258<sup>th</sup> CL, 259<sup>th</sup> CL, 260<sup>th</sup> CL, 261<sup>st</sup> CL, 262<sup>nd</sup> CL, 263<sup>rd</sup> CL, 264<sup>th</sup> CL, 265<sup>th</sup> CL, 266<sup>th</sup> CL, 267<sup>th</sup> CL, 268<sup>th</sup> CL, 269<sup>th</sup> CL, 270<sup>th</sup> CL, 271<sup>st</sup> CL, 272<sup>nd</sup> CL, 273<sup>rd</sup> CL, 274<sup>th</sup> CL, 275<sup>th</sup> CL, 276<sup>th</sup> CL, 277<sup>th</sup> CL, 278<sup>th</sup> CL, 279<sup>th</sup> CL, 280<sup>th</sup> CL, 281<sup>st</sup> CL, 282<sup>nd</sup> CL, 283<sup>rd</sup> CL, 284<sup>th</sup> CL, 285<sup>th</sup> CL, 286<sup>th</sup> CL, 287<sup>th</sup> CL, 288<sup>th</sup> CL, 289<sup>th</sup> CL, 290<sup>th</sup> CL, 291<sup>st</sup> CL, 292<sup>nd</sup> CL, 293<sup>rd</sup> CL, 294<sup>th</sup> CL, 295<sup>th</sup> CL, 296<sup>th</sup> CL, 297<sup>th</sup> CL, 298<sup>th</sup> CL, 299<sup>th</sup> CL, 300<sup>th</sup> CL, 301<sup>st</sup> CL, 302<sup>nd</sup> CL, 303<sup>rd</sup> CL, 304<sup>th</sup> CL, 305<sup>th</sup> CL, 306<sup>th</sup> CL, 307<sup>th</sup> CL, 308<sup>th</sup> CL, 309<sup>th</sup> CL, 310<sup>th</sup> CL, 311<sup>st</sup> CL, 312<sup>nd</sup> CL, 313<sup>rd</sup> CL, 314<sup>th</sup> CL, 315<sup>th</sup> CL, 316<sup>th</sup> CL, 317<sup>th</sup> CL, 318<sup>th</sup> CL, 319<sup>th</sup> CL, 320<sup>th</sup> CL, 321<sup>st</sup> CL, 322<sup>nd</sup> CL, 323<sup>rd</sup> CL, 324<sup>th</sup> CL, 325<sup>th</sup> CL, 326<sup>th</sup> CL, 327<sup>th</sup> CL, 328<sup>th</sup> CL, 329<sup>th</sup> CL, 330<sup>th</sup> CL, 331<sup>st</sup> CL, 332<sup>nd</sup> CL, 333<sup>rd</sup> CL, 334<sup>th</sup> CL, 335<sup>th</sup> CL, 336<sup>th</sup> CL, 337<sup>th</sup> CL, 338<sup>th</sup> CL, 339<sup>th</sup> CL, 340<sup>th</sup> CL, 341<sup>st</sup> CL, 342<sup>nd</sup> CL, 343<sup>rd</sup> CL, 344<sup>th</sup> CL, 345<sup>th</sup> CL, 346<sup>th</sup> CL, 347<sup>th</sup> CL, 348<sup>th</sup> CL, 349<sup>th</sup> CL, 350<sup>th</sup> CL, 351<sup>st</sup> CL, 352<sup>nd</sup> CL, 353<sup>rd</sup> CL, 354<sup>th</sup> CL, 355<sup>th</sup> CL, 356<sup>th</sup> CL, 357<sup>th</sup> CL, 358<sup>th</sup> CL, 359<sup>th</sup> CL, 360<sup>th</sup> CL, 361<sup>st</sup> CL, 362<sup>nd</sup> CL, 363<sup>rd</sup> CL, 364<sup>th</sup> CL, 365<sup>th</sup> CL, 366<sup>th</sup> CL, 367<sup>th</sup> CL, 368<sup>th</sup> CL, 369<sup>th</sup> CL, 370<sup>th</sup> CL, 371<sup>st</sup> CL, 372<sup>nd</sup> CL, 373<sup>rd</sup> CL, 374<sup>th</sup> CL, 375<sup>th</sup> CL, 376<sup>th</sup> CL, 377<sup>th</sup> CL, 378<sup>th</sup> CL, 379<sup>th</sup> CL, 380<sup>th</sup> CL, 381<sup>st</sup> CL, 382<sup>nd</sup> CL, 383<sup>rd</sup> CL, 