



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI "FEDERICO II"  
SCUOLA POLITECNICA E DELLE SCIENZE DI BASE**

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (DICEA)

Corso di laurea magistrale in

**INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**

In collaborazione con:

**COLLEGE OF ARCHITECTURE AND ENVIRONMENT  
SICHUAN UNIVERSITY**



**PROCESSO DI INTEGRAZIONE FOTOCATALISI-  
ADSORBIMENTO DEL BLU DI METILENE  
MEDIANTE L'UTILIZZO DELLA ZEOLITE 4A**

DOCENTI:

Prof. Ing. Massimiliano Fabbicino  
Prof. Yao Chen

CANDIDATA:

Maria Teresa Russo



## OBIETTIVO DELLO STUDIO

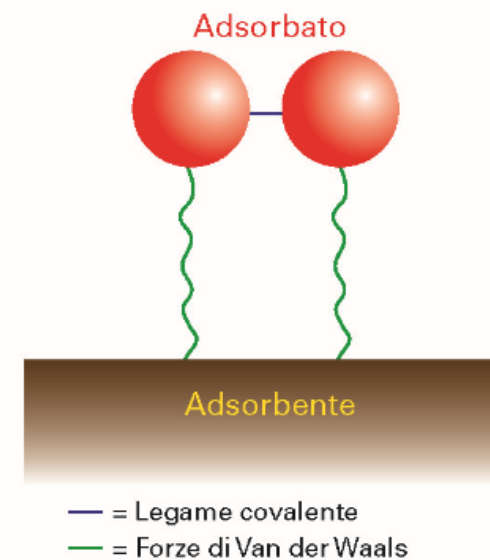
- Proporre **nuove soluzioni** per risolvere i problemi di inquinamento delle acque reflue industriali, riducendo le onerose operazioni computazionali, elevati periodi di reazione e costi monetari
- Per la zeolite e MB Studio sull'influenza di **vari parametri** di reazione dell'integrazione di adsorbimento-fotocatalisi
- Individuazione di un **modello cinetico**
- Verifica delle **prestazioni di integrazione** adsorbimento-fotocatalisi con il  $\text{TiO}_2$
- Verifica delle **prestazioni di integrazione** adsorbimento fotocatalisi per il **MO** ed il **RR2**
- **Discussione** sul meccanismo di rimozione del MB con la zeolite





# ADSORBIMENTO

- Trasporto per dispersione e avvezione all' interno della soluzione sul film,
  - Trasporto per diffusione all'interno del film liquido,
  - Trasporto per diffusione molecolare con il liquido all'interno dei pori e sulla superficie,
  - Adsorbimento nei siti attivi
- 
- L'adsorbimento può coinvolgere forze chimiche, elettrostatiche (scambio ionico) o forze di Van der Waals (fisico)

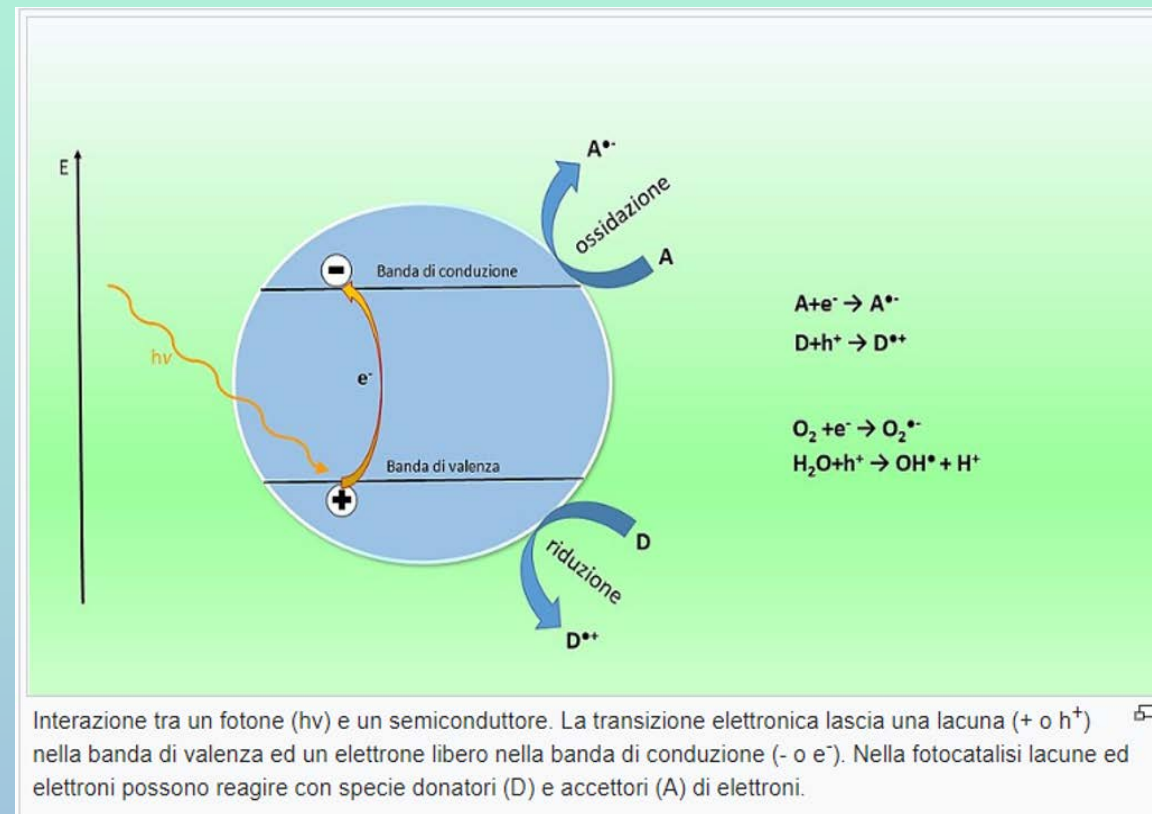




# FOTOCATALISI



- (AOPs) garantiscono la **completa mineralizzazione** anche dei **composti organici più refrattari e recalcitranti**
- Gli AOPs si basano su due fasi fondamentali: la **produzione di specie radicaliche a P e T amb** (in particolare  $\text{OH}^\bullet$  e superossido) e le reazioni di **ossidazione** di tali specie con gli inquinanti organici.
- processo di ossidazione omogenea o eterogenea che necessita di catalizzatore e di luce di attivazione
- Vengono utilizzati i semiconduttori, attivati dall'irraggiamento, e formano elettroni, lacune, radicali reagendo con acqua, ossigeno, inquinanti





# FOTOCATALIZZATORI (1)



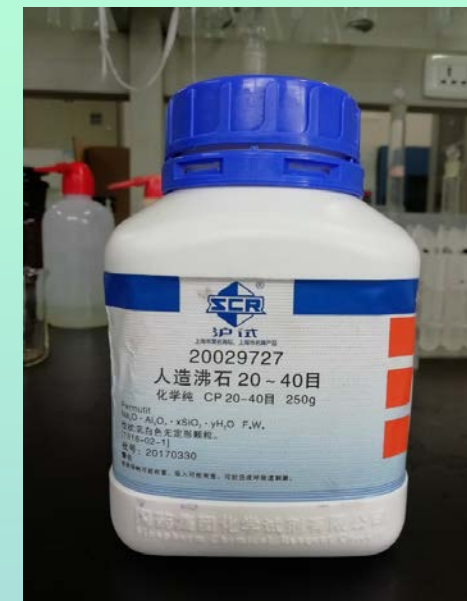
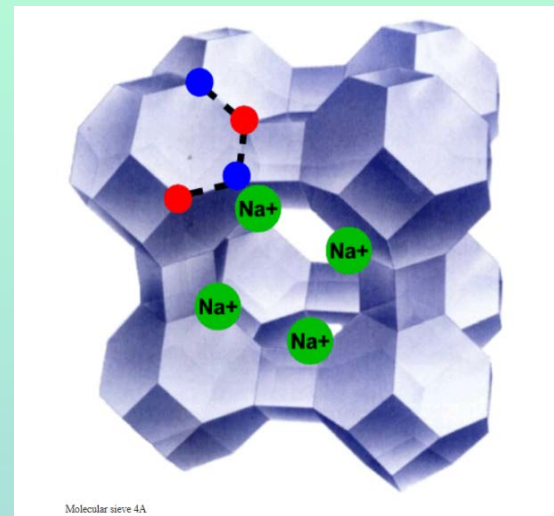
ZEOLITE 4 A     $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$

TECTOSILICATI

FELDSPATI

FELDSPATOIDI

ZEOLITI



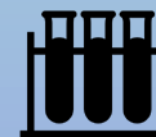
Insiemi di tetraedri poco compatti, (unità primarie), al cui centro sono presenti gli atomi di silicio o di alluminio. I vertici sono atomi di ossigeno (ponte tra le diverse unità).

Zeolite 4 A (Si/Al unitario), sodica  
8 gabbie beta  
formano la gabbia alfa

Vicarianza o sostituzione isomorfa

Shape selectivity (micropori 0,42 nm)  
(coloranti 1 nm, adsorbimento fisico)

Estese superfici interne, siti attivi e carica netta superficiale (comportamento simile al  $\text{TiO}_2$ )



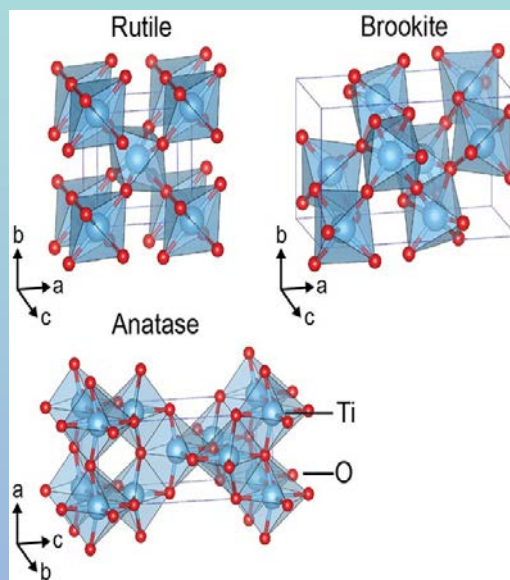
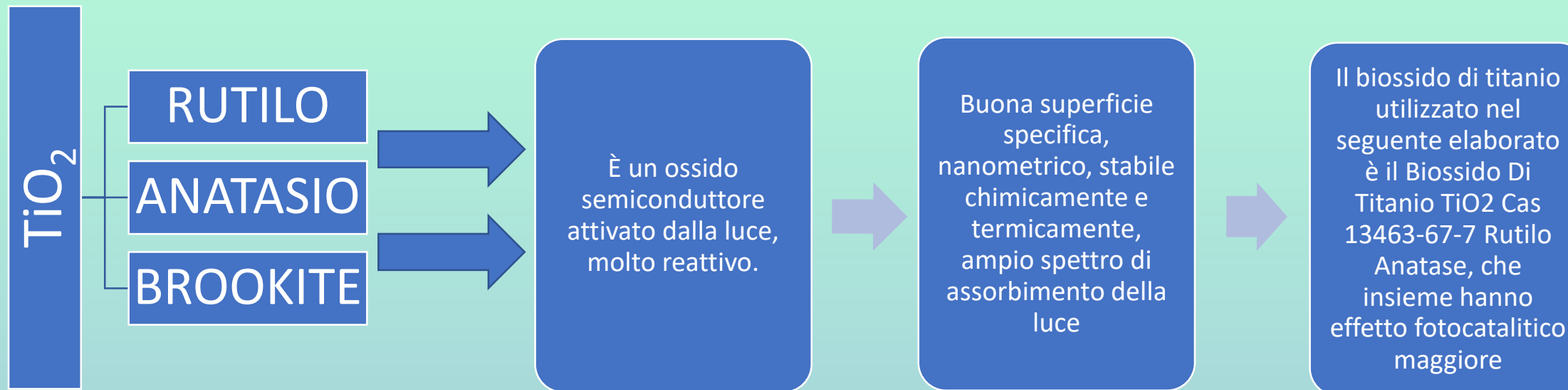




# FOTOCATALIZZATORI (2)



## BIOSSIDO DI TITANIO $\text{TiO}_2$





# COLORANTI



- reagendo con i radicali  $\text{OH}^\bullet$ , vengono decolorati e tale decolorazione può essere seguita nel tempo tramite analisi spettrofotometriche e visivamente
- i coloranti si trovano sempre nelle acque di scarico provenienti da industrie tessili
- coloranti azoici (uno o più doppi legami N-N: quando si ha la decolorazione, si ha la rottura del gruppo cromoforo  $\text{R-N=N-R}$ )



BLU DI METILENE  $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{ClN}_3\text{S}$

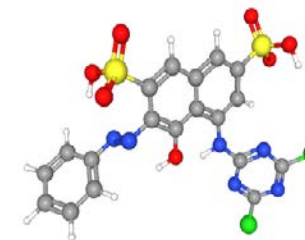
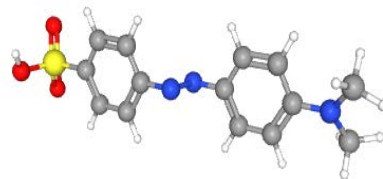
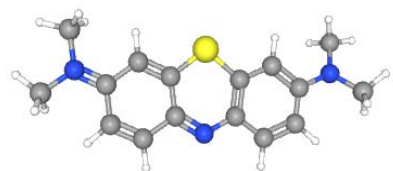
picco di assorbimento alla  
lunghezza d'onda di 664 nm

METILARANCIO  $\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{NaO}_3\text{S}$

picco di assorbimento alla  
lunghezza d'onda di 462 nm

REATTIVO ROSSO 2

picco di assorbimento alla  
lunghezza d'onda di 538 nm





# PIANO SPERIMENTALE



Per risalire alla concentrazione posso utilizzare:

- Metodo diretto  $A = \varepsilon \times b \times C$
- Metodo della retta di lavoro  $\frac{x \cdot 250}{y} = \text{ml}$



