Advanced School in Artificial Intelligence

Introduction to Recurrent Neural Networks

Ing. Zese Riccardo

riccardo.zese@unife.it

Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

Regione Emilia-Romagna

FERRARIAE UNIVERSITAS · 13 91 · EX LABORE FRUCTUS

Università degli Studi di Ferrara

Outline

- Introduction to Python
- Introduction to Neural Networks
- Convolutional NN
- Recurrent NN
- Autoencoders and self supervised learning

Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

Outline

- Introduction to Python
- Introduction to Neural Networks
- Convolutional NN
- Recurrent NN
- Autoencoders and self supervised learning

Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

Recurrent Neural Network

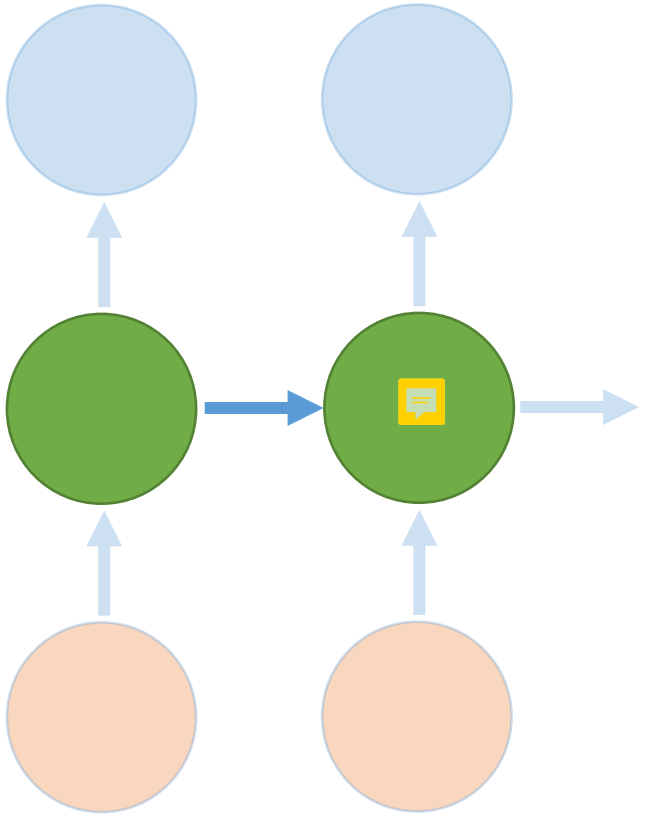
- **Recurrent neural networks** or RNNs are a family of neural networks for processing sequential data $x^{(1)}, \ldots, x^{(\tau)}$.
- They are developed in order to be able to scale to very long sequences, that would be impractical to be managed without sequence-based specialization.
- We could say that, as much CNNs are thought for managing grid of values, as much RNNs are designed for sequences.

Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

NN vs RNN

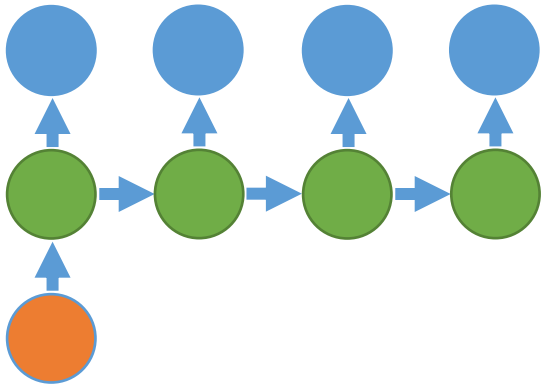
Vanilla NN

Vanilla RNN



Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

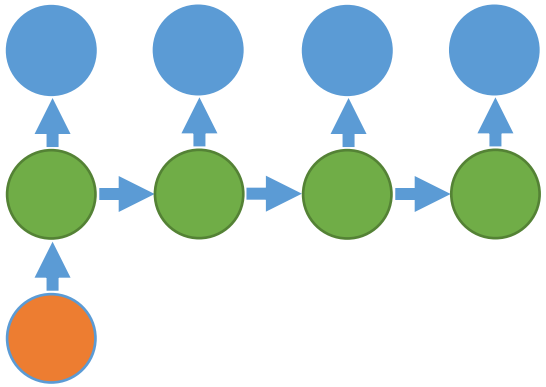
Many different types of RNNs



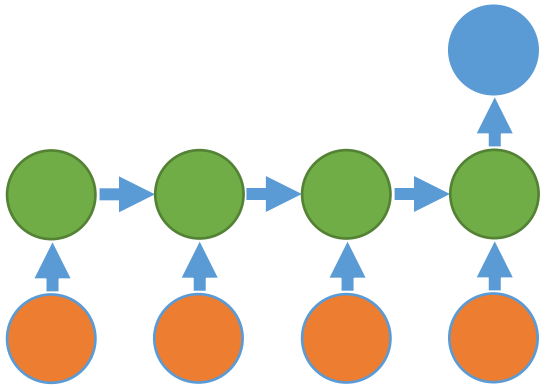
One to many

Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

Many different types of RNNs



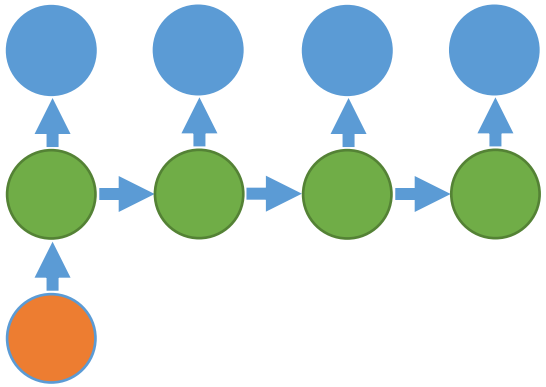
One to many



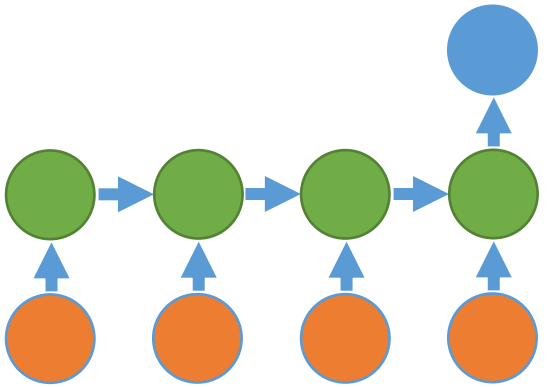
Many to one

Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

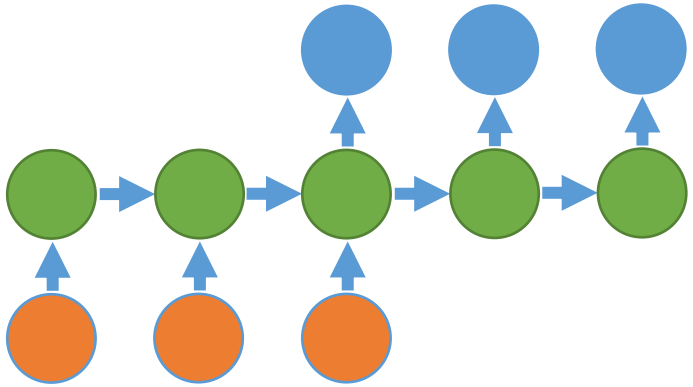
Many different types of RNNs



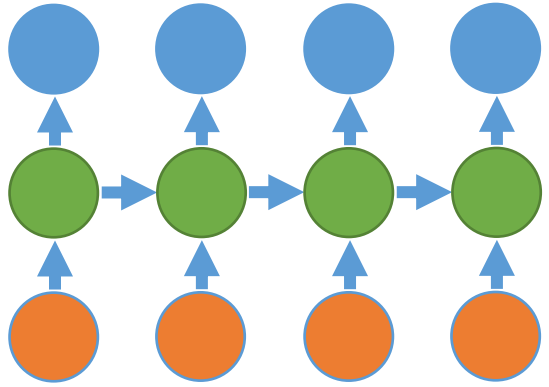
One to many



Many to one



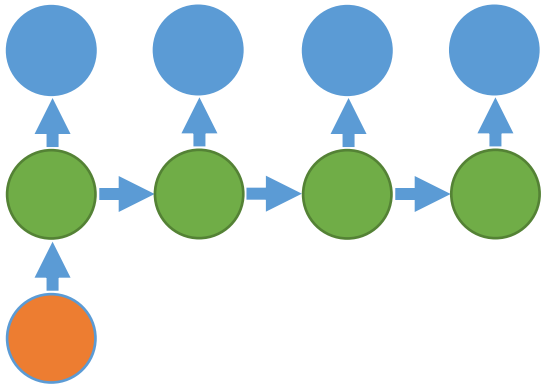
Many to many



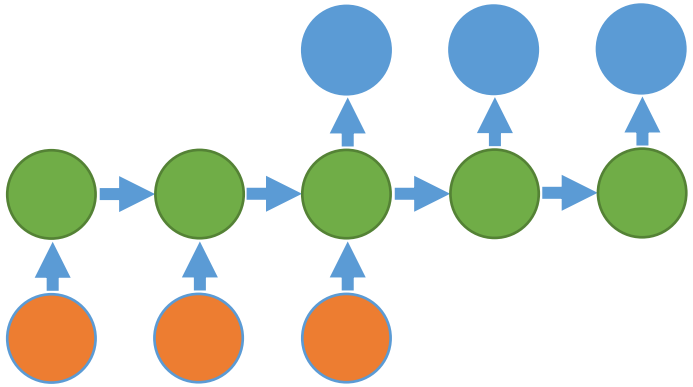
Many to many

Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

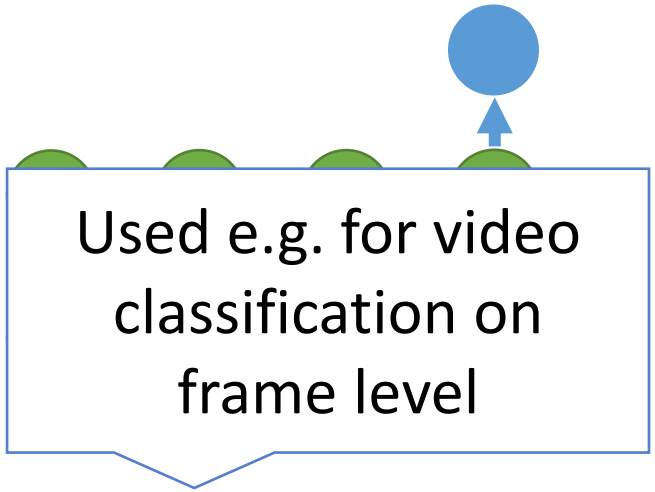
Many different types of RNNs

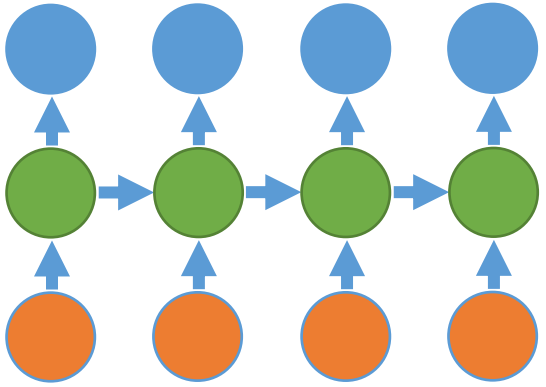


One to many



Many to many

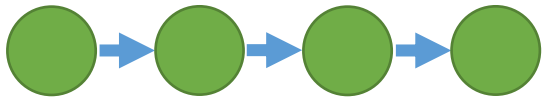




Many to many

Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

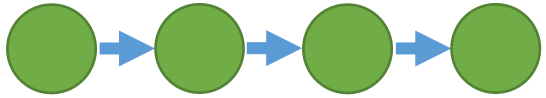
Many different types of RNNs



- Sharing parameters across different parts of a model. Parameter sharing makes it possible to extend and apply the model to examples of different forms (different lengths, here) and generalize across them.
- If we had separate parameters for each value of the time index, we could not generalize to sequence lengths not seen during training, nor share statistical strength across different sequence lengths and across different positions in time.
- Such sharing is particularly important when a specific piece of information can occur at multiple positions within the sequence.

Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

Many different types of RNNs

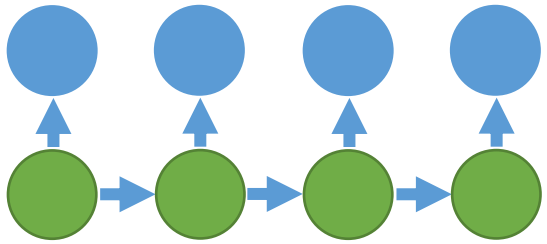


Classify images by taking a series of lines

- Sharing parameters across different parts of a model. Parameter sharing makes it possible to extend and apply the model to examples of different forms (different lengths, here) and generalize across them.
- If we had separate parameters for each value of the time index, we could not generalize to sequence lengths not seen during training, nor share statistical strength across different sequence lengths and across different positions in time.
- Such sharing is particularly important when a specific piece of information can occur at multiple positions within the sequence.

Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

Many different types of RNNs



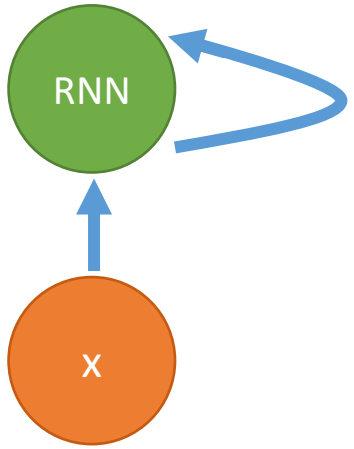
A recurrent neural network shares the same weights across several time steps.

Each member of the output is a function of the previous members of the output.
Each member of the output is produced using the same update rule applied to the previous outputs.

This recurrent formulation results in the sharing of parameters through a very deep computational graph.

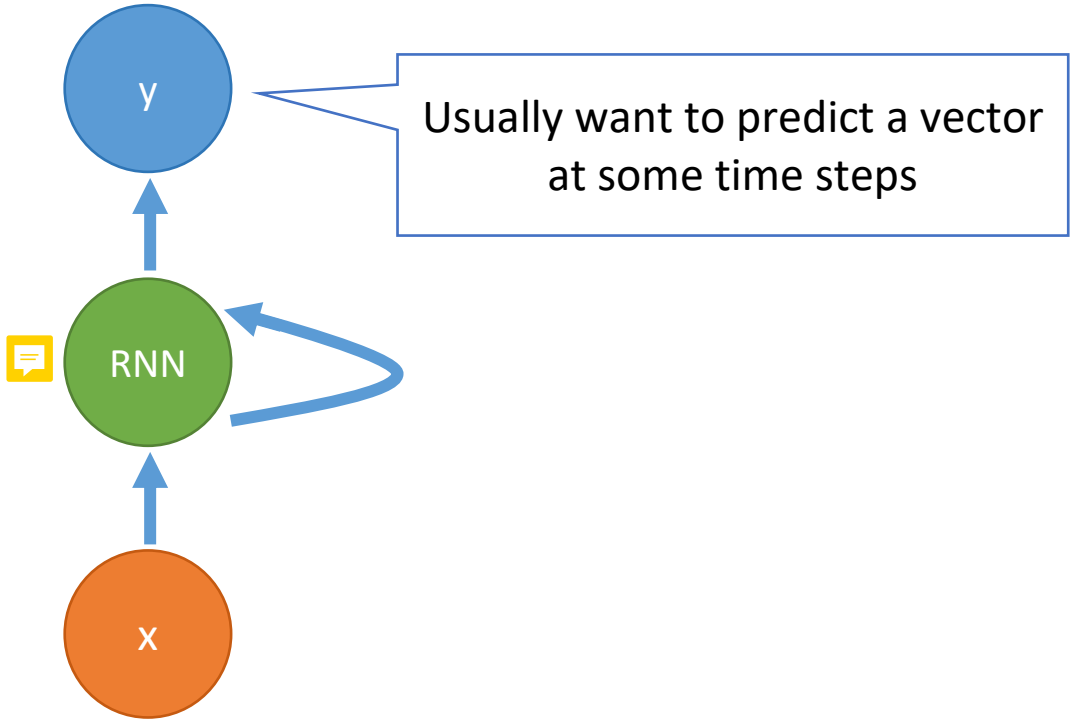
Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

Recurrent NN



Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

Recurrent NN



Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

Unfolding Recurrent NN

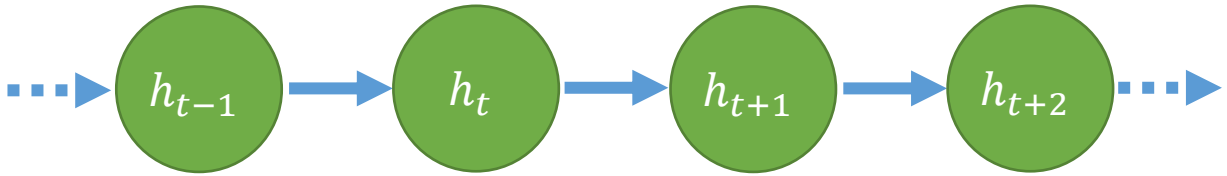
- We can process a sequence of vectors x by applying a **recurrence formula** at every time step:

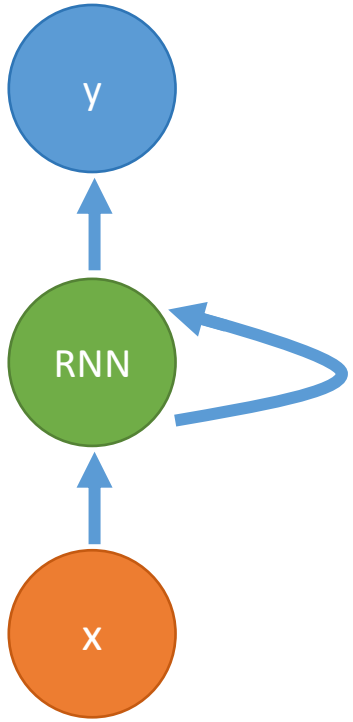
$$h_t = f_W(h_{t-1})$$

New state, often written as s_t

Some function with parameters W

Old state, often written as s_{t-1}





Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

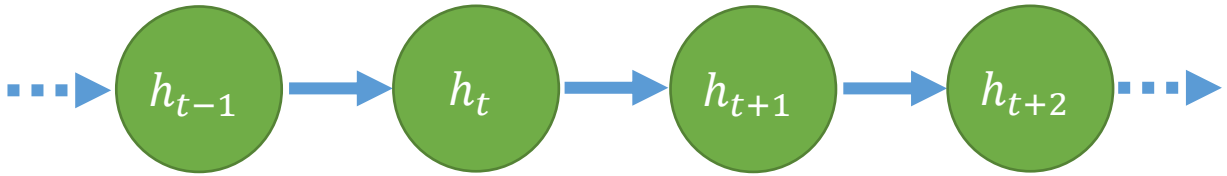
Unfolding Recurrent NN

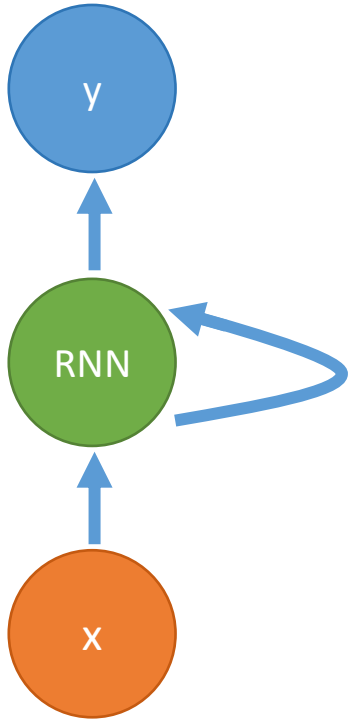
- We can process a sequence of vectors x by applying a **recurrence formula** at every time step:

$$h_t = f_W(h_{t-1})$$

The resulting expression is

$$h_t = f_W(h_{t-1}) = f_W(f_W(h_{t-2}))$$





Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

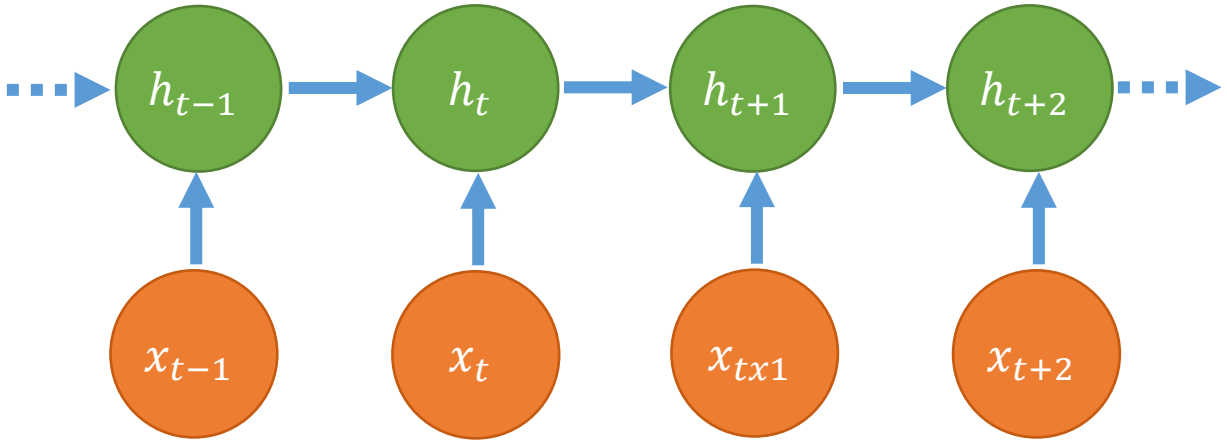
Unfolding Recurrent NN

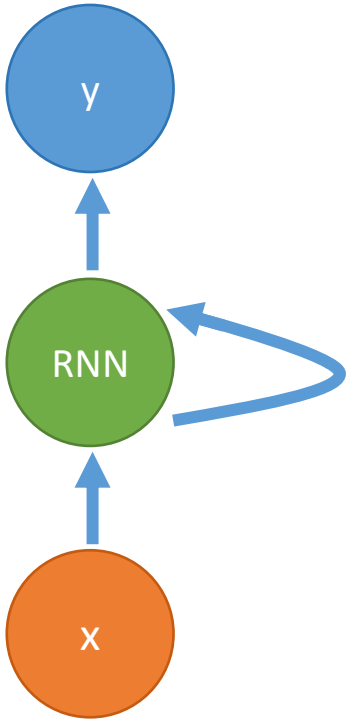
- We can process a sequence of vectors x by applying a **recurrence formula** at every time step:

$$h_t = f_W(h_{t-1}, x_t)$$

Typical RNNs will add extra architectural features such as output layers that read information out of the state h to make predictions.

Input vector at some time step





Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

Unfolding Recurrent NN

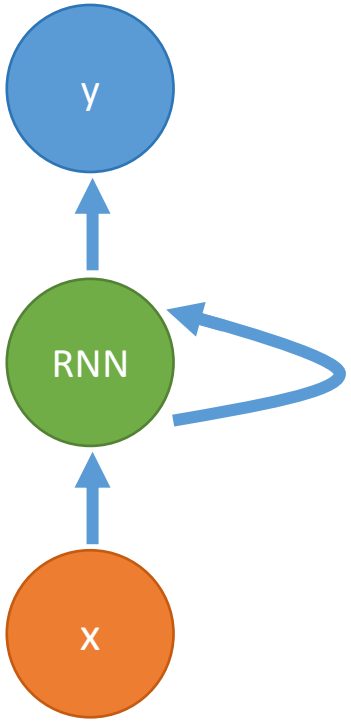
- We can process a sequence of vectors x by applying a **recurrence formula** at every time step:

$$h_t = f_W(h_{t-1}, x_t)$$

The resulting expression is

$$h_t = f_W(h_{t-1}, x_t) = f_W(f_W(h_{t-2}, x_{t-1}), x_t)$$
$$= g_t(x_t, x_{t-1}, x_{t-2}, \dots, x_2, x_1)$$

Here g_t is a function taking the whole past sequence as input and produces the current state

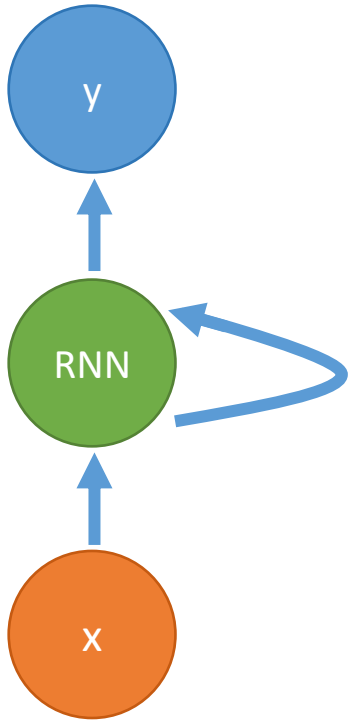


Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

Unfolding Recurrent NN

- Note that in both scenarios the same function and the same set of parameters are used at every time step!