384<sup>th</sup> CL, 385<sup>th</sup> CL, 386<sup>th</sup> CL, 387<sup>th</sup> CL, 388<sup>th</sup> CL, 389<sup>th</sup> CL, 390<sup>th</sup> CL, 391<sup>st</sup> CL, 392<sup>nd</sup> CL, 393<sup>rd</sup> CL, 394<sup>th</sup> CL, 395<sup>th</sup> CL, 396<sup>th</sup> CL, 397<sup>th</sup> CL, 398<sup>th</sup> CL, 399<sup>th</sup> CL, 400<sup>th</sup> CL, 401<sup>st</sup> CL, 402<sup>nd</sup> CL, 403<sup>rd</sup> CL, 404<sup>th</sup> CL, 405<sup>th</sup> CL, 406<sup>th</sup> CL, 407<sup>th</sup> CL, 408<sup>th</sup> CL, 409<sup>th</sup> CL, 410<sup>th</sup> CL, 411<sup>st</sup> CL, 412<sup>nd</sup> CL, 413<sup>rd</sup> CL, 414<sup>th</sup> CL, 415<sup>th</sup> CL, 416<sup>th</sup> CL, 417<sup>th</sup> CL, 418<sup>th</sup> CL, 419<sup>th</sup> CL, 420<sup>th</sup> CL, 421<sup>st</sup> CL, 422<sup>nd</sup> CL, 423<sup>rd</sup> CL, 424<sup>th</sup> CL, 425<sup>th</sup> CL, 426<sup>th</sup> CL, 427<sup>th</sup> CL, 428<sup>th</sup> CL, 429<sup>th</sup> CL, 430<sup>th</sup> CL, 431<sup>st</sup> CL, 432<sup>nd</sup> CL, 433<sup>rd</sup> CL, 434<sup>th</sup> CL, 435<sup>th</sup> CL, 436<sup>th</sup> CL, 437<sup>th</sup> CL, 438<sup>th</sup> CL, 439<sup>th</sup> CL, 440<sup>th</sup> CL, 441<sup>st</sup> CL, 442<sup>nd</sup> CL, 443<sup>rd</sup> CL, 444<sup>th</sup> CL, 445<sup>th</sup> CL, 446<sup>th</sup> CL, 447<sup>th</sup> CL, 448<sup>th</sup> CL, 449<sup>th</sup> CL, 450<sup>th</sup> CL, 451<sup>st</sup> CL, 452<sup>nd</sup> CL, 453<sup>rd</sup> CL, 454<sup>th</sup> CL, 455<sup>th</sup> CL, 456<sup>th</sup> CL, 457<sup>th</sup> CL, 458<sup>th</sup> CL, 459<sup>th</sup> CL, 460<sup>th</sup> CL, 461<sup>st</sup> CL, 462<sup>nd</sup> CL, 463<sup>rd</sup> CL, 464<sup>th</sup> CL, 465<sup>th</sup> CL, 466<sup>th</sup> CL, 467<sup>th</sup> CL, 468<sup>th</sup> CL, 469<sup>th</sup> CL, 470<sup>th</sup> CL, 471<sup>st</sup> CL, 472<sup>nd</sup> CL, 473<sup>rd</sup> CL, 474<sup>th</sup> CL, 475<sup>th</sup> CL, 476<sup>th</sup> CL, 477<sup>th</sup> CL, 478<sup>th</sup> CL, 479<sup>th</sup> CL, 480<sup>th</sup> CL, 481<sup>st</sup> CL, 482<sup>nd</sup> CL, 483<sup>rd</sup> CL, 484<sup>th</sup> CL, 485<sup>th</sup> CL, 486<sup>th</sup> CL, 487<sup>th</sup> CL, 488<sup>th</sup> CL, 489<sup>th</sup> CL, 490<sup>th</sup> CL, 491<sup>st</sup> CL, 492<sup>nd</sup> CL, 493<sup>rd</sup> CL, 494<sup>th</sup> CL, 495<sup>th</sup> CL, 496<sup>th</sup> CL, 497<sup>th</sup> CL, 498<sup>th</sup> CL, 499<sup>th</sup> CL, 500<sup>th</sup> CL, 501<sup>st</sup> CL, 502<sup>nd</sup> CL, 503<sup>rd</sup> CL, 504<sup>th</sup> CL, 505<sup>th</sup> CL, 506<sup>th</sup> CL, 507<sup>th</sup> CL, 508<sup>th</sup> CL, 509<sup>th</sup> CL, 