## Blu di metilene

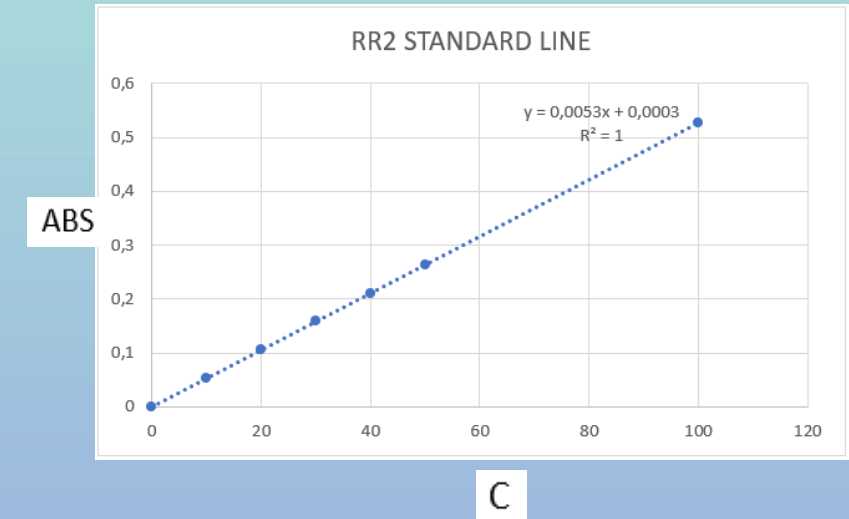
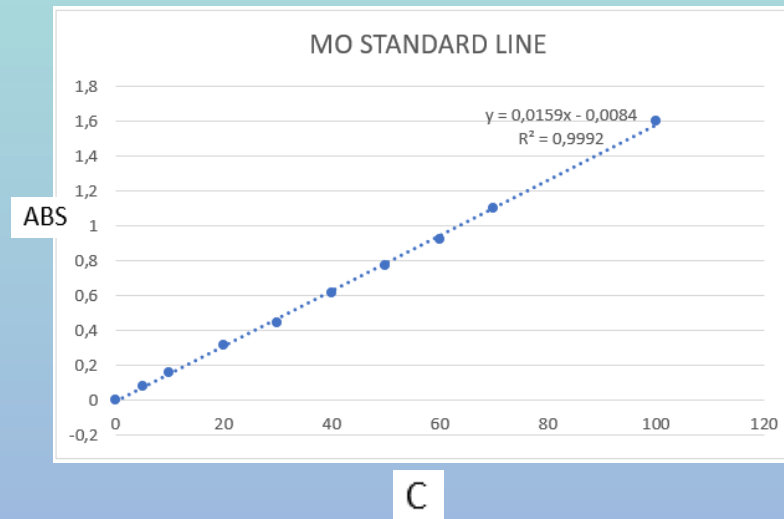
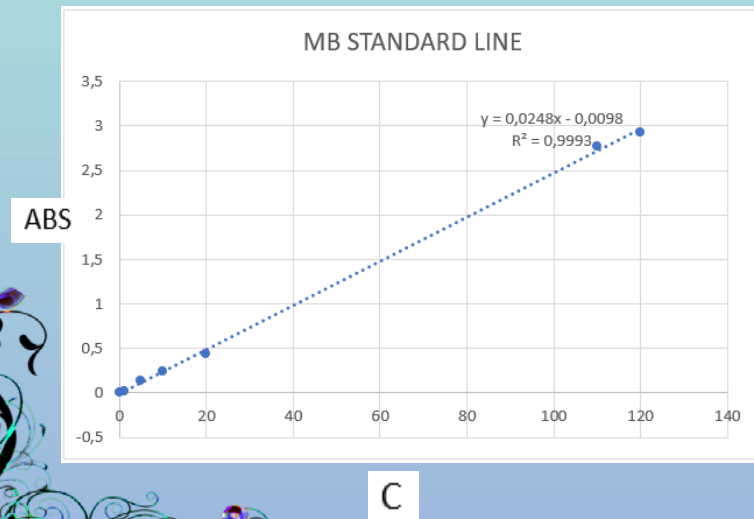
| MB | C [mg/L] | Abs   |
|----|----------|-------|
|    | 0        | 0     |
|    | 1        | 0,02  |
|    | 5        | 0,137 |
|    | 10       | 0,242 |
|    | 20       | 0,433 |
|    | 110      | 2,767 |
|    | 120      | 2,927 |

## Arancia di metile

| MO | C [mg/l] | Abs   |
|----|----------|-------|
|    | 0        | 0     |
|    | 5        | 0,083 |
|    | 10       | 0,156 |
|    | 20       | 0,318 |
|    | 30       | 0,444 |
|    | 40       | 0,619 |
|    | 50       | 0,775 |
|    | 60       | 0,926 |
|    | 70       | 1,101 |
|    | 100      | 1,6   |

## Reattivo rosso 2

| RR2 | C [mg/l] | Ads   |
|-----|----------|-------|
|     | 0        | 0     |
|     | 10       | 0,053 |
|     | 20       | 0,106 |
|     | 30       | 0,159 |
|     | 40       | 0,21  |
|     | 50       | 0,264 |
|     | 100      | 0,527 |







# PIANO SPERIMENTALE



Sono stati condotti tre gruppi di esperimenti:

- Semplice adsorbimento A
- Contemporaneo adsorbimento e fotocatalisi A+F, AP
- Fotocatalisi dopo il raggiungimento dell'equilibrio A->F, IOAP

## CATALIZZATORI

10 g/l, 5 g/l, 2 g/l, 1 g/l, 0,4 g/l, 0,1 g/l

## COLORANTI

500 mg/l, 200 mg/l, 150 mg/l, 100 mg/l, 50 mg/l, 20 mg/l, 10 mg/l

Inserite in un becher da 50 ml con il materiale adsorbente/fotocatalitico

Miscelate a 150 rpm e 20 °C (e luce da lampada xeno 300-2500 nm, 25 A, per la fotocatalisi UV, visibile, solare)

## TEMPI

20 min, 30 min, 40 min, 60 min, 80 min, 90 min, 100 min, 130 min

Prelievo a diversi tempi e Filtrazione con carta 0,22 µm

Calcolata la concentrazione in funzione della retta di calibrazione

Inserite nella cuvetta e nello spettrofotometro

Inserire 10 ml nel tubo da 25 ml (perché è la retta di calibrazione)

Calcolata la percentuale di rimozione attraverso:

$$\frac{(C_0 - C)}{C_0} * 100$$





# 150 mg/l MB, 2 g/l Zeolite



## Adsorbimento

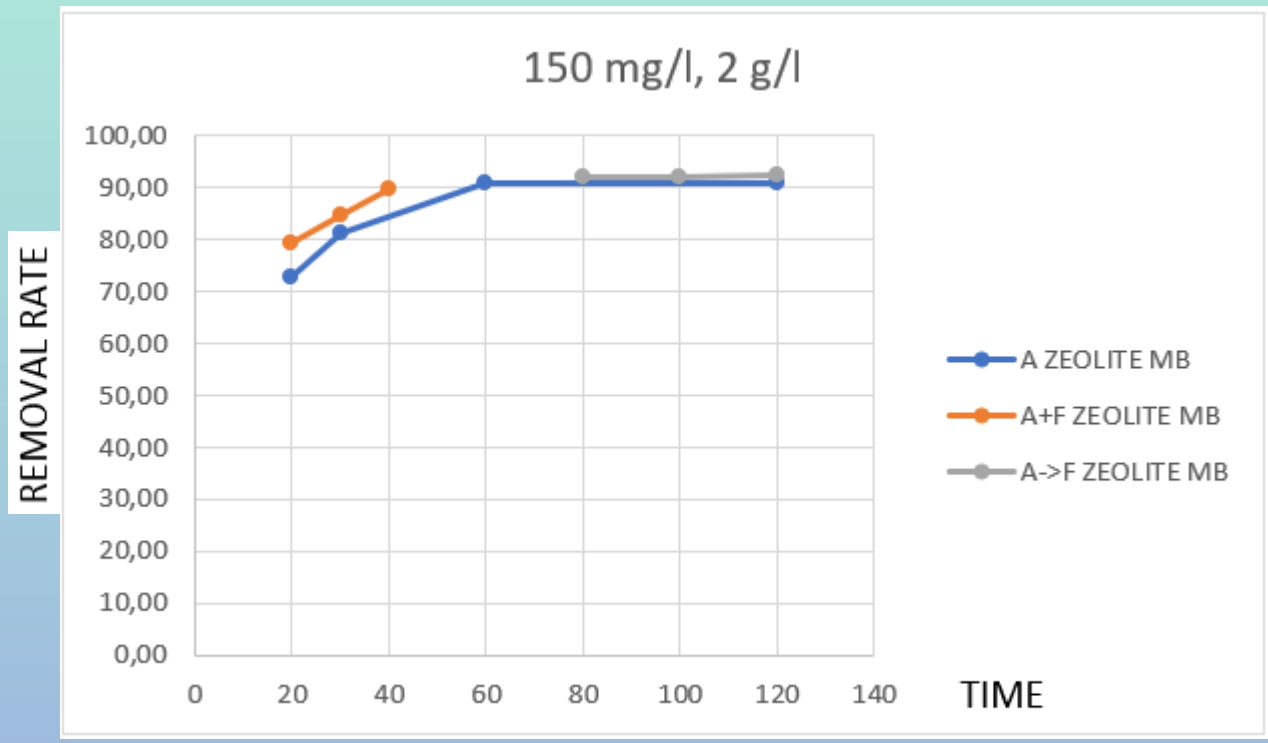
| C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Ass  | C*coeff | %     |
|-------------|---------------|------------|------|---------|-------|
| 150         | 2             | 20         | 1,00 | 40,60   | 72,94 |
| 150         | 2             | 30         | 0,69 | 28,22   | 81,19 |
| 150         | 2             | 60         | 0,34 | 13,90   | 90,73 |
| 150         | 2             | 120        | 0,33 | 13,80   | 90,80 |

## Contemporaneo Adsorbimento e fotocatalisi

| C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass  | C*coeff | %     | $\Delta(A,A+F)$ |
|-------------|---------------|------------|------------|------|---------|-------|-----------------|
| 150         | 2             | 20         | sunlight   | 0,76 | 30,92   | 79,39 | 6,45            |
| 150         | 2             | 30         | sunlight   | 0,56 | 22,98   | 84,68 | 3,49            |
| 150         | 2             | 40         | sunlight   | 0,38 | 15,64   | 89,58 |                 |

## Fotocatalisi post equilibrio di adsorbimento

| C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass   | C*coeff | %     | $\Delta(A,A->F)$ |
|-------------|---------------|------------|------------|-------|---------|-------|------------------|
| 150         | 2             | 80         | sunlight   | 0,289 | 12,05   | 91,97 | 1,17             |
| 150         | 2             | 100        | sunlight   | 0,287 | 11,97   | 92,02 | 1,22             |
| 150         | 2             | 120        | sunlight   | 0,274 | 11,44   | 92,37 | 1,57             |
| 13,8        | 2             | 20         | sunlight   | 0,289 | 12,05   | 12,69 | 12,69            |
| 13,8        | 2             | 40         | sunlight   | 0,287 | 11,97   | 13,28 | 13,28            |
| 13,8        | 2             | 60         | sunlight   | 0,274 | 11,44   | 17,08 | 17,08            |





100 mg/l MB, 1 g/l



Adsorbimento

| C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Ass  | C*coeff | %     |
|-------------|---------------|------------|------|---------|-------|
| 100         | 1             | 20         | 1,09 | 44,15   | 55,85 |
| 100         | 1             | 30         | 1,00 | 40,52   | 59,48 |
| 100         | 1             | 40         | 0,88 | 35,76   | 64,24 |
| 100         | 1             | 60         | 0,67 | 27,41   | 72,59 |
| 100         | 1             | 90         | 0,66 | 26,97   | 73,03 |
| 100         | 1             | 130        | 0,66 | 26,90   | 73,10 |

| C in [mg/l] | TiO2 [g/l] | Time [min] | Ass  | C*coeff | %    |
|-------------|------------|------------|------|---------|------|
| 100         | 1          | 20         | 2,39 | 96,60   | 3,40 |
| 100         | 1          | 30         | 2,37 | 96,04   | 3,96 |
| 100         | 1          | 40         | 1,18 | 96,11   | 3,89 |
| 100         | 1          | 80         | 1,18 | 96,05   | 3,95 |





# 100 mg/l MB, 1 g/l



## Contemporaneo Adsorbimento e fotocatalisi

| C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass  | C*coeff | %     | $\Delta(A,A+F)$ |
|-------------|---------------|------------|------------|------|---------|-------|-----------------|
| 100         | 1             | 20         | visible    | 0,92 | 37,29   | 62,71 | 6,85            |
| 100         | 1             | 30         | visible    | 0,82 | 33,62   | 66,38 | 6,90            |
| 100         | 1             | 40         | visible    | 0,75 | 30,52   | 69,48 | 5,24            |
| 100         | 1             | 60         | visible    | 0,66 | 27,01   | 72,99 | 0,40            |

| C in [mg/l] | TiO <sub>2</sub> [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass  | C*coeff | %     | $\Delta(A,A+F)$ |
|-------------|------------------------|------------|------------|------|---------|-------|-----------------|
| 100         | 1                      | 20         | UV         | 2,24 | 90,88   | 9,12  | 5,73            |
| 100         | 1                      | 30         | UV         | 2,20 | 89,06   | 10,94 | 6,98            |
| 100         | 1                      | 40         | UV         | 2,13 | 86,08   | 13,92 | 10,03           |





# 100 mg/l MB, 1 g/l



Fotocatalisi post equilibrio di adsorbimento

| C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass   | C*coeff | %     | $\Delta(A, A+F)$ |
|-------------|---------------|------------|------------|-------|---------|-------|------------------|
| 100         | 1             | 110        | visible    | 0,578 | 23,70   | 76,30 | 3,20             |
| 100         | 1             | 120        | visible    | 0,572 | 23,46   | 76,54 | 3,44             |
| 100         | 1             | 130        | visible    | 0,527 | 21,65   | 78,35 | 5,25             |
| 26,9        | 1             | 20         | sunlight   | 0,578 | 23,70   | 11,89 | 15,72            |
| 26,9        | 1             | 30         | sunlight   | 0,572 | 23,46   | 12,79 | 25,10            |
| 26,9        | 1             | 40         | sunlight   | 0,527 | 21,65   | 19,53 | 29,78            |

| C in [mg/l] | TiO <sub>2</sub> [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass   | C*coeff | %     | $\Delta(A, A \rightarrow F)$ |
|-------------|------------------------|------------|------------|-------|---------|-------|------------------------------|
| 100         | 1                      | 60         | visible    | 1,054 | 85,79   | 14,21 | 10,26                        |
| 100         | 1                      | 70         | visible    | 1,044 | 84,98   | 15,02 | 11,07                        |
| 100         | 1                      | 80         | visible    | 1,012 | 82,40   | 17,60 | 13,65                        |
| 96,05       | 1                      | 20         | visible    | 1,054 | 85,79   | 10,68 | 10,68                        |
| 96,05       | 1                      | 30         | visible    | 1,044 | 84,98   | 11,52 | 11,52                        |
| 96,05       | 1                      | 40         | visible    | 1,012 | 82,40   | 14,21 | 14,21                        |







## Adsorbimento

### MO

| C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Ass  | C*coeff | %    |
|-------------|---------------|------------|------|---------|------|
| 100         | 1             | 20         | 1,53 | 96,75   | 3,25 |
| 100         | 1             | 30         | 1,50 | 94,87   | 5,13 |
| 100         | 1             | 40         | 1,48 | 93,86   | 6,14 |

| C in [mg/l] | TiO <sub>2</sub> [g/l] | Time [min] | Ass  | C*coeff | %    |
|-------------|------------------------|------------|------|---------|------|
| 100         | 1                      | 20         | 1,52 | 95,81   | 4,19 |
| 100         | 1                      | 30         | 1,47 | 93,23   | 6,77 |
| 100         | 1                      | 40         | 1,49 | 94,18   | 5,82 |
| 100         | 1                      | 80         | 1,49 | 94,15   | 5,85 |