$$h_t = f_W(h_{t-1}, x_t)$$



Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

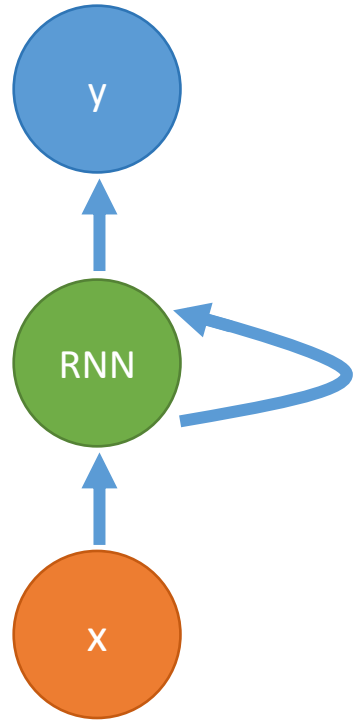
Vanilla Recurrent NN

$$h_t = f_W(h_{t-1}, x_t)$$

$$h_t = \tanh(W_{hh}h_{t-1} + W_{xh}x_t)$$

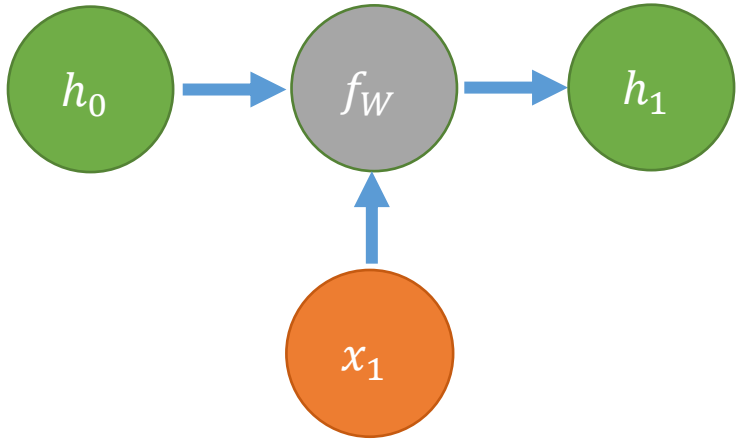
The state consists of a single "hidden" vector h

$$y_t = W_{hy}h_t$$



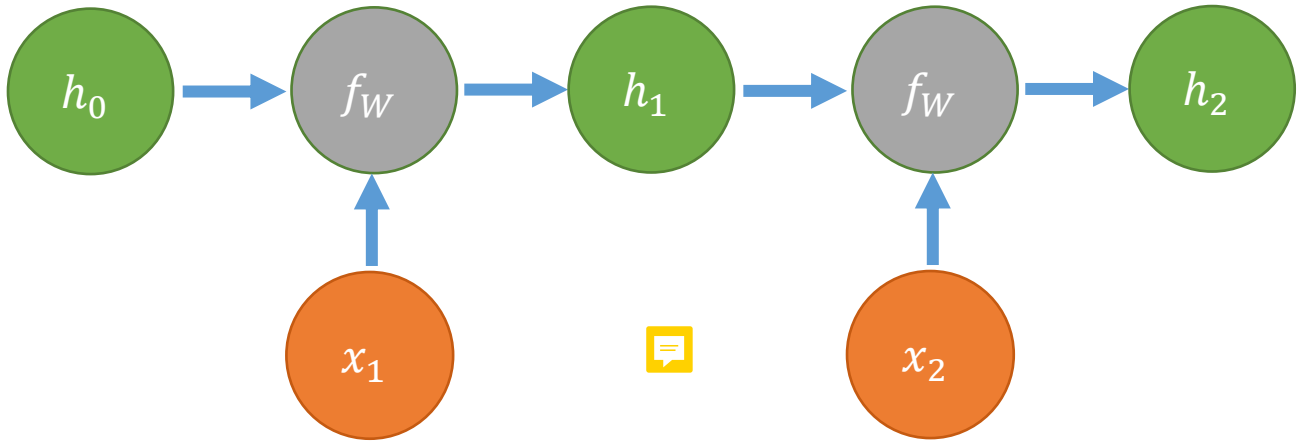
Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

RNN: Computational Graph



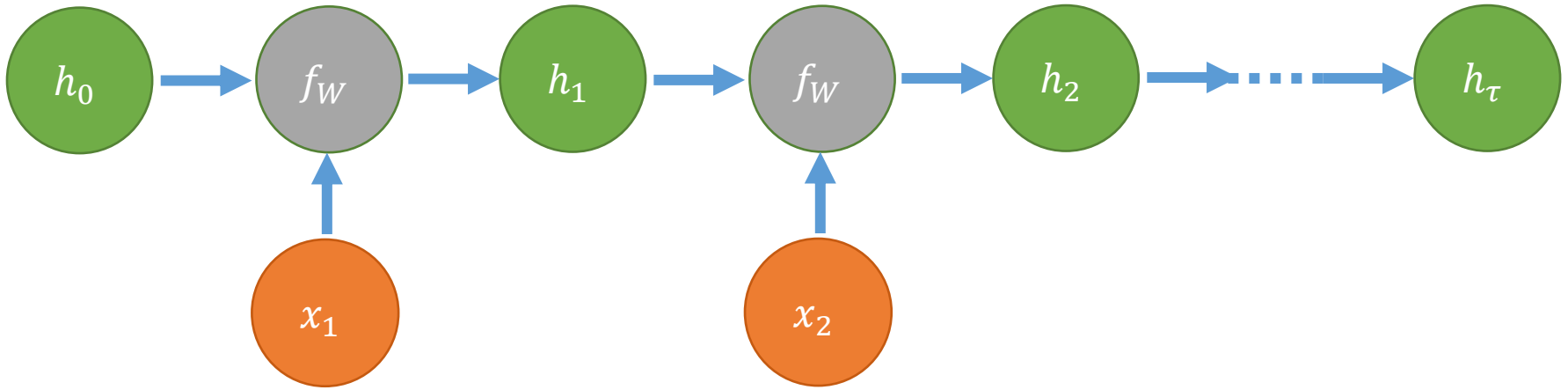
Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