510<sup>th</sup> CL, 511<sup>st</sup> CL, 512<sup>nd</sup> CL, 513<sup>rd</sup> CL, 514<sup>th</sup> CL, 515<sup>th</sup> CL, 516<sup>th</sup> CL, 517<sup>th</sup> CL, 518<sup>th</sup> CL, 519<sup>th</sup> CL, 520<sup>th</sup> CL, 521<sup>st</sup> CL, 522<sup>nd</sup> CL, 523<sup>rd</sup> CL, 524<sup>th</sup> CL, 525<sup>th</sup> CL, 526<sup>th</sup> CL, 527<sup>th</sup> CL, 528<sup>th</sup> CL, 529<sup>th</sup> CL, 530<sup>th</sup> CL, 531<sup>st</sup> CL, 532<sup>nd</sup> CL, 533<sup>rd</sup> CL, 534<sup>th</sup> CL, 535<sup>th</sup> CL, 536<sup>th</sup> CL, 537<sup>th</sup> CL, 538<sup>th</sup> CL, 539<sup>th</sup> CL, 540<sup>th</sup> CL, 541<sup>st</sup> CL, 542<sup>nd</sup> CL, 543<sup>rd</sup> CL, 544<sup>th</sup> CL, 545<sup>th</sup> CL, 546<sup>th</sup> CL, 547<sup>th</sup> CL, 548<sup>th</sup> CL, 549<sup>th</sup> CL, 550<sup>th</sup> CL, 551<sup>st</sup> CL, 552<sup>nd</sup> CL, 553<sup>rd</sup> CL, 554<sup>th</sup> CL, 555<sup>th</sup> CL, 556<sup>th</sup> CL, 557<sup>th</sup> CL, 558<sup>th</sup> CL, 559<sup>th</sup> CL, 560<sup>th</sup> CL, 561<sup>st</sup> CL, 562<sup>nd</sup> CL, 563<sup>rd</sup> CL, 564<sup>th</sup> CL, 565<sup>th</sup> CL, 566<sup>th</sup> CL, 567<sup>th</sup> CL, 568<sup>th</sup> CL, 569<sup>th</sup> CL, 570<sup>th</sup> CL, 571<sup>st</sup> CL, 572<sup>nd</sup> CL, 573<sup>rd</sup> CL, 574<sup>th</sup> CL, 575<sup>th</sup> CL, 576<sup>th</sup> CL, 577<sup>th</sup> CL, 578<sup>th</sup> CL, 579<sup>th</sup> CL, 580<sup>th</sup> CL, 581<sup>st</sup> CL, 582<sup>nd</sup> CL, 583<sup>rd</sup> CL, 584<sup>th</sup> CL, 585<sup>th</sup> CL, 586<sup>th</sup> CL, 587<sup>th</sup> CL, 588<sup>th</sup> CL, 589<sup>th</sup> CL, 590<sup>th</sup> CL, 591<sup>st</sup> CL, 592<sup>nd</sup> CL, 593<sup>rd</sup> CL, 594<sup>th</sup> CL, 595<sup>th</sup> CL, 596<sup>th</sup> CL, 597<sup>th</sup> CL, 598<sup>th</sup> CL, 599<sup>th</sup> CL, 600<sup>th</sup> CL, 601<sup>st</sup> CL, 602<sup>nd</sup> CL, 603<sup>rd</sup> CL, 604<sup>th</sup> CL, 605<sup>th</sup> CL, 606<sup>th</sup> CL, 607<sup>th</sup> CL, 608<sup>th</sup> CL, 609<sup>th</sup> CL, 610<sup>th</sup> CL, 611<sup>st</sup> CL, 612<sup>nd</sup> CL, 613<sup>rd</sup> CL, 614<sup>th</sup> CL, 615<sup>th</sup> CL, 616<sup>th</sup> CL, 617<sup>th</sup> CL, 618<sup>th</sup> CL, 619<sup>th</sup> CL, 620<sup>th</sup> CL, 621<sup>st</sup> CL, 622<sup>nd</sup> CL, 623<sup>rd</sup> CL, 624<sup>th</sup> CL, 625<sup>th</sup> CL, 626<sup>th</sup> CL, 627<sup>th</sup> CL, 628<sup>th</sup> CL, 629<sup>th</sup> CL, 630<sup>th</sup> CL, 631<sup>st</sup> CL, 632<sup>nd</sup> CL, 633<sup>rd</sup> CL, 634<sup>th</sup> CL, 635<sup>th</sup> CL, 