### RR2

| C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Ass  | C*coeff | %    |
|-------------|---------------|------------|------|---------|------|
| 100         | 1             | 20         | 0,53 | 99,49   | 0,51 |
| 100         | 1             | 30         | 0,52 | 98,81   | 1,19 |
| 100         | 1             | 40         | 0,52 | 98,74   | 1,26 |

| C in [mg/l] | TiO <sub>2</sub> [g/l] | Time [min] | Ass  | C*coeff | %    |
|-------------|------------------------|------------|------|---------|------|
| 100         | 1                      | 20         | 0,53 | 100,81  | 0,00 |
| 100         | 1                      | 30         | 0,52 | 98,36   | 1,64 |
| 100         | 1                      | 40         | 0,53 | 99,87   | 0,13 |
| 100         | 1                      | 80         | 0,53 | 99,84   | 0,16 |

# 100 mg/l MO, RR2, 1 g/l

## Contemporaneo Adsorbimento e fotocatalisi

| C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass  | C*coeff | %    | Δ(A,A+F) |
|-------------|---------------|------------|------------|------|---------|------|----------|
| 100         | 1             | 20         | UV         | 1,51 | 95,75   | 4,25 | 1,01     |
| 100         | 1             | 30         | UV         | 1,49 | 93,92   | 6,08 | 0,94     |
| 100         | 1             | 40         | UV         | 1,47 | 92,67   | 7,33 | 1,19     |

| C in [mg/l] | TiO <sub>2</sub> [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass  | C*coeff | %    | Δ(A,A+F) |
|-------------|------------------------|------------|------------|------|---------|------|----------|
| 100         | 1                      | 20         | UV         | 1,48 | 93,55   | 6,45 | 2,26     |
| 100         | 1                      | 30         | UV         | 1,47 | 92,67   | 7,33 | 0,57     |
| 100         | 1                      | 40         | UV         | 1,46 | 92,23   | 7,77 | 1,95     |

| C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass  | C*coeff | %    | Δ(A,A+F) |
|-------------|---------------|------------|------------|------|---------|------|----------|
| 100         | 1             | 20         | UV         | 0,53 | 99,49   | 0,51 | 0,00     |
| 100         | 1             | 30         | UV         | 0,51 | 96,17   | 3,83 | 2,64     |
| 100         | 1             | 40         | UV         | 0,50 | 94,40   | 5,60 | 4,34     |

| C in [mg/l] | TiO <sub>2</sub> [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass  | C*coeff | %     | Δ(A,A+F) |
|-------------|------------------------|------------|------------|------|---------|-------|----------|
| 100         | 1                      | 20         | UV         | 0,48 | 90,62   | 9,38  | 9,38     |
| 100         | 1                      | 30         | UV         | 0,44 | 82,89   | 17,11 | 15,47    |
| 100         | 1                      | 40         | UV         | 0,39 | 73,83   | 26,17 | 26,04    |

## Fotocatalisi post equilibrio di adsorbimento

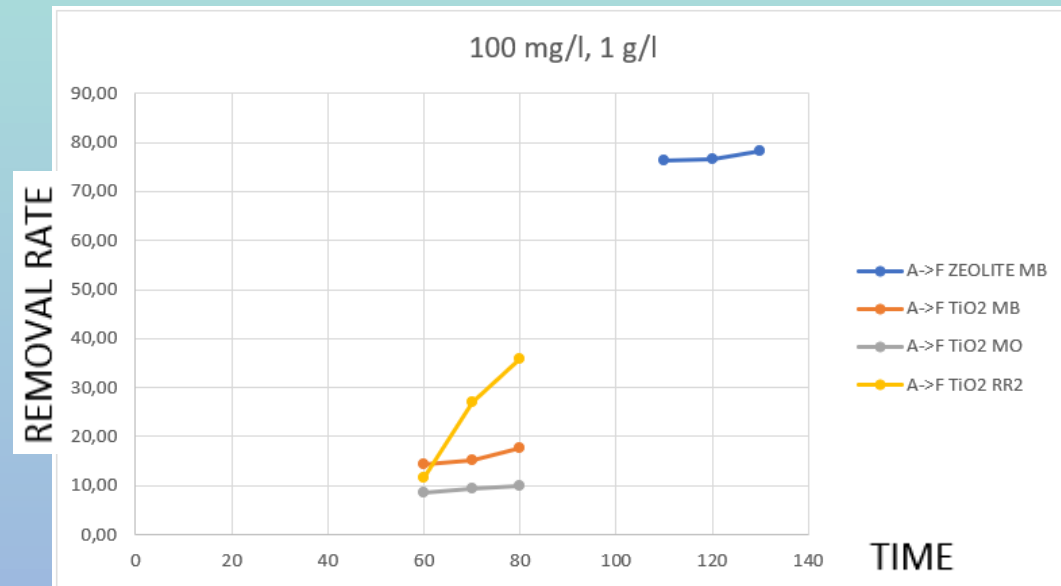
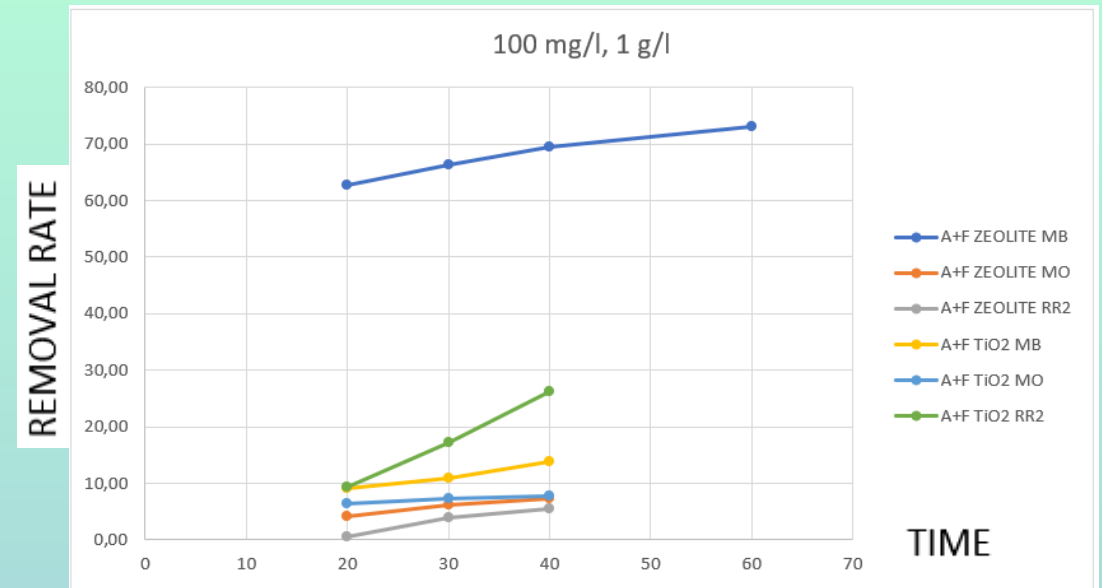
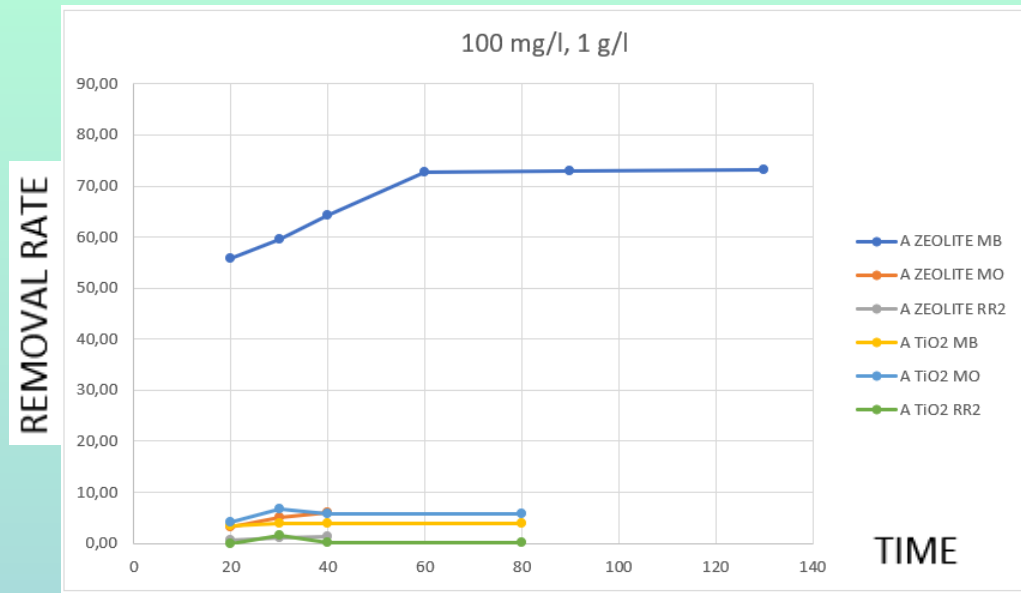
| C in [mg/l] | TiO <sub>2</sub> [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass   | C*coeff | %     | Δ(A,A->F) |
|-------------|------------------------|------------|------------|-------|---------|-------|-----------|
| 100         | 1                      | 60         | UV         | 1,445 | 91,41   | 8,59  | 2,74      |
| 100         | 1                      | 70         | UV         | 1,434 | 90,72   | 9,28  | 3,43      |
| 100         | 1                      | 80         | UV         | 1,422 | 89,96   | 10,04 | 4,19      |
| 94,15       | 1                      | 20         | UV         | 1,445 | 91,41   | 2,91  | 2,91      |
| 94,15       | 1                      | 30         | UV         | 1,434 | 90,72   | 3,65  | 3,65      |
| 94,15       | 1                      | 40         | UV         | 1,422 | 89,96   | 4,45  | 4,45      |

| C in [mg/l] | TiO <sub>2</sub> [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass   | C*coeff | %     | Δ(A,A->F) |
|-------------|------------------------|------------|------------|-------|---------|-------|-----------|
| 100         | 1                      | 60         | UV         | 0,468 | 88,36   | 11,64 | 11,48     |
| 100         | 1                      | 70         | UV         | 0,386 | 72,89   | 27,11 | 26,95     |
| 100         | 1                      | 80         | UV         | 0,34  | 64,21   | 35,79 | 35,63     |
| 99,84       | 1                      | 20         | UV         | 0,468 | 88,36   | 11,50 | 11,50     |
| 99,84       | 1                      | 30         | UV         | 0,386 | 72,89   | 27,00 | 27,00     |
| 99,84       | 1                      | 40         | UV         | 0,34  | 64,21   | 35,69 | 35,69     |





# 100 mg/l, 1 g/l





# 50 mg/l MB, 0,4 g/l



## Adsorbimento

## Contemporaneo Adsorbimento e fotocatalisi

## Fotocatalisi post equilibrio di adsorbimento

| C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Ass  | C*coeff | %     |
|-------------|---------------|------------|------|---------|-------|
| 50          | 0,4           | 20         | 0,68 | 27,85   | 44,29 |
| 50          | 0,4           | 30         | 0,59 | 24,27   | 51,47 |
| 50          | 0,4           | 40         | 0,57 | 23,18   | 53,65 |
| 50          | 0,4           | 60         | 1,18 | 19,24   | 61,52 |
| 50          | 0,4           | 100        | 1,18 | 19,21   | 61,59 |

| C in [mg/l] | TiO <sub>2</sub> [g/l] | Time [min] | Ass  | C*coeff | %    |
|-------------|------------------------|------------|------|---------|------|
| 50          | 0,4                    | 20         | 1,22 | 49,71   | 0,58 |
| 50          | 0,4                    | 30         | 1,21 | 49,02   | 1,95 |
| 50          | 0,4                    | 40         | 1,23 | 49,99   | 0,02 |
| 50          | 0,4                    | 80         | 1,23 | 49,95   | 0,10 |

| C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass  | C*coeff | %     | $\Delta(A,A+F)$ |
|-------------|---------------|------------|------------|------|---------|-------|-----------------|
| 50          | 0,4           | 20         | visible    | 0,67 | 27,33   | 45,34 | 1,05            |
| 50          | 0,4           | 30         | visible    | 0,59 | 24,27   | 51,47 | 0,00            |
| 50          | 0,4           | 40         | visible    | 0,55 | 22,57   | 54,85 | 1,21            |

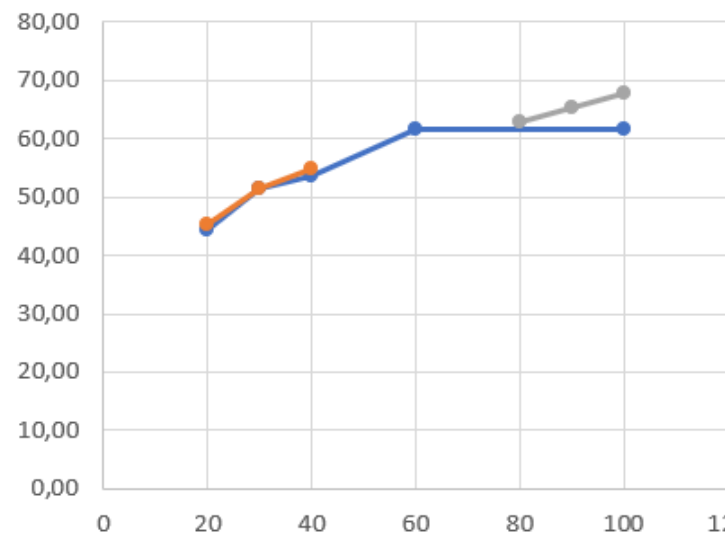
| C in [mg/l] | TiO <sub>2</sub> [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass  | C*coeff | %     | $\Delta(A,A+F)$ |
|-------------|------------------------|------------|------------|------|---------|-------|-----------------|
| 50          | 0,4                    | 20         | visible    | 1,18 | 48,06   | 3,89  | 3,31            |
| 50          | 0,4                    | 30         | visible    | 1,07 | 43,66   | 12,68 | 10,73           |
| 50          | 0,4                    | 40         | visible    | 1,06 | 43,10   | 13,81 | 13,79           |

| C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass   | C*coeff | %     | $\Delta(A,A \rightarrow F)$ |
|-------------|---------------|------------|------------|-------|---------|-------|-----------------------------|
| 50          | 0,4           | 80         | visible    | 1,143 | 18,59   | 62,81 | 1,22                        |
| 50          | 0,4           | 90         | visible    | 1,07  | 17,42   | 65,17 | 3,58                        |
| 50          | 0,4           | 100        | visible    | 0,99  | 16,13   | 67,75 | 6,16                        |
| 19,2        | 0,4           | 20         | visible    | 1,143 | 18,59   | 3,16  | 3,16                        |
| 19,2        | 0,4           | 30         | visible    | 1,07  | 17,42   | 9,29  | 9,29                        |
| 19,2        | 0,4           | 40         | visible    | 0,99  | 16,13   | 16,01 | 16,01                       |

| C in [mg/l] | TiO <sub>2</sub> [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass   | C*coeff | %     | $\Delta(A,A \rightarrow F)$ |
|-------------|------------------------|------------|------------|-------|---------|-------|-----------------------------|
| 50          | 0,4                    | 60         | UV         | 1,13  | 45,96   | 8,08  | 7,98                        |
| 50          | 0,4                    | 70         | UV         | 1,008 | 41,04   | 17,92 | 17,82                       |
| 50          | 0,4                    | 80         | UV         | 0,95  | 38,70   | 22,60 | 22,50                       |
| 49,95       | 0,4                    | 20         | UV         | 1,13  | 45,96   | 8,68  | 8,68                        |
| 49,95       | 0,4                    | 30         | UV         | 1,008 | 41,04   | 21,71 | 21,71                       |
| 49,95       | 0,4                    | 40         | UV         | 0,95  | 38,70   | 29,06 | 29,06                       |