RNN: Computational Graph



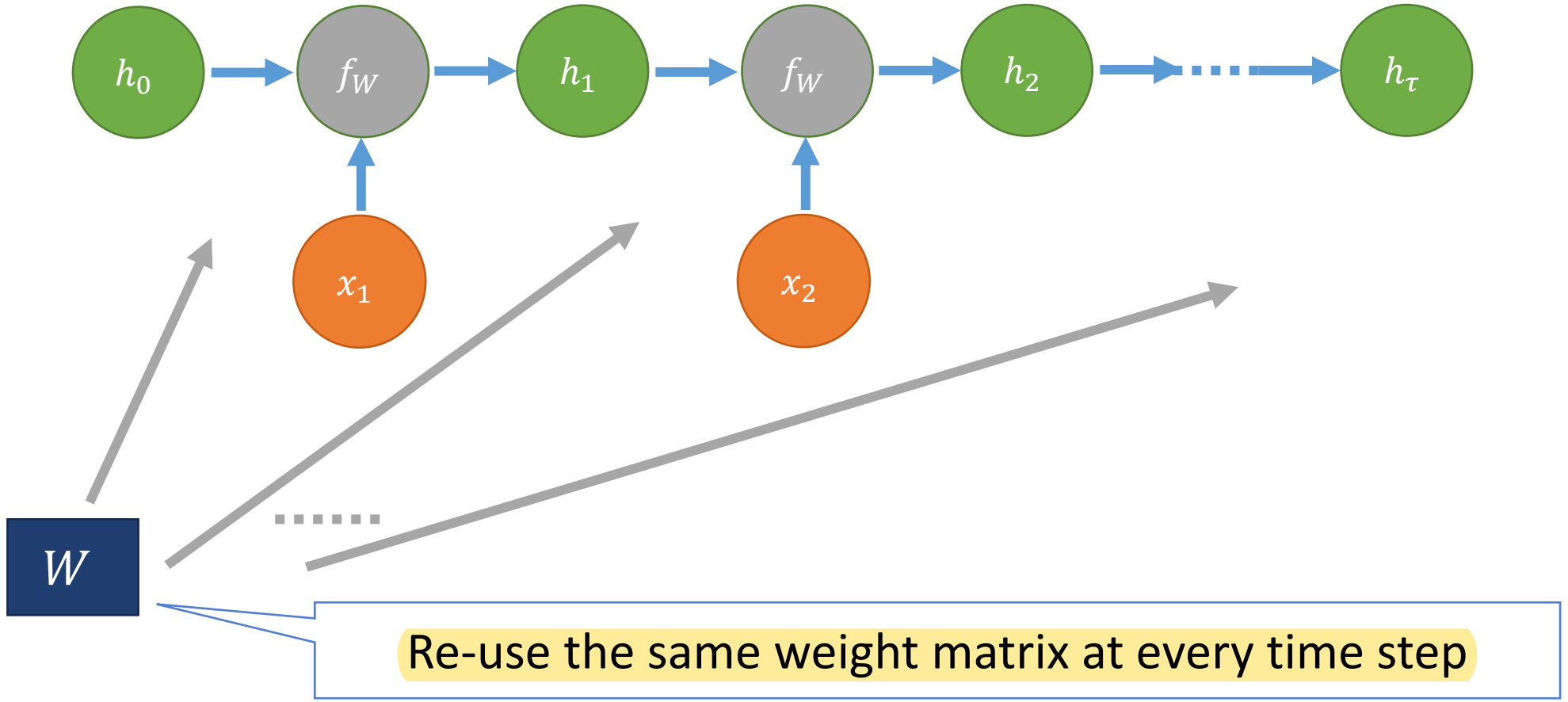
Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

RNN: Computational Graph



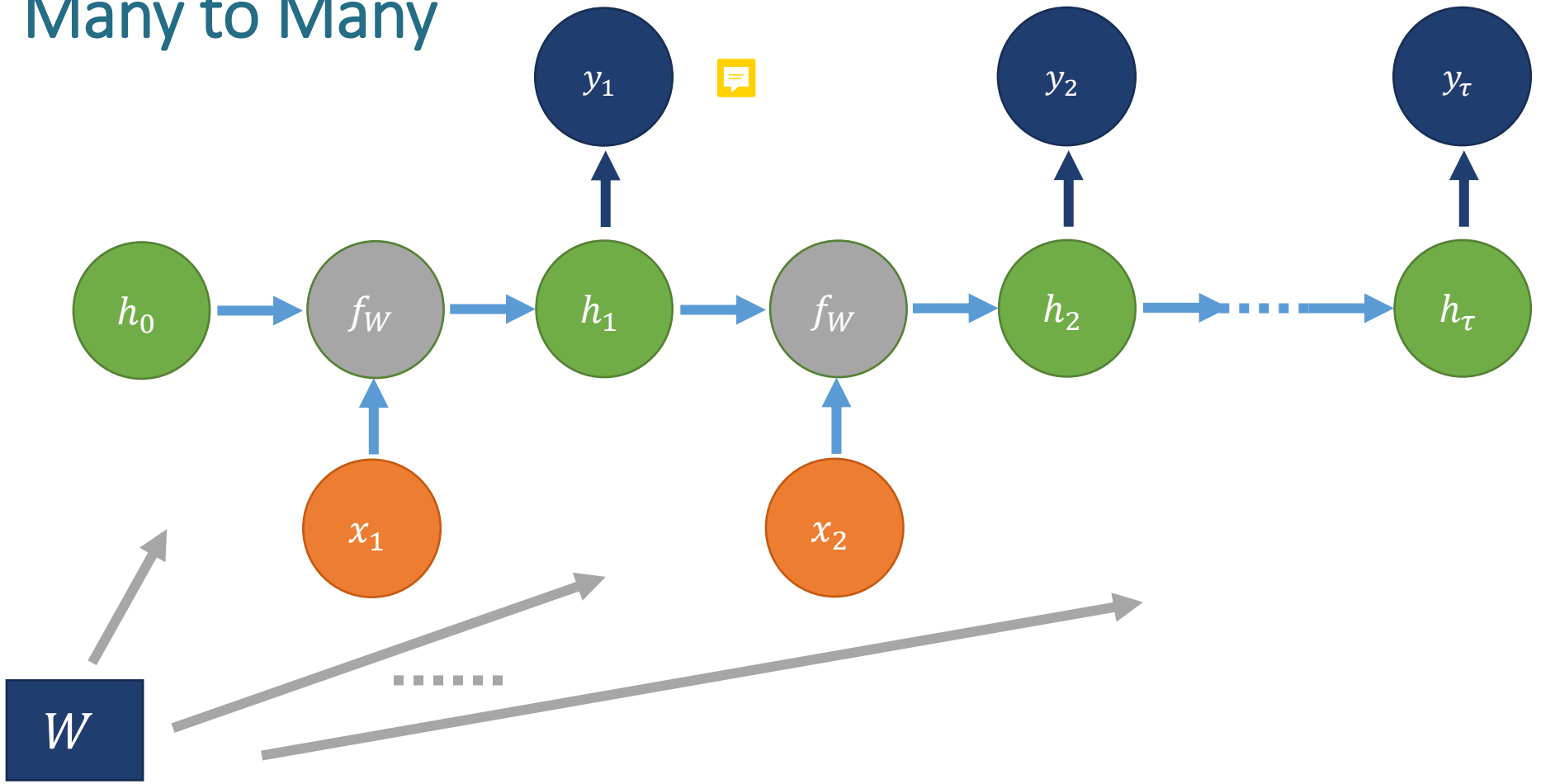
Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