636<sup>th</sup> CL, 637<sup>th</sup> CL, 638<sup>th</sup> CL, 639<sup>th</sup> CL, 640<sup>th</sup> CL, 641<sup>st</sup> CL, 642<sup>nd</sup> CL, 643<sup>rd</sup> CL, 644<sup>th</sup> CL, 645<sup>th</sup> CL, 646<sup>th</sup> CL, 647<sup>th</sup> CL, 648<sup>th</sup> CL, 649<sup>th</sup> CL, 650<sup>th</sup> CL, 651<sup>st</sup> CL, 652<sup>nd</sup> CL, 653<sup>rd</sup> CL, 654<sup>th</sup> CL, 655<sup>th</sup> CL, 656<sup>th</sup> CL, 657<sup>th</sup> CL, 658<sup>th</sup> CL, 659<sup>th</sup> CL, 660<sup>th</sup> CL, 661<sup>st</sup> CL, 662<sup>nd</sup> CL, 663<sup>rd</sup> CL, 664<sup>th</sup> CL, 665<sup>th</sup> CL, 666<sup>th</sup> CL, 667<sup>th</sup> CL, 668<sup>th</sup> CL, 669<sup>th</sup> CL, 670<sup>th</sup> CL, 671<sup>st</sup> CL, 672<sup>nd</sup> CL, 673<sup>rd</sup> CL, 674<sup>th</sup> CL, 675<sup>th</sup> CL, 676<sup>th</sup> CL, 677<sup>th</sup> CL, 678<sup>th</sup> CL, 679<sup>th</sup> CL, 680<sup>th</sup> CL, 681<sup>st</sup> CL, 682<sup>nd</sup> CL, 683<sup>rd</sup> CL, 684<sup>th</sup> CL, 685<sup>th</sup> CL, 686<sup>th</sup> CL, 687<sup>th</sup> CL, 688<sup>th</sup> CL, 689<sup>th</sup> CL, 690<sup>th</sup> CL, 691<sup>st</sup> CL, 692<sup>nd</sup> CL, 693<sup>rd</sup> CL, 694<sup>th</sup> CL, 695<sup>th</sup> CL, 696<sup>th</sup> CL, 697<sup>th</sup> CL, 698<sup>th</sup> CL, 699<sup>th</sup> CL, 700<sup>th</sup> CL, 701<sup>st</sup> CL, 702<sup>nd</sup> CL, 703<sup>rd</sup> CL, 704<sup>th</sup> CL, 705<sup>th</sup> CL, 706<sup>th</sup> CL, 707<sup>th</sup> CL, 708<sup>th</sup> CL, 709<sup>th</sup> CL, 710<sup>th</sup> CL, 711<sup>st</sup> CL, 712<sup>nd</sup> CL, 713<sup>rd</sup> CL, 714<sup>th</sup> CL, 715<sup>th</sup> CL, 716<sup>th</sup> CL, 717<sup>th</sup> CL, 718<sup>th</sup> CL, 719<sup>th</sup> CL, 720<sup>th</sup> CL, 721<sup>st</sup> CL, 722<sup>nd</sup> CL, 723<sup>rd</sup> CL, 724<sup>th</sup> CL, 725<sup>th</sup> CL, 726<sup>th</sup> CL, 727<sup>th</sup> CL, 728<sup>th</sup> CL, 729<sup>th</sup> CL, 730<sup>th</sup> CL, 731<sup>st</sup> CL, 732<sup>nd</sup> CL, 733<sup>rd</sup> CL, 734<sup>th</sup> CL, 735<sup>th</sup> CL, 736<sup>th</sup> CL, 737<sup>th</sup> CL, 738<sup>th</sup> CL, 739<sup>th</sup> CL, 740<sup>th</sup> CL, 741<sup>st</sup> CL, 742<sup>nd</sup> CL, 743<sup>rd</sup> CL, 744<sup>th</sup> CL, 745<sup>th</sup> CL, 746<sup>th</sup> CL, 747<sup>th</sup> CL, 748<sup>th</sup> CL, 749<sup>th</sup> CL, 750<sup>th</sup> CL, 751<sup>st</sup> CL, 752<sup>nd</sup> CL, 753<sup>rd</sup> CL, 754<sup>th</sup> CL, 755<sup>th</sup> CL, 756<sup>th</sup> CL, 757<sup>th</sup> CL, 758<sup>th</sup> CL, 759<sup>th</sup> CL, 760<sup>th</sup> CL, 761<sup>st</sup> CL, 