50 mg/l, 0,4 g/l

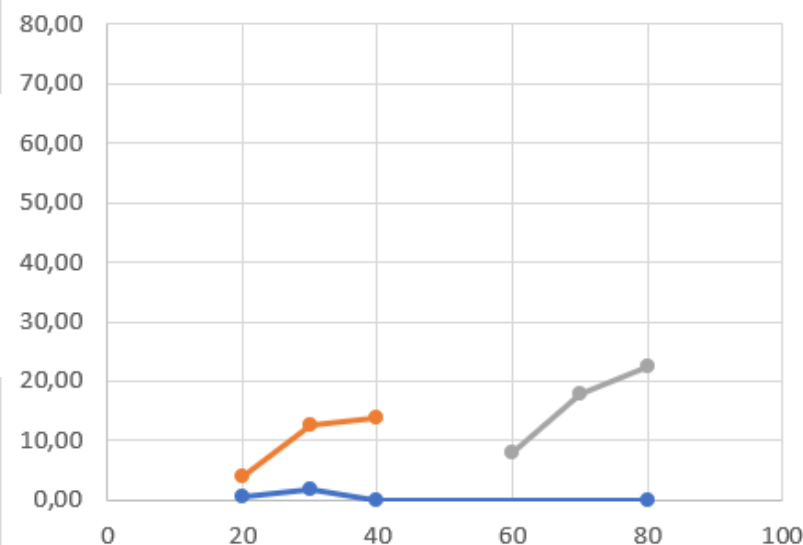
REMOVAL RATE



TIME

50 mg/l, 0,4 g/l

REMOVAL RATE



TIME



# 50 mg/l MO, RR2, 0,4 g/l



## Fotocatalisi post equilibrio di adsorbimento

MO

| C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass  | C*coeff | %    | $\Delta(A,A \rightarrow F)$ |
|-------------|---------------|------------|------------|------|---------|------|-----------------------------|
| 50          | 0,4           | 50         | UV         | 0,77 | 48,96   | 2,09 | 0,48                        |
| 50          | 0,4           | 60         | UV         | 0,77 | 48,96   | 2,09 | 0,48                        |
| 50          | 0,4           | 70         | UV         | 0,77 | 48,96   | 2,09 | 0,48                        |
| 49,2        | 0,4           | 20         | UV         | 0,77 | 48,96   | 0,50 | 0,50                        |
| 49,2        | 0,4           | 30         | UV         | 0,77 | 48,96   | 0,50 | 0,50                        |
| 49,2        | 0,4           | 40         | UV         | 0,77 | 48,96   | 0,50 | 0,50                        |

| C in [mg/l] | TiO <sub>2</sub> [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass   | C*coeff | %    | $\Delta(A,A \rightarrow F)$ |
|-------------|------------------------|------------|------------|-------|---------|------|-----------------------------|
| 50          | 0,4                    | 50         | UV         | 0,751 | 47,76   | 4,48 | 1,36                        |
| 50          | 0,4                    | 60         | UV         | 0,736 | 46,82   | 6,36 | 3,24                        |
| 50          | 0,4                    | 70         | UV         | 0,713 | 45,37   | 9,26 | 6,14                        |
| 48,44       | 0,4                    | 20         | UV         | 0,751 | 47,76   | 1,40 | 1,40                        |
| 48,44       | 0,4                    | 30         | UV         | 0,736 | 46,82   | 3,35 | 3,35                        |
| 48,44       | 0,4                    | 40         | UV         | 0,713 | 45,37   | 6,34 | 6,34                        |

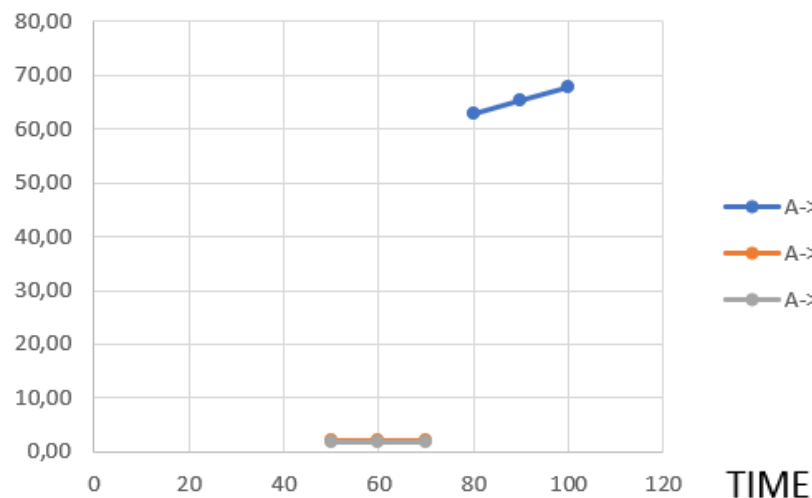
RR2

| C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass  | C*coeff | %     | $\Delta(A,A \rightarrow F)$ |
|-------------|---------------|------------|------------|------|---------|-------|-----------------------------|
| 50          | 0,4           | 50         | UV         | 0,26 | 49,11   | 1,77  | -0,03                       |
| 50          | 0,4           | 60         | UV         | 0,26 | 49,11   | 1,77  | -0,03                       |
| 50          | 0,4           | 70         | UV         | 0,26 | 49,11   | 1,77  | -0,03                       |
| 49,1        | 0,4           | 20         | UV         | 0,26 | 49,11   | -0,03 | -0,03                       |
| 49,1        | 0,4           | 30         | UV         | 0,26 | 49,11   | -0,03 | -0,03                       |
| 49,1        | 0,4           | 40         | UV         | 0,26 | 49,11   | -0,03 | -0,03                       |

| C in [mg/l] | TiO <sub>2</sub> [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass   | C*coeff | %     | $\Delta(A,A \rightarrow F)$ |
|-------------|------------------------|------------|------------|-------|---------|-------|-----------------------------|
| 50          | 0,4                    | 50         | UV         | 0,21  | 39,68   | 20,64 | 3,75                        |
| 50          | 0,4                    | 60         | UV         | 0,19  | 35,91   | 28,19 | 11,30                       |
| 50          | 0,4                    | 70         | UV         | 0,152 | 28,74   | 42,53 | 25,64                       |
| 41,56       | 0,4                    | 20         | UV         | 0,21  | 39,68   | 4,53  | 4,53                        |
| 41,56       | 0,4                    | 30         | UV         | 0,19  | 35,91   | 13,61 | 13,61                       |
| 41,56       | 0,4                    | 40         | UV         | 0,152 | 28,74   | 30,86 | 30,86                       |

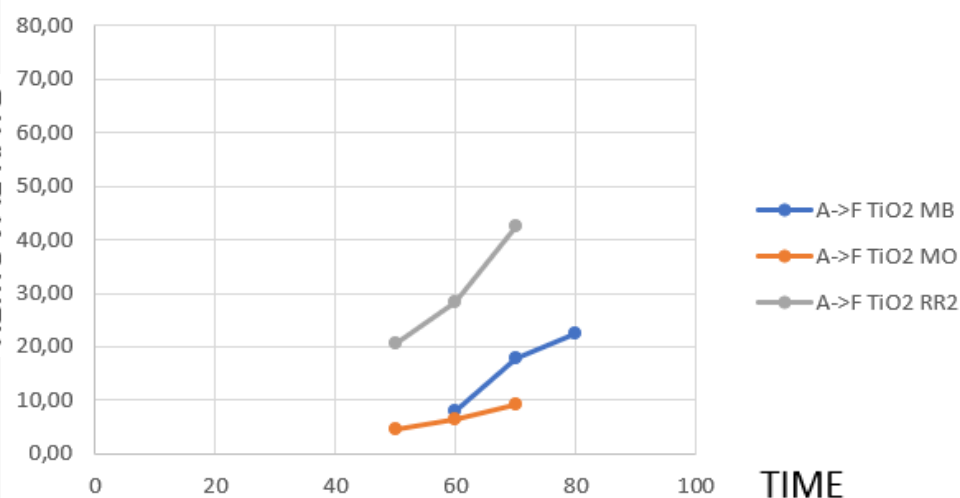
50 mg/l, 0,4 g/l

REMOVAL RATE



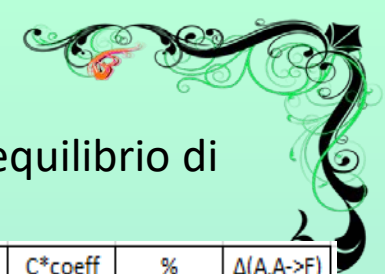
50 mg/l, 0,4 g/l

REMOVAL RATE





# 20 mg/l MB, 0,1 g/l



## Adsorbimento

## Contemporaneo Adsorbimento e fotocatalisi

## Fotocatalisi post equilibrio di adsorbimento

| C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Ass  | C*coeff | %     |
|-------------|---------------|------------|------|---------|-------|
| 20          | 0,1           | 20         | 0,84 | 13,75   | 31,23 |
| 20          | 0,1           | 30         | 0,79 | 12,82   | 35,90 |
| 20          | 0,1           | 40         | 0,77 | 12,58   | 37,11 |
| 20          | 0,1           | 60         | 0,62 | 10,16   | 49,21 |
| 20          | 0,1           | 100        | 0,62 | 10,15   | 49,27 |

| C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass  | C*coeff | %     | $\Delta(A,A+F)$ |
|-------------|---------------|------------|------------|------|---------|-------|-----------------|
| 20          | 0,1           | 20         | visible    | 0,81 | 13,22   | 33,89 | 2,66            |
| 20          | 0,1           | 30         | visible    | 0,75 | 12,25   | 38,73 | 2,82            |
| 20          | 0,1           | 40         | visible    | 0,70 | 11,45   | 42,76 | 5,65            |

| C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass   | C*coeff | %     | $\Delta(A,A \rightarrow F)$ |
|-------------|---------------|------------|------------|-------|---------|-------|-----------------------------|
| 20          | 0,1           | 80         | visible    | 0,591 | 9,69    | 51,55 | 2,28                        |
| 20          | 0,1           | 90         | visible    | 0,563 | 9,24    | 53,81 | 4,54                        |
| 20          | 0,1           | 100        | visible    | 0,475 | 7,82    | 60,90 | 11,63                       |
| 10,15       | 0,1           | 20         | visible    | 0,591 | 9,69    | 4,53  | 4,53                        |
| 10,15       | 0,1           | 30         | visible    | 0,563 | 9,24    | 8,98  | 8,98                        |
| 10,15       | 0,1           | 40         | visible    | 0,475 | 7,82    | 22,96 | 22,96                       |

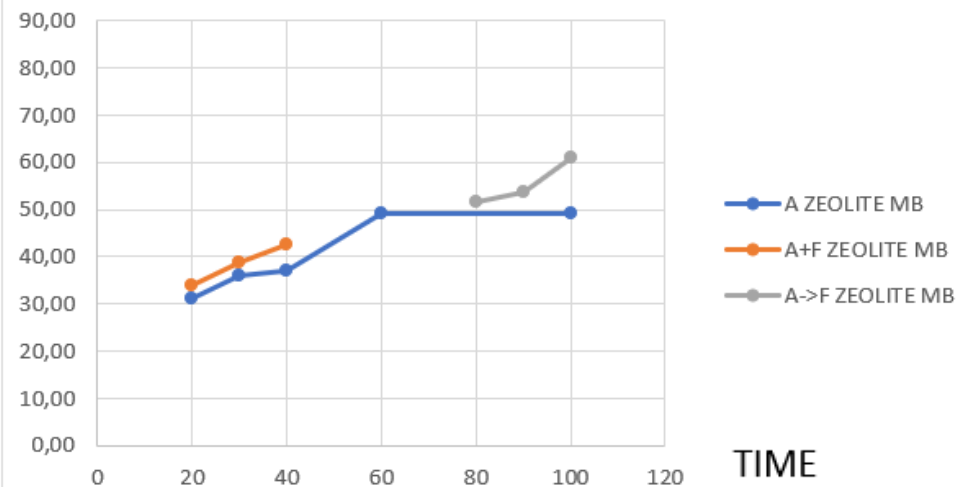
| C in [mg/l] | TiO <sub>2</sub> [g/l] | Time [min] | Ass  | C*coeff | %     |
|-------------|------------------------|------------|------|---------|-------|
| 20          | 0,1                    | 20         | 0,42 | 17,41   | 12,94 |
| 20          | 0,1                    | 30         | 0,41 | 16,81   | 15,97 |
| 20          | 0,1                    | 40         | 0,40 | 16,48   | 17,58 |
| 20          | 0,1                    | 80         | 0,40 | 16,47   | 17,65 |

| C in [mg/l] | TiO <sub>2</sub> [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass  | C*coeff | %     | $\Delta(A,A+F)$ |
|-------------|------------------------|------------|------------|------|---------|-------|-----------------|
| 20          | 0,1                    | 20         | UV         | 0,16 | 6,69    | 66,57 | 53,63           |
| 20          | 0,1                    | 30         | UV         | 0,15 | 6,24    | 68,79 | 52,82           |
| 20          | 0,1                    | 40         | UV         | 0,13 | 5,68    | 71,61 | 54,03           |

| C in [mg/l] | TiO <sub>2</sub> [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass   | C*coeff | %     | $\Delta(A,A \rightarrow F)$ |
|-------------|------------------------|------------|------------|-------|---------|-------|-----------------------------|
| 20          | 0,1                    | 60         | UV         | 0,262 | 4,38    | 78,08 | 60,43                       |
| 20          | 0,1                    | 70         | UV         | 0,21  | 3,55    | 82,27 | 64,62                       |
| 20          | 0,1                    | 80         | UV         | 0,185 | 3,14    | 84,29 | 66,64                       |
| 16,47       | 0,1                    | 20         | UV         | 0,262 | 4,38    | 73,38 | 73,38                       |
| 16,47       | 0,1                    | 30         | UV         | 0,21  | 3,55    | 78,48 | 78,48                       |
| 16,47       | 0,1                    | 40         | UV         | 0,185 | 3,14    | 80,92 | 80,92                       |