RNN: Computational Graph



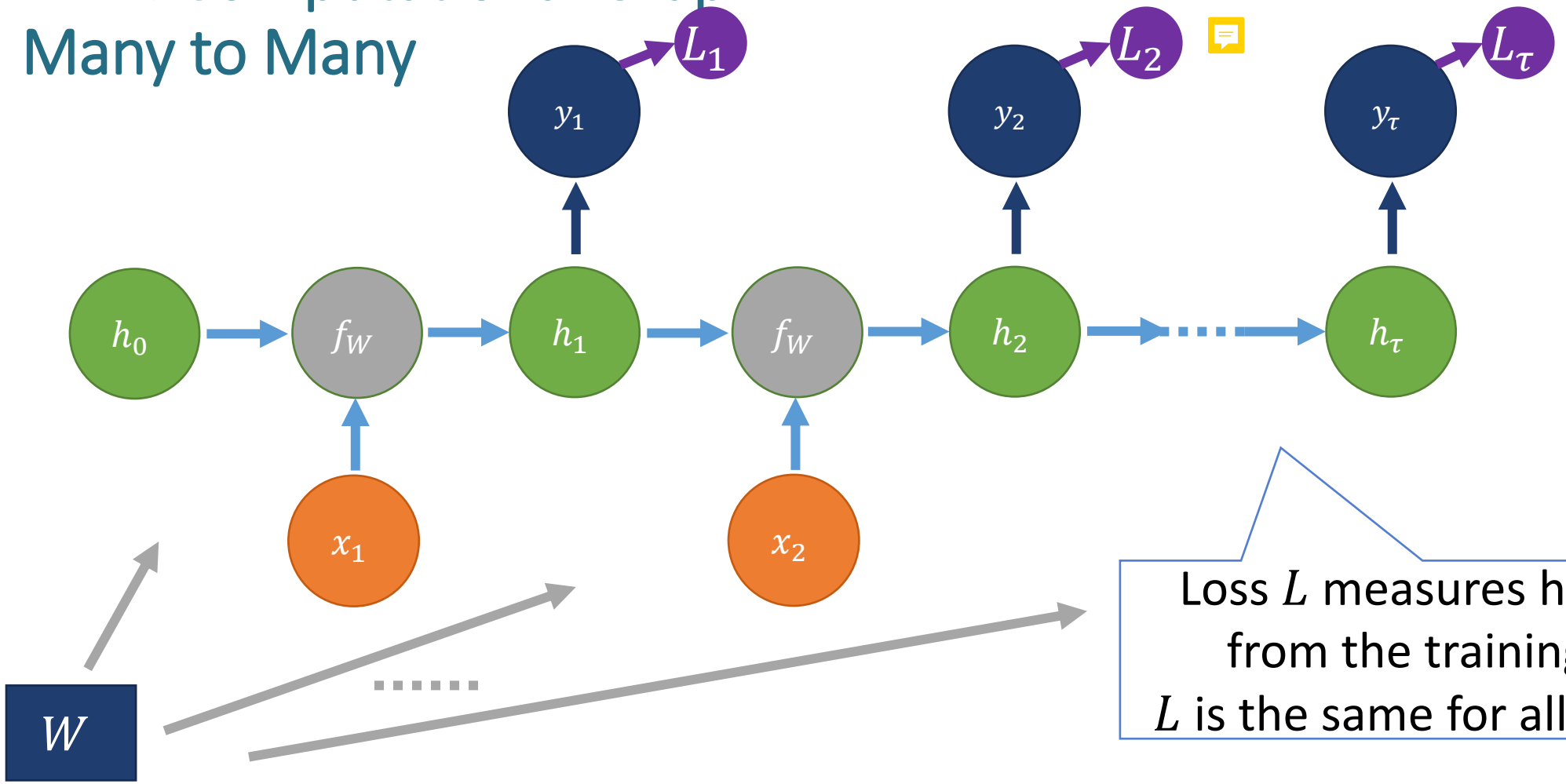
Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