762<sup>nd</sup> CL, 763<sup>rd</sup> CL, 764<sup>th</sup> CL, 765<sup>th</sup> CL, 766<sup>th</sup> CL, 767<sup>th</sup> CL, 768<sup>th</sup> CL, 769<sup>th</sup> CL, 770<sup>th</sup> CL, 771<sup>st</sup> CL, 772<sup>nd</sup> CL, 773<sup>rd</sup> CL, 774<sup>th</sup> CL, 775<sup>th</sup> CL, 776<sup>th</sup> CL, 777<sup>th</sup> CL, 778<sup>th</sup> CL, 779<sup>th</sup> CL, 780<sup>th</sup> CL, 781<sup>st</sup> CL, 782<sup>nd</sup> CL, 783<sup>rd</sup> CL, 784<sup>th</sup> CL, 785<sup>th</sup> CL, 786<sup>th</sup> CL, 787<sup>th</sup> CL, 788<sup>th</sup> CL, 789<sup>th</sup> CL, 790<sup>th</sup> CL, 791<sup>st</sup> CL, 792<sup>nd</sup> CL, 793<sup>rd</sup> CL, 794<sup>th</sup> CL, 795<sup>th</sup> CL, 796<sup>th</sup> CL, 797<sup>th</sup> CL, 798<sup>th</sup> CL, 799<sup>th</sup> CL, 800<sup>th</sup> CL, 801<sup>st</sup> CL, 802<sup>nd</sup> CL, 803<sup>rd</sup> CL, 804<sup>th</sup> CL, 805<sup>th</sup> CL, 806<sup>th</sup> CL, 807<sup>th</sup> CL, 808<sup>th</sup> CL, 809<sup>th</sup> CL, 810<sup>th</sup> CL, 811<sup>st</sup> CL, 812<sup>nd</sup> CL, 813<sup>rd</sup> CL, 814<sup>th</sup> CL, 815<sup>th</sup> CL, 816<sup>th</sup> CL, 817<sup>th</sup> CL, 818<sup>th</sup> CL, 819<sup>th</sup> CL, 820<sup>th</sup> CL, 821<sup>st</sup> CL, 822<sup>nd</sup> CL, 823<sup>rd</sup> CL, 824<sup>th</sup> CL, 825<sup>th</sup> CL, 826<sup>th</sup> CL, 827<sup>th</sup> CL, 828<sup>th</sup> CL, 829<sup>th</sup> CL, 830<sup>th</sup> CL, 831<sup>st</sup> CL, 832<sup>nd</sup> CL, 833<sup>rd</sup> CL, 834<sup>th</sup> CL, 835<sup>th</sup> CL, 836<sup>th</sup> CL, 837<sup>th</sup> CL, 838<sup>th</sup> CL, 839<sup>th</sup> CL, 840<sup>th</sup> CL, 841<sup>st</sup> CL, 842<sup>nd</sup> CL, 843<sup>rd</sup> CL, 844<sup>th</sup> CL, 845<sup>th</sup> CL, 846<sup>th</sup> CL, 847<sup>th</sup> CL, 848<sup>th</sup> CL, 849<sup>th</sup> CL, 850<sup>th</sup> CL, 851<sup>st</sup> CL, 852<sup>nd</sup> CL, 853<sup>rd</sup> CL, 854<sup>th</sup> CL, 855<sup>th</sup> CL, 856<sup>th</sup> CL, 857<sup>th</sup> CL, 858<sup>th</sup> CL, 859<sup>th</sup> CL, 860<sup>th</sup> CL, 861<sup>st</sup> CL, 862<sup>nd</sup> CL, 863<sup>rd</sup> CL, 864<sup>th</sup> CL, 865<sup>th</sup> CL, 866<sup>th</sup> CL, 867<sup>th</sup> CL, 868<sup>th</sup> CL, 869<sup>th</sup> CL, 870<sup>th</sup> CL, 871<sup>st</sup> CL, 872<sup>nd</sup> CL, 873<sup>rd</sup> CL, 874<sup>th</sup> CL, 875<sup>th</sup> CL, 876<sup>th</sup> CL, 877<sup>th</sup> CL, 878<sup>th</sup> CL, 879<sup>th</sup> CL, 880<sup>th</sup> CL, 881<sup>st</sup> CL, 882<sup>nd</sup> CL, 883<sup>rd</sup> CL, 884<sup>th</sup> CL, 885<sup>th</sup> CL, 886<sup>th</sup> CL, 887<sup>th</sup> CL, 8