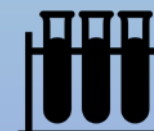
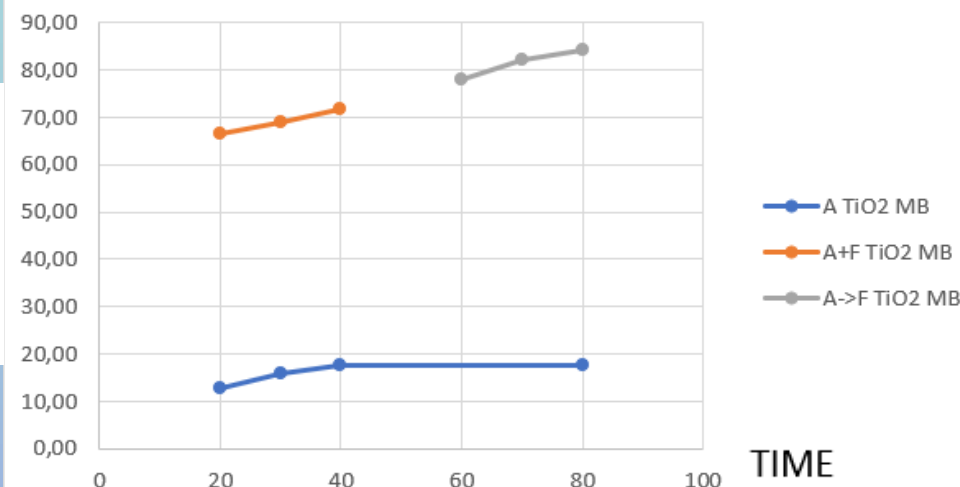
REMOVAL RATE

20 mg/l, 0,1 g/l



REMOVAL RATE

20 mg/l, 0,1 g/l





# 20 mg/l MO,RR2, 0,1 g/l



## Fotocatalisi post equilibrio di adsorbimento

MO

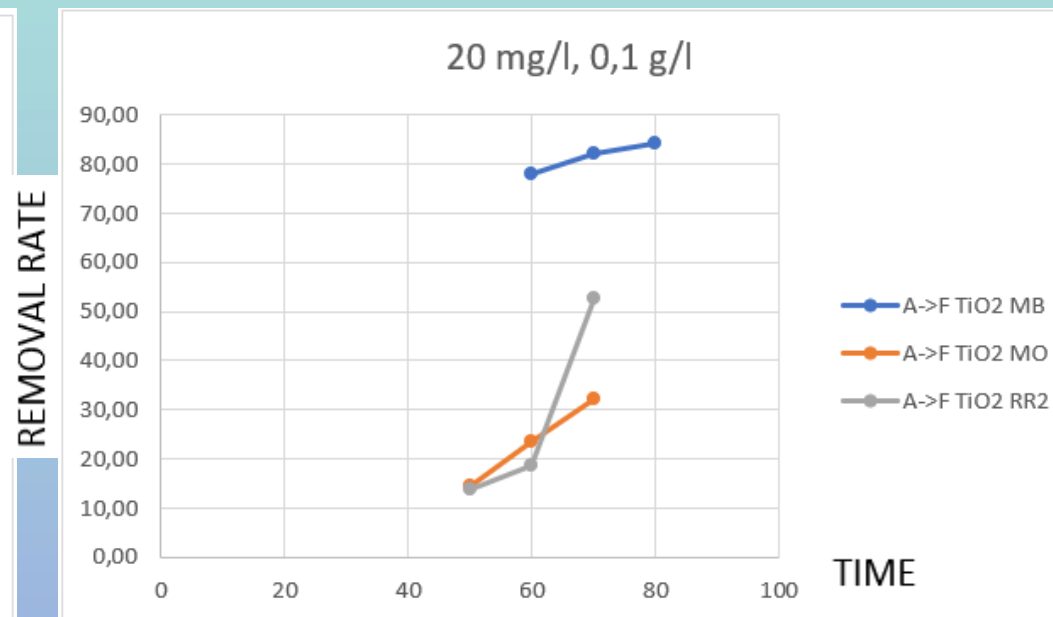
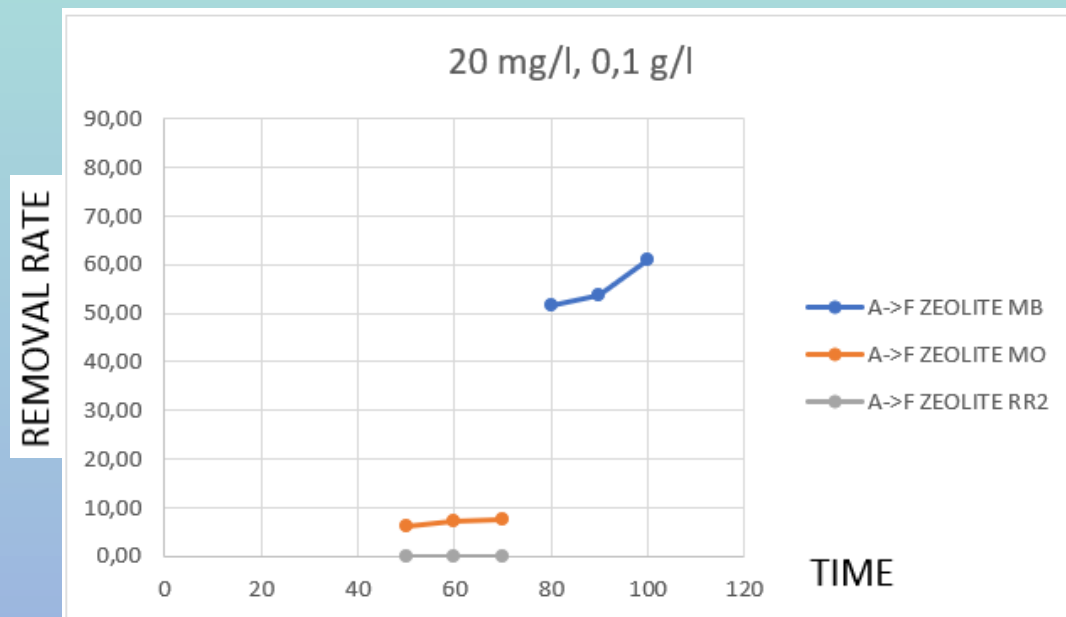
| C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass   | C*coeff | %    | $\Delta(A,A \rightarrow F)$ |
|-------------|---------------|------------|------------|-------|---------|------|-----------------------------|
| 20          | 0,1           | 50         | sunlight   | 0,29  | 18,77   | 6,16 | 1,54                        |
| 20          | 0,1           | 60         | sunlight   | 0,287 | 18,58   | 7,11 | 2,49                        |
| 20          | 0,1           | 70         | sunlight   | 0,285 | 18,45   | 7,74 | 3,12                        |
| 19,08       | 0,1           | 20         | sunlight   | 0,29  | 18,77   | 1,64 | 1,64                        |
| 19,08       | 0,1           | 30         | sunlight   | 0,287 | 18,58   | 2,63 | 2,63                        |
| 19,08       | 0,1           | 40         | sunlight   | 0,285 | 18,45   | 3,29 | 3,29                        |

| C in [mg/l] | TiO <sub>2</sub> [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass   | C*coeff | %     | $\Delta(A,A \rightarrow F)$ |
|-------------|------------------------|------------|------------|-------|---------|-------|-----------------------------|
| 20          | 0,1                    | 50         | UV         | 0,264 | 17,13   | 14,34 | 13,18                       |
| 20          | 0,1                    | 60         | UV         | 0,235 | 15,31   | 23,46 | 22,30                       |
| 20          | 0,1                    | 70         | UV         | 0,207 | 13,55   | 32,26 | 31,10                       |
| 19,77       | 0,1                    | 20         | UV         | 0,264 | 17,13   | 13,34 | 13,34                       |
| 19,77       | 0,1                    | 30         | UV         | 0,235 | 15,31   | 22,57 | 22,57                       |
| 19,77       | 0,1                    | 40         | UV         | 0,207 | 13,55   | 31,48 | 31,48                       |

RR2

| C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass   | C*coeff | %     | $\Delta(A,A \rightarrow F)$ |
|-------------|---------------|------------|------------|-------|---------|-------|-----------------------------|
| 20          | 0,1           | 50         | sunlight   | 0,106 | 20,06   | 0,00  | 0,00                        |
| 20          | 0,1           | 60         | sunlight   | 0,106 | 20,06   | 0,00  | 0,00                        |
| 20          | 0,1           | 70         | sunlight   | 0,106 | 20,06   | 0,00  | 0,00                        |
| 20          | 0,1           | 20         | sunlight   | 0,106 | 20,06   | -0,28 | -0,28                       |
| 20          | 0,1           | 30         | sunlight   | 0,106 | 20,06   | -0,28 | -0,28                       |
| 20          | 0,1           | 40         | sunlight   | 0,106 | 20,06   | -0,28 | -0,28                       |

| C in [mg/l] | TiO <sub>2</sub> [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass   | C*coeff | %     | $\Delta(A,A \rightarrow F)$ |
|-------------|------------------------|------------|------------|-------|---------|-------|-----------------------------|
| 20          | 0,1                    | 50         | UV         | 0,091 | 17,23   | 13,87 | 13,87                       |
| 20          | 0,1                    | 60         | UV         | 0,086 | 16,28   | 18,58 | 18,58                       |
| 20          | 0,1                    | 70         | UV         | 0,05  | 9,49    | 52,55 | 52,55                       |
| 20          | 0,1                    | 20         | UV         | 0,091 | 17,23   | 13,87 | 13,87                       |
| 20          | 0,1                    | 30         | UV         | 0,086 | 16,28   | 18,58 | 18,58                       |
| 20          | 0,1                    | 40         | UV         | 0,05  | 9,49    | 52,55 | 52,55                       |







# 10 mg/l MB, 0,1 g/l



## Adsorbimento

## Contemporaneo Adsorbimento e fotocatalisi

## Fotocatalisi post equilibrio di adsorbimento

| C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Ass  | C*coeff | %     |
|-------------|---------------|------------|------|---------|-------|
| 10          | 0,1           | 20         | 0,32 | 5,27    | 47,29 |
| 10          | 0,1           | 30         | 0,20 | 3,43    | 65,68 |
| 10          | 0,1           | 40         | 0,17 | 2,95    | 70,52 |
| 10          | 0,1           | 60         | 0,15 | 2,64    | 73,58 |
| 10          | 0,1           | 100        | 0,16 | 2,64    | 73,65 |

| C in [mg/l] | TiO <sub>2</sub> [g/l] | Time [min] | Ass  | C*coeff | %     |
|-------------|------------------------|------------|------|---------|-------|
| 10          | 0,1                    | 20         | 0,52 | 8,55    | 14,55 |
| 10          | 0,1                    | 30         | 0,48 | 7,93    | 20,68 |
| 10          | 0,1                    | 40         | 0,49 | 7,98    | 20,19 |
| 10          | 0,1                    | 80         | 0,49 | 7,97    | 20,26 |

| C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass  | C*coeff | %     | Δ(A,A+F) |
|-------------|---------------|------------|------------|------|---------|-------|----------|
| 10          | 0,1           | 20         | Visible    | 0,30 | 5,05    | 49,55 | 2,26     |
| 10          | 0,1           | 30         | Visible    | 0,19 | 3,22    | 67,77 | 2,10     |
| 10          | 0,1           | 40         | visible    | 0,12 | 2,09    | 79,06 | 8,55     |

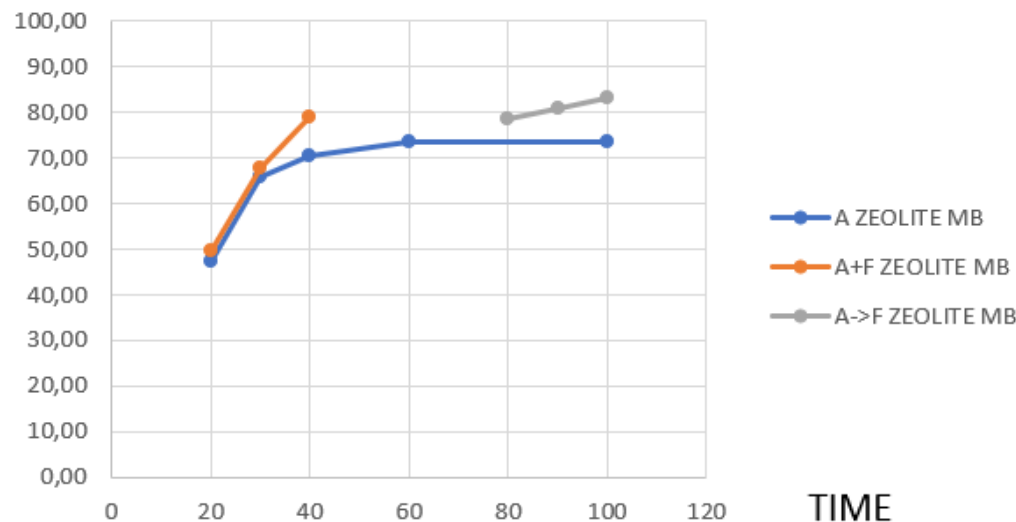
| C in [mg/l] | TiO <sub>2</sub> [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass  | C*coeff | %     | Δ(A,A+F) |
|-------------|------------------------|------------|------------|------|---------|-------|----------|
| 10          | 0,1                    | 20         | UV         | 0,19 | 3,21    | 67,94 | 53,39    |
| 10          | 0,1                    | 30         | UV         | 0,08 | 1,43    | 85,68 | 65,00    |
| 10          | 0,1                    | 40         | UV         | 0,03 | 0,69    | 93,10 | 72,90    |

| C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass   | C*coeff | %     | Δ(A,A->F) |
|-------------|---------------|------------|------------|-------|---------|-------|-----------|
| 10          | 0,1           | 80         | visible    | 0,124 | 2,16    | 78,42 | 4,77      |
| 10          | 0,1           | 90         | visible    | 0,109 | 1,92    | 80,84 | 7,19      |
| 10          | 0,1           | 100        | visible    | 0,094 | 1,67    | 83,26 | 9,61      |
| 2,64        | 0,1           | 20         | visible    | 0,124 | 2,16    | 18,26 | 18,26     |
| 2,64        | 0,1           | 30         | visible    | 0,109 | 1,92    | 27,42 | 27,42     |
| 2,64        | 0,1           | 40         | visible    | 0,094 | 1,67    | 36,58 | 36,58     |

| C in [mg/l] | TiO <sub>2</sub> [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass   | C*coeff | %     | Δ(A,A->F) |
|-------------|------------------------|------------|------------|-------|---------|-------|-----------|
| 10          | 0,1                    | 60         | UV         | 0,108 | 1,90    | 81,00 | 60,74     |
| 10          | 0,1                    | 70         | UV         | 0,061 | 1,14    | 88,58 | 68,32     |
| 10          | 0,1                    | 80         | UV         | 0,035 | 0,72    | 92,77 | 72,51     |
| 7,97        | 0,1                    | 20         | UV         | 0,108 | 1,90    | 76,16 | 76,16     |
| 7,97        | 0,1                    | 30         | UV         | 0,061 | 1,14    | 85,67 | 85,67     |
| 7,97        | 0,1                    | 40         | UV         | 0,035 | 0,72    | 90,93 | 90,93     |

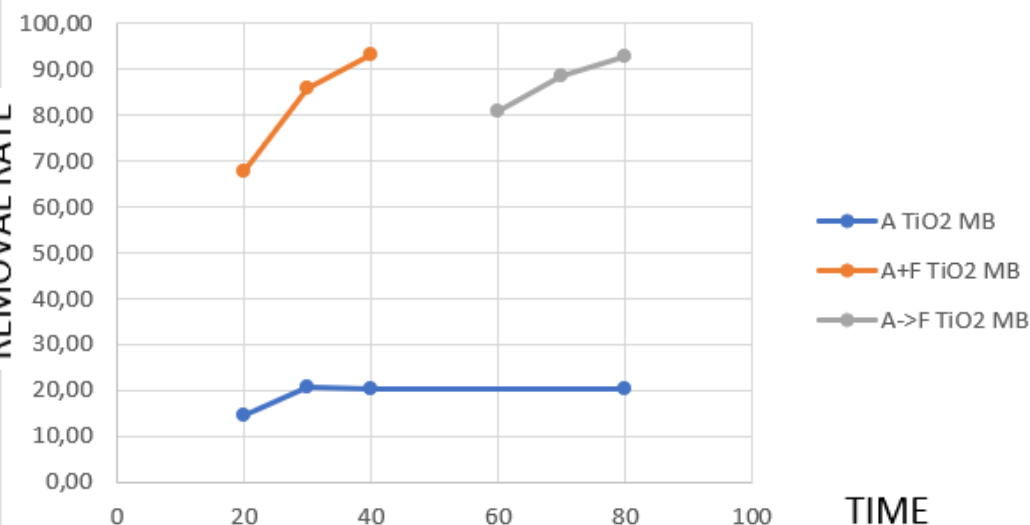
REMOVAL RATE

10 mg/l, 0,1 g/l



REMOVAL RATE

10 mg/l, 0,1 g/l





# RISULTATI MIGLIORI



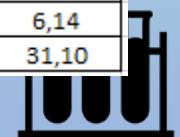
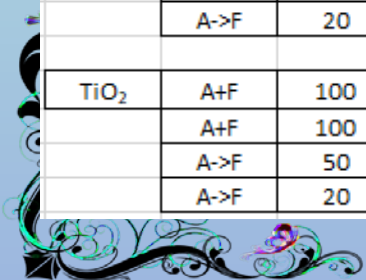
|                  | MB   | C in [mg/l] | catal [g/l] | Time [min] | Light source | Ass   | C*coeff | %     | $\Delta$ |
|------------------|------|-------------|-------------|------------|--------------|-------|---------|-------|----------|
| zeolite          | A+F  | 150         | 2           | 20         | sunlight     | 0,757 | 30,92   | 79,39 | 6,45     |
|                  | A+F  | 100         | 1           | 20         | visible      | 0,915 | 37,29   | 62,71 | 6,85     |
|                  | A+F  | 100         | 1           | 30         | visible      | 0,824 | 33,62   | 66,38 | 6,90     |
|                  | A->F | 50          | 0,4         | 100        | visible      | 0,99  | 16,13   | 67,75 | 6,16     |
|                  | A->F | 20          | 0,1         | 100        | visible      | 0,475 | 7,82    | 60,90 | 11,63    |
|                  | A+F  | 10          | 0,1         | 40         | visible      | 0,12  | 2,09    | 79,06 | 8,55     |
|                  | A->F | 10          | 0,1         | 90         | visible      | 0,109 | 1,92    | 80,84 | 7,19     |
|                  | A->F | 10          | 0,1         | 100        | visible      | 0,094 | 1,67    | 83,26 | 9,61     |
|                  |      |             |             |            |              |       |         |       |          |
| TiO <sub>2</sub> | A+F  | 100         | 1           | 20         | UV           | 2,244 | 90,88   | 9,12  | 5,73     |
|                  | A+F  | 100         | 1           | 30         | UV           | 2,199 | 89,06   | 10,94 | 6,98     |
|                  | A->F | 50          | 0,4         | 80         | UV           | 0,95  | 38,70   | 22,60 | 22,50    |
|                  | A->F | 20          | 0,1         | 80         | UV           | 0,185 | 3,14    | 84,29 | 66,64    |
|                  | A+F  | 10          | 0,1         | 40         | UV           | 0,033 | 0,69    | 93,10 | 72,90    |
|                  | A->F | 10          | 0,1         | 70         | UV           | 0,061 | 1,14    | 88,58 | 68,32    |
|                  | A->F | 10          | 0,1         | 80         | UV           | 0,035 | 0,72    | 92,77 | 72,51    |

11,63

8,55

|                  | RR2  | C in [mg/l] | catal [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass   | C*coeff | %     | $\Delta$ |
|------------------|------|-------------|-------------|------------|------------|-------|---------|-------|----------|
| zeolite          | A+F  | 100         | 1           | 20         | UV         | 0,527 | 99,49   | 0,51  | 0,00     |
|                  | A+F  | 100         | 1           | 30         | UV         | 0,51  | 96,17   | 3,83  | 2,64     |
|                  | A->F | 50          | 0,4         | 70         | UV         | 0,26  | 49,11   | 1,77  | -0,03    |
|                  | A->F | 20          | 0,1         | 70         | sunlight   | 0,106 | 20,06   | 0,00  |          |
|                  |      |             |             |            |            |       |         |       |          |
| TiO <sub>2</sub> | A+F  | 100         | 1           | 20         | UV         | 0,48  | 90,62   | 9,38  | 9,38     |
|                  | A+F  | 100         | 1           | 30         | UV         | 0,439 | 82,89   | 17,11 | 15,47    |
|                  | A->F | 50          | 0,4         | 70         | UV         | 0,152 | 28,74   | 42,53 | 25,64    |
|                  | A->F | 20          | 0,1         | 70         | UV         | 0,05  | 9,49    | 52,55 | 52,55    |

|                  | MO   | C in [mg/l] | catal [g/l] | Time [min] | Light sour | Ass  | C*coeff | %     | $\Delta$ |
|------------------|------|-------------|-------------|------------|------------|------|---------|-------|----------|
| zeolite          | A+F  | 100         | 1           | 20         | UV         | 1,51 | 95,75   | 4,25  | 1,01     |
|                  | A+F  | 100         | 1           | 30         | UV         | 1,49 | 93,92   | 6,08  | 0,94     |
|                  | A->F | 50          | 0,4         | 70         | UV         | 0,77 | 48,96   | 2,09  | 0,48     |
|                  | A->F | 20          | 0,1         | 70         | sunlight   | 0,29 | 18,45   | 7,74  | 3,12     |
|                  |      |             |             |            |            |      |         |       |          |
| TiO <sub>2</sub> | A+F  | 100         | 1           | 20         | UV         | 1,48 | 93,55   | 6,45  | 2,26     |
|                  | A+F  | 100         | 1           | 30         | UV         | 1,47 | 92,67   | 7,33  | 0,57     |
|                  | A->F | 50          | 0,4         | 70         | UV         | 0,71 | 45,37   | 9,26  | 6,14     |
|                  | A->F | 20          | 0,1         | 70         | UV         | 0,21 | 13,55   | 32,26 | 31,10    |



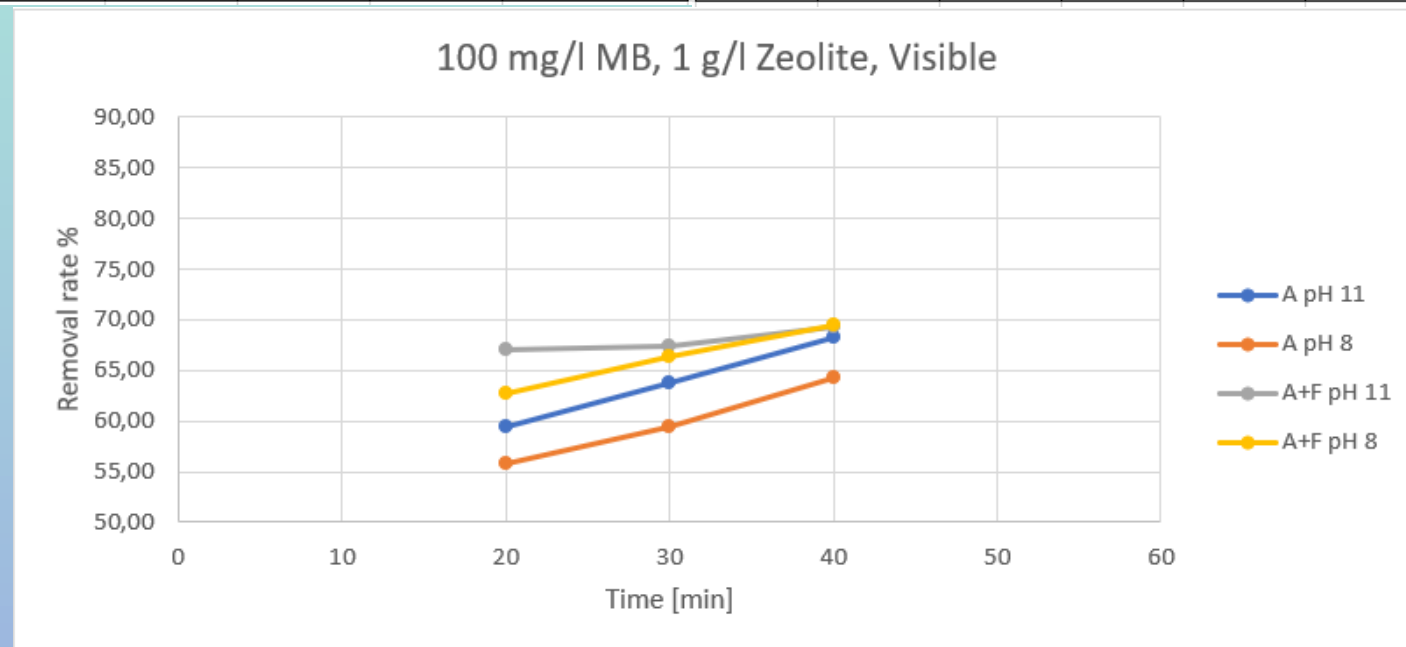


# Variazione del pH



La superficie del materiale fotocatalitico è caratterizzata da una carica a pH neutro, ed ogni materiale ha un caratteristico valore di punto di zero carica (pHpzc), al quale la carica superficiale è neutra. Nel caso della zeolite è 3,9, mentre nel biossido di titanio è 6,8. Si è passati da un pH di circa 8-9 ad un pH di 11 per migliorare le condizioni di adsorbimento e fotocatalitiche dell'MB

|         | C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Light source | Ass   | C*coeff | %     | $\Delta(\text{pH } 8, \text{pH } 11)$ |           | C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Light source | Ass   | C*coeff | %     | $\Delta(\text{pH } 8, \text{pH } 11)$ | $\Delta(A, A+F)$ |
|---------|-------------|---------------|------------|--------------|-------|---------|-------|---------------------------------------|-----------|-------------|---------------|------------|--------------|-------|---------|-------|---------------------------------------|------------------|
| A pH 8  | 100         | 1             | 20         |              | 1,085 | 44,15   | 55,85 |                                       | A+F pH 8  | 100         | 1             | 20         | visible      | 0,915 | 37,29   | 62,71 |                                       |                  |
| A pH 8  | 100         | 1             | 30         |              | 0,995 | 40,52   | 59,48 |                                       | A+F pH 8  | 100         | 1             | 30         | visible      | 0,824 | 33,62   | 66,38 |                                       |                  |
| A pH 8  | 100         | 1             | 40         |              | 0,877 | 35,76   | 64,24 |                                       | A+F pH 8  | 100         | 1             | 40         | visible      | 0,747 | 30,52   | 69,48 |                                       |                  |
| A pH 11 | 100         | 1             | 20         |              | 0,996 | 40,56   | 59,44 | 3,59                                  | A+F Ph 11 | 100         | 1             | 20         | visible      | 0,808 | 32,98   | 67,02 | 4,31                                  | 7,58             |
| A pH 11 | 100         | 1             | 30         |              | 0,887 | 36,16   | 63,84 | 4,35                                  | A+F Ph 11 | 100         | 1             | 30         | visible      | 0,8   | 32,65   | 67,35 | 0,97                                  | 3,51             |
| A pH 11 | 100         | 1             | 40         |              | 0,777 | 31,73   | 68,27 | 4,03                                  | A+F Ph 11 | 100         | 1             | 40         | visible      | 0,75  | 30,64   | 69,36 | -0,12                                 | 1,09             |





# Variazione della mesh



In tutti gli esperimenti è stata utilizzata una zeolite di 20-40mesh, ma per aumentare la superficie specifica si è passati ad una zeolite di 40-60mesh per le concentrazioni di 100 mg/l MB e 10 mg/l MB

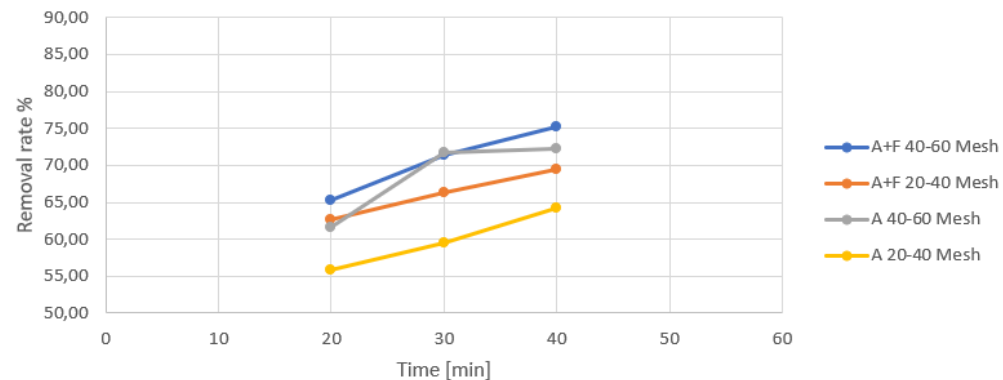
|                      | C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Light source | Ass   | C*coeff | %     | $\Delta(A,A+F)$ |
|----------------------|-------------|---------------|------------|--------------|-------|---------|-------|-----------------|
| A                    | 100         | 1             | 20         |              | 1,085 | 44,15   | 55,85 |                 |
| A                    | 100         | 1             | 30         |              | 0,995 | 40,52   | 59,48 |                 |
| A                    | 100         | 1             | 40         |              | 0,877 | 35,76   | 64,24 |                 |
| A ZEOLITE 40-60 MESH | 100         | 1             | 20         |              | 0,942 | 38,38   | 61,62 | 5,77            |
| A ZEOLITE 40-60 MESH | 100         | 1             | 30         |              | 0,691 | 28,26   | 71,74 | 12,26           |
| A ZEOLITE 40-60 MESH | 100         | 1             | 40         |              | 0,68  | 27,81   | 72,19 | 7,94            |

|                        | C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Light source | Ass   | C*coeff | %     | $\Delta(A,A+F)$ |
|------------------------|-------------|---------------|------------|--------------|-------|---------|-------|-----------------|
| A+F                    | 100         | 1             | 20         | visible      | 0,915 | 37,29   | 62,71 |                 |
| A+F                    | 100         | 1             | 30         | visible      | 0,824 | 33,62   | 66,38 |                 |
| A+F                    | 100         | 1             | 40         | visible      | 0,747 | 30,52   | 69,48 |                 |
| A+F ZEOLITE 40-60 MESH | 100         | 1             | 20         | Visible      | 0,851 | 34,71   | 65,29 | 2,58            |
| A+F ZEOLITE 40-60 MESH | 100         | 1             | 30         | Visible      | 0,7   | 28,62   | 71,38 | 5,00            |
| A+F ZEOLITE 40-60 MESH | 100         | 1             | 40         | visible      | 0,605 | 24,79   | 75,21 | 5,73            |

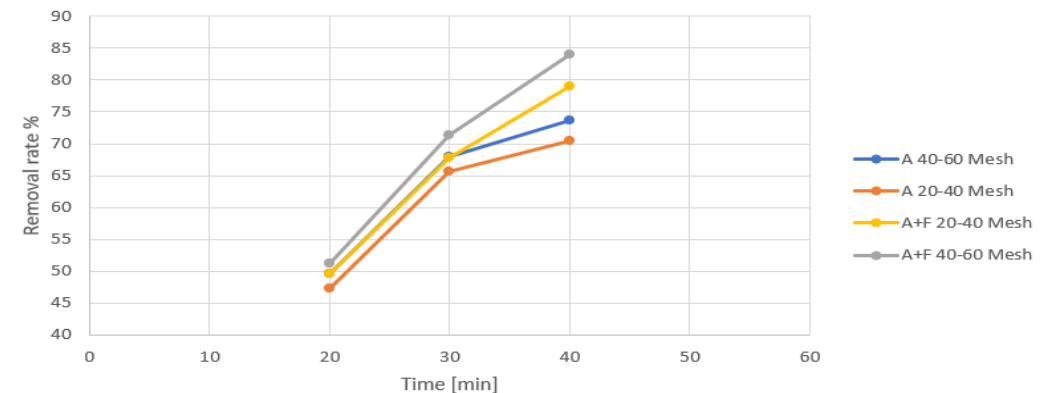
|              | C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Light source | Ass   | C*coeff | %     | $\Delta(A,A+F)$ |
|--------------|-------------|---------------|------------|--------------|-------|---------|-------|-----------------|
| A            | 10          | 0,1           | 20         |              | 0,317 | 5,27    | 47,29 |                 |
| A            | 10          | 0,1           | 30         |              | 0,203 | 3,43    | 65,68 |                 |
| A            | 10          | 0,1           | 40         |              | 0,173 | 2,95    | 70,52 |                 |
| A 40-60 MESH | 10          | 0,1           | 20         |              | 0,303 | 5,05    | 49,55 | 2,26            |
| A 40-60 MESH | 10          | 0,1           | 30         |              | 0,189 | 3,21    | 67,94 | 2,26            |
| A 40-60 MESH | 10          | 0,1           | 40         |              | 0,153 | 2,63    | 73,74 | 3,23            |

|                | C in [mg/l] | zeolite [g/l] | Time [min] | Light source | Ass   | C*coeff | %     | $\Delta(A,A+F)$ |
|----------------|-------------|---------------|------------|--------------|-------|---------|-------|-----------------|
| A+F            | 10          | 0,1           | 20         | Visible      | 0,303 | 5,05    | 49,55 |                 |
| A+F            | 10          | 0,1           | 30         | Visible      | 0,19  | 3,22    | 67,77 |                 |
| A+F            | 10          | 0,1           | 40         | visible      | 0,12  | 2,09    | 79,06 |                 |
| A+F 40-60 MESH | 10          | 0,1           | 20         | visible      | 0,293 | 4,88    | 51,16 | 1,61            |
| A+F 40-60 MESH | 10          | 0,1           | 30         | visible      | 0,168 | 2,87    | 71,32 | 3,55            |
| A+F 40-60 MESH | 10          | 0,1           | 40         | visible      | 0,089 | 1,59    | 84,06 | 5,00            |

100 mg/l MB, 1 g/l Zeolite, Visible



10 mg/l MB, 0,1 g/l Zeolite, Visible





# Modelli cinetici per l'adsorbimento



- Pseudo-primo ordine

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t)$$

dove:

$q_t$  è la quantità di sostanza adsorbita al tempo  $t$  (mg / g);

$q_e$  è la quantità di sostanza adsorbita al tempo di equilibrio (mg / g);

$k_1$  è la costante di tasso di adsorbimento di pseudo primo ordine (1/min).

Se utilizziamo come condizioni al contorno  $q_t=0$  per  $t=0$  e  $q_t=q_t$  per  $t=t$ , integrando otteniamo:

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t$$



- Pseudo-secondo ordine

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2$$

dove:

$k_2$  è la costante del tasso di adsorbimento di pseudo secondo ordine (g · mg<sup>-1</sup> · min<sup>-1</sup>)

usando le condizioni al contorno per integrare i due lati dell'equazione sopra, è possibile ottenere l'equazione di relazione tra  $t / q_t$  e  $t$ :

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

$q$  viene calcolato secondo la seguente equazione:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$$

Dove:

$V$  è il volume della soluzione nel reattore (l)

$m$  è la massa di adsorbente (g);

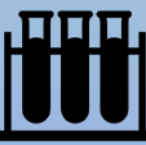
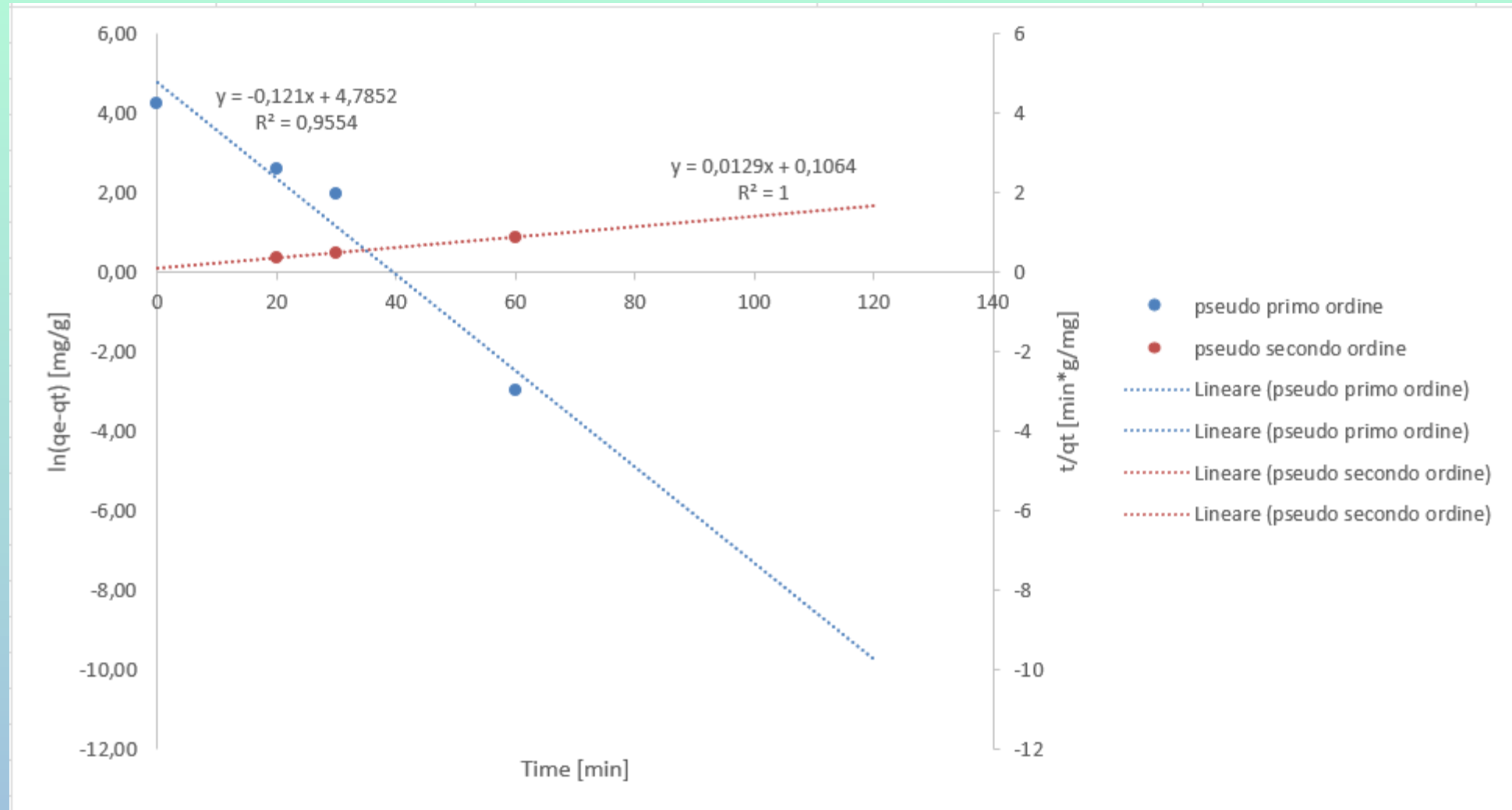
$C_0$  è la concentrazione iniziale (mg/l);

$C_e$  è la concentrazione all'equilibrio (mg/l).





# 150 mg/l MB , 2 g/l Zeolite



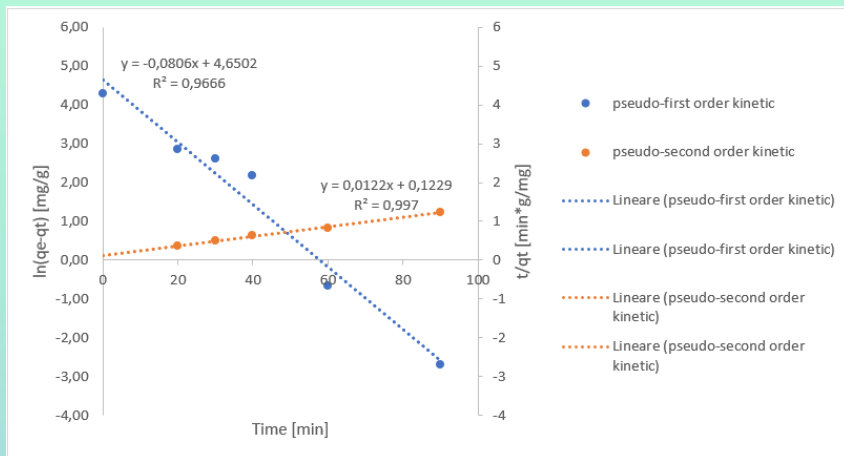




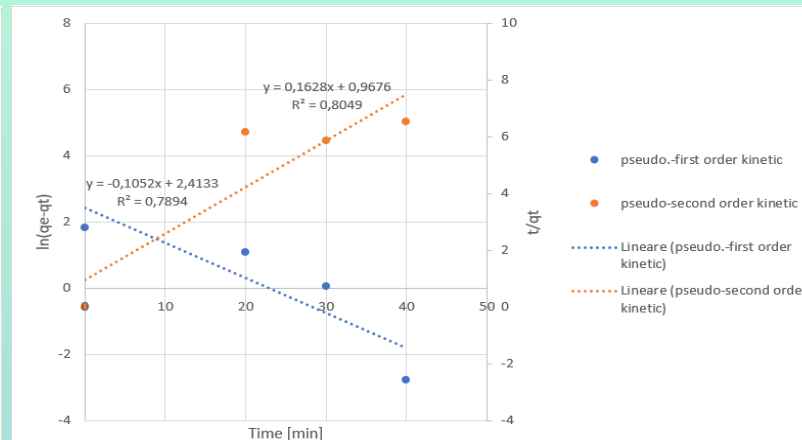
# 100 mg/l , 1 g/l



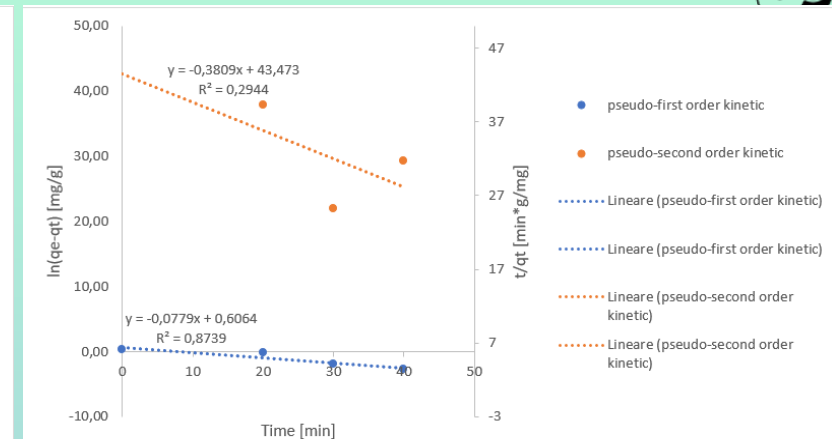
## MB e Zeolite



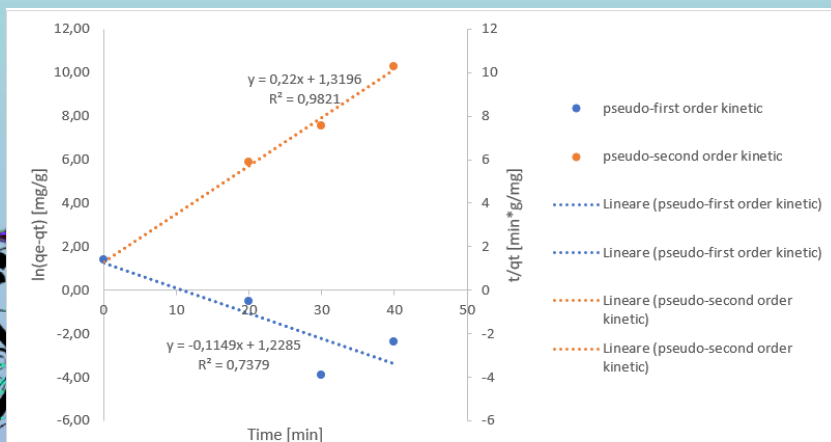
## MO e Zeolite



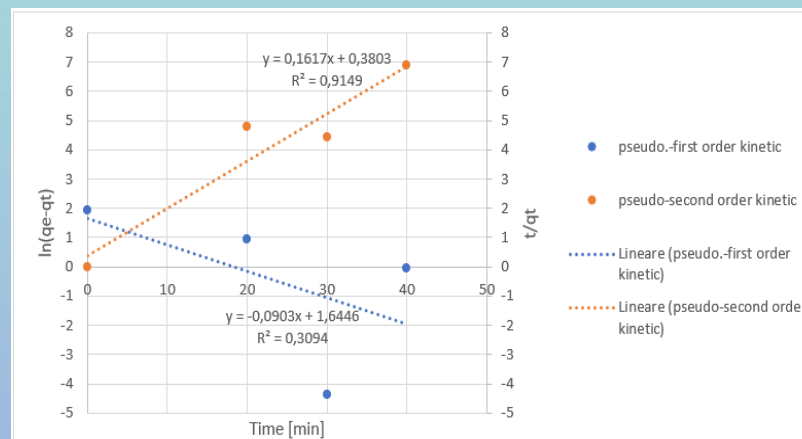
## RR2 e Zeolite



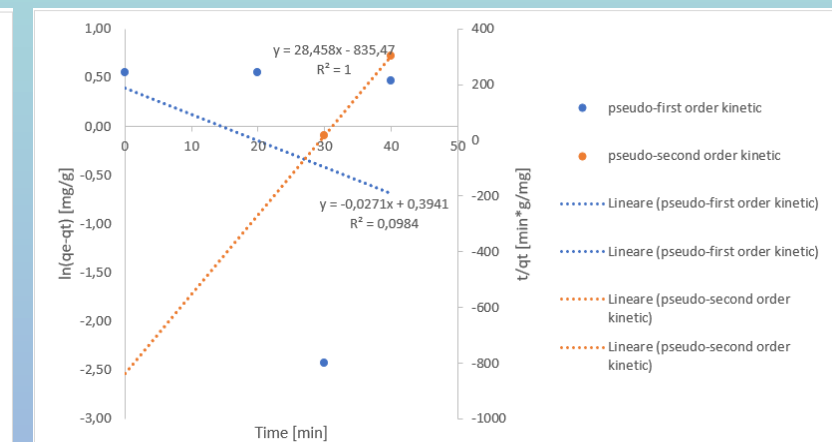
## MB e TiO2



## MO e TiO2



## RR2 e TiO2

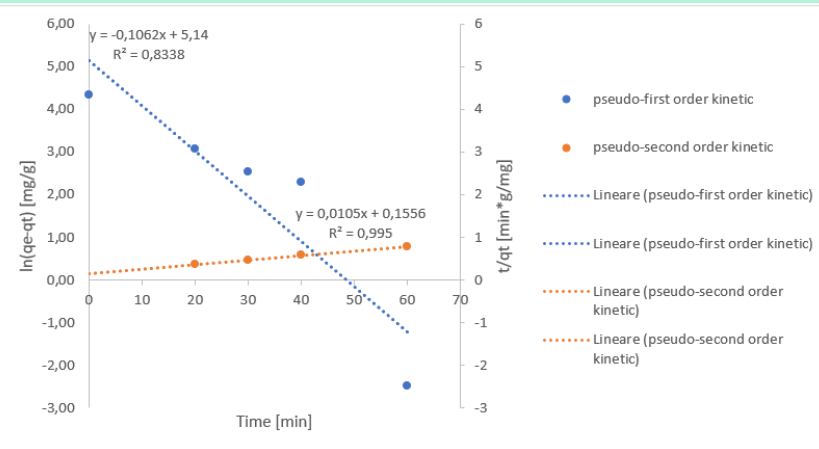




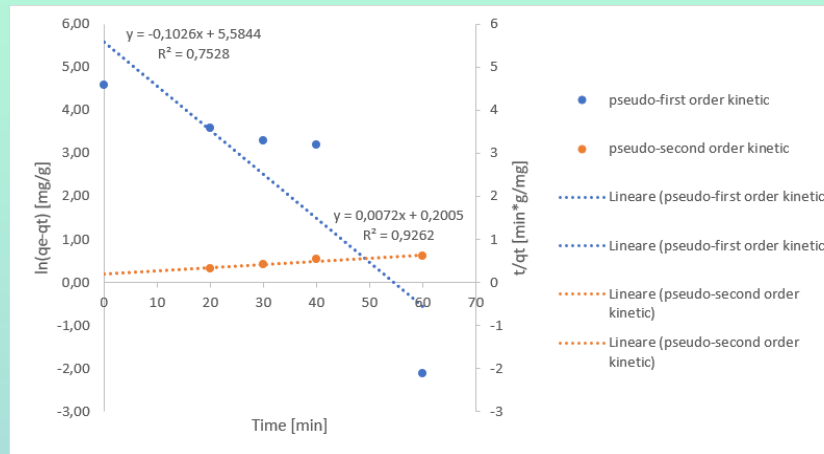
# MB



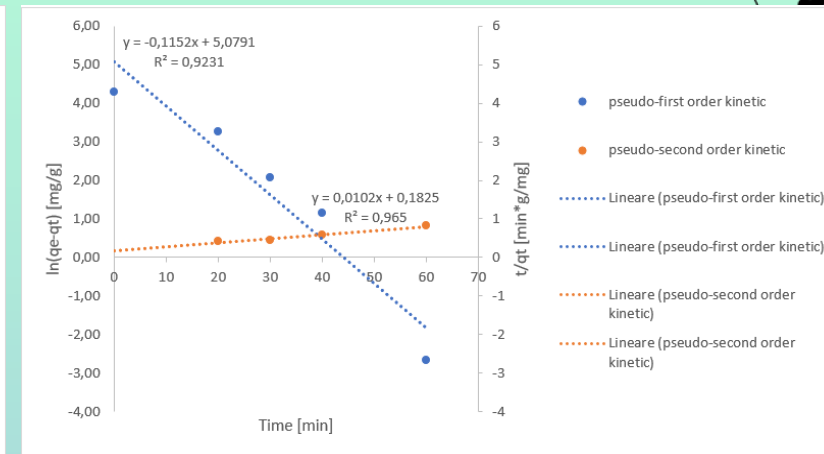
## 50 mg/l MB e 0,4 g/l Zeolite



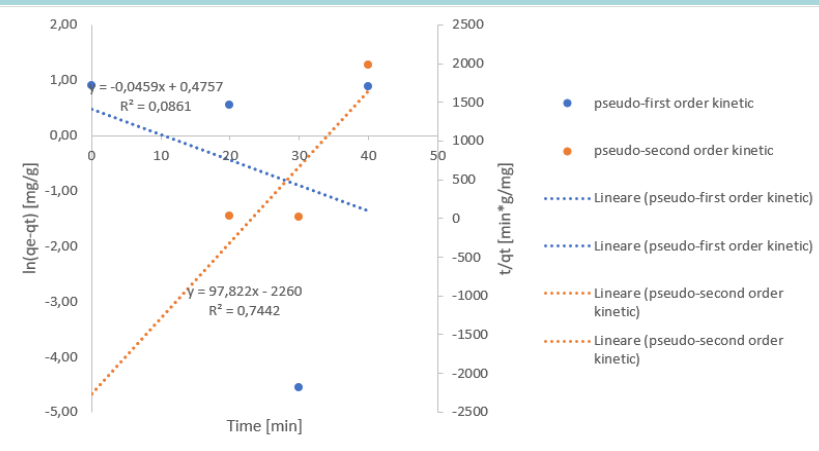
## 20 mg/l MB e 0,1 g/l Zeolite



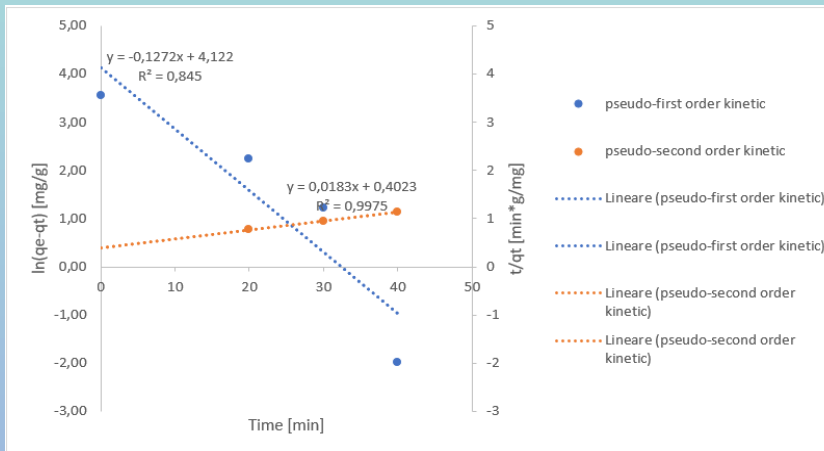
## 10 mg/l MB e 0,1 g/l Zeolite



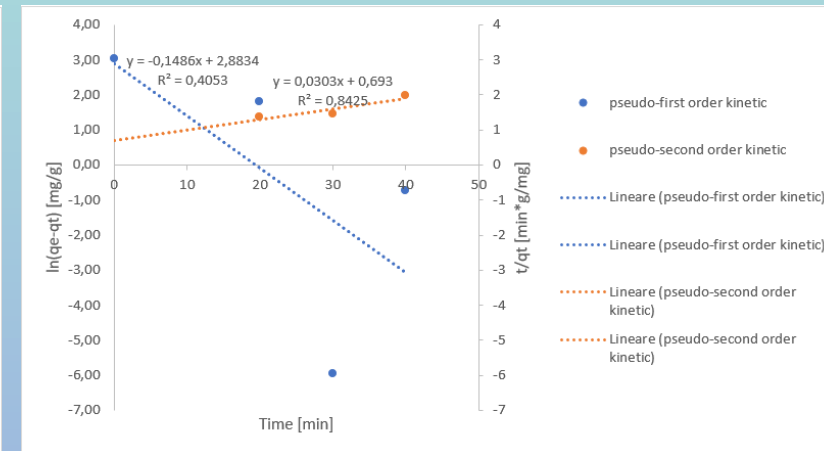
## 50 mg/l MB e 0,4 g/l TiO2



## 20 mg/l MB e 0,1 g/l TiO2



## 10 mg/l MB e 0,1 g/l TiO2





# Modelli cinetici per la fotocatalisi



- Primo ordine

dove:

$$v = k \cdot [A]$$

v è il tasso di velocità di degradazione d[A]/dt (mg/l\*min);

[A] è la concentrazione ad ogni tempo;

k è la costante cinetica di primo ordine (min<sup>-1</sup>)

- Integrando l'equazione, diventa:

$$\ln \frac{[A]_0}{[A]_t} = k \cdot t$$

- Linearizzandola diventa:

$$\ln[A]_t = \ln[A]_0 - k \cdot t$$

- Secondo ordine

$$v = k \cdot [A]^2$$

dove:

k è la costante cinetica di secondo ordine (g · mg<sup>-1</sup> · min<sup>-1</sup>)

- Integrando l'equazione, diventa:

$$\frac{1}{[A]_t} = \frac{1}{[A]_0} + k \cdot t$$

- Dove:

[A<sub>0</sub>] è la concentrazione iniziale o dopo l'equilibrio di adsorbimento





# Perché non usare L-H?



Il modello L – H ignora il seguente meccanismo:

- la **generazione di elettroni** liberi nella banda di conduzione e **buche** libere nella banda di valenza;
- Ignora la **degradazione fotocatalitica** dei contaminanti **non adsorbiti**;
- **ricombinazione** di portatori di carica;
- Rapporto tra la **velocità di reazione**  $v$  e **l'intensità del flusso di fotoni**;
- **Mancata corrispondenza** tra le costanti di adsorbimento dei dati al **buio** con quelli **irraggiati**.

Assume implicitamente tali meccanismi:

- Equilibrio di **adsorbimento/desorbimento** dei reagenti mantenuto sotto irradiazione;

Un modello cinetico che tiene conto della maggior parte degli aspetti di cui sopra è il modello **Direct – Indirect**, di cui però non si dispone di una espressione cinetica.

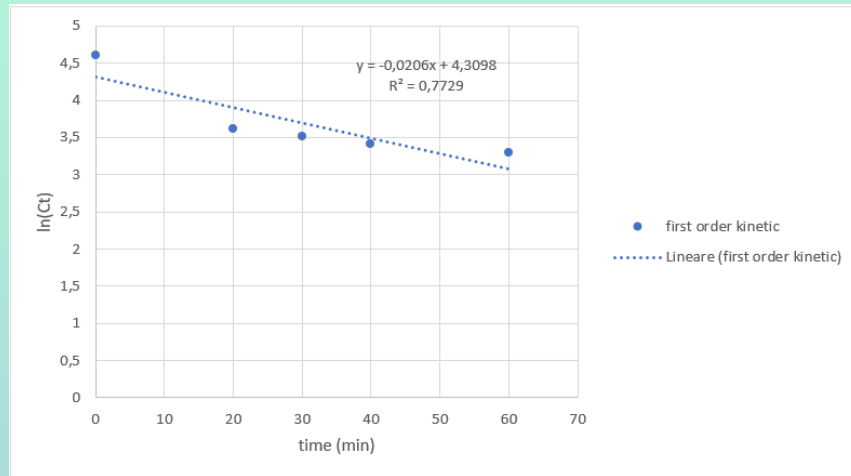




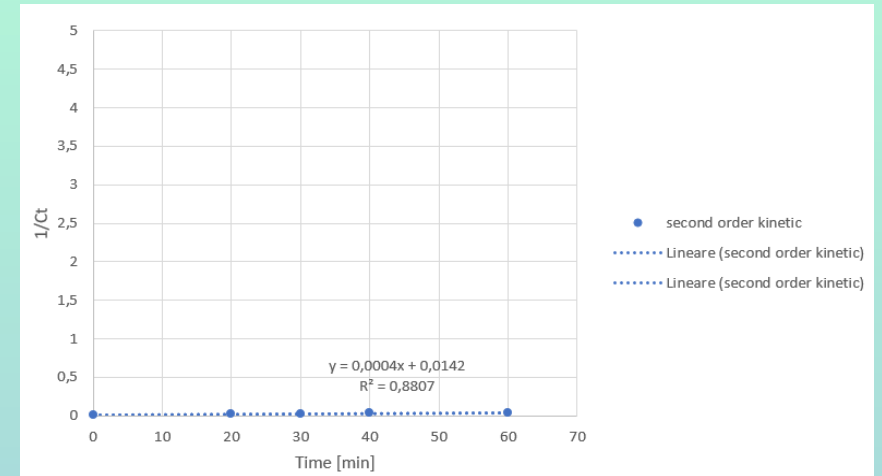
# 100 mg/l MB , 1 g/l, A+F



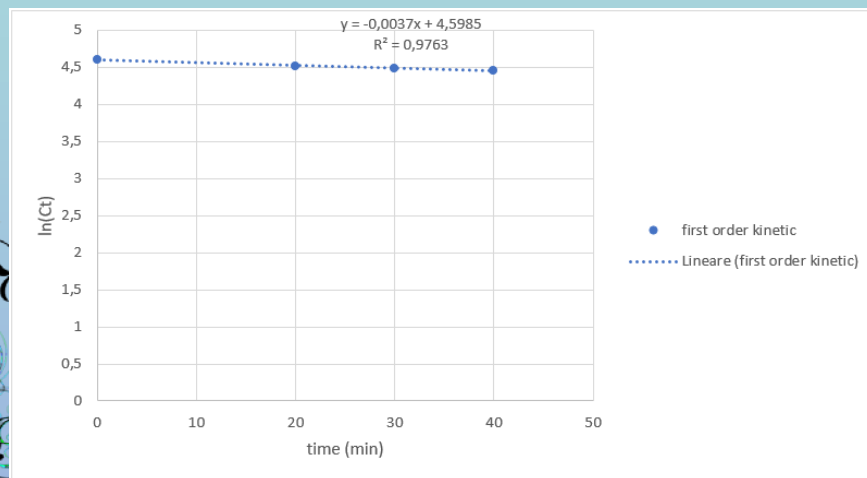
## Primo ordine, zeolite