RNN: Computational Graph Many to Many



Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

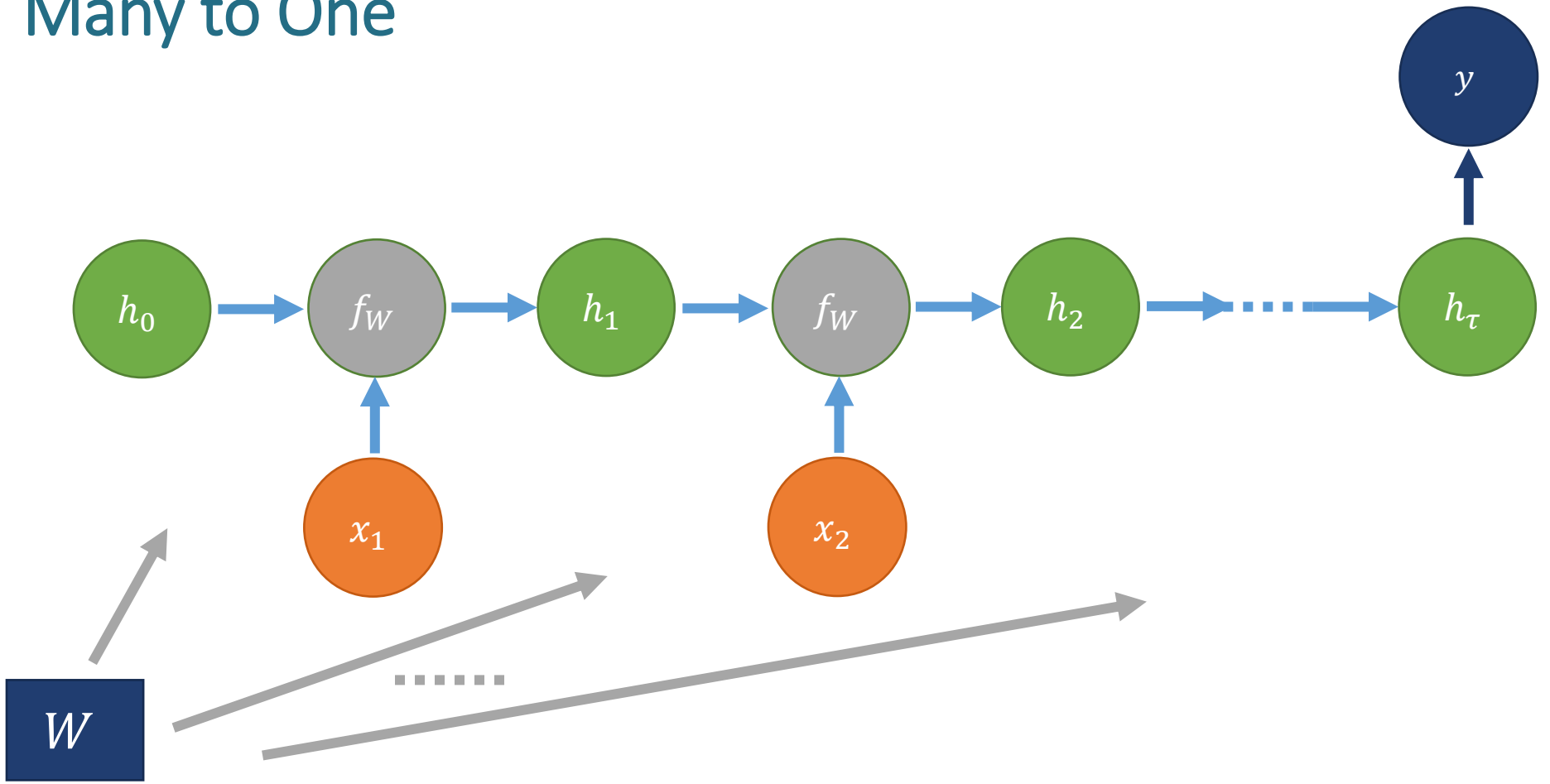
RNN: Computational Graph Many to Many



Loss L measures how far y is from the training target.
L is the same for all time steps.

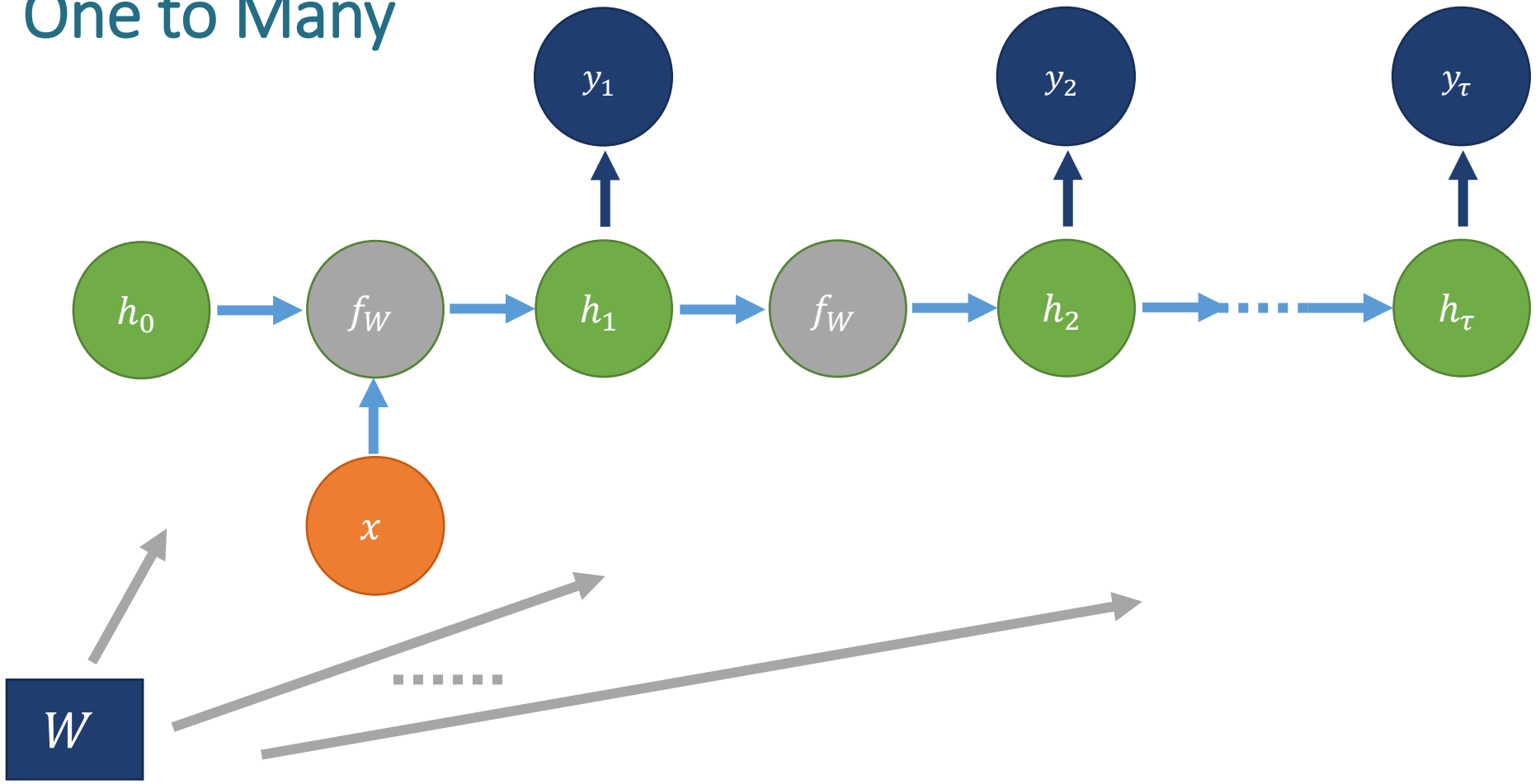
Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

RNN: Computational Graph
Many to One



Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021

RNN: Computational Graph
One to Many



Progetto di alta formazione in ambito tecnologico economico e culturale per una regione della conoscenza europea e attrattiva approvato e cofinanziato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione di Giunta regionale n. 1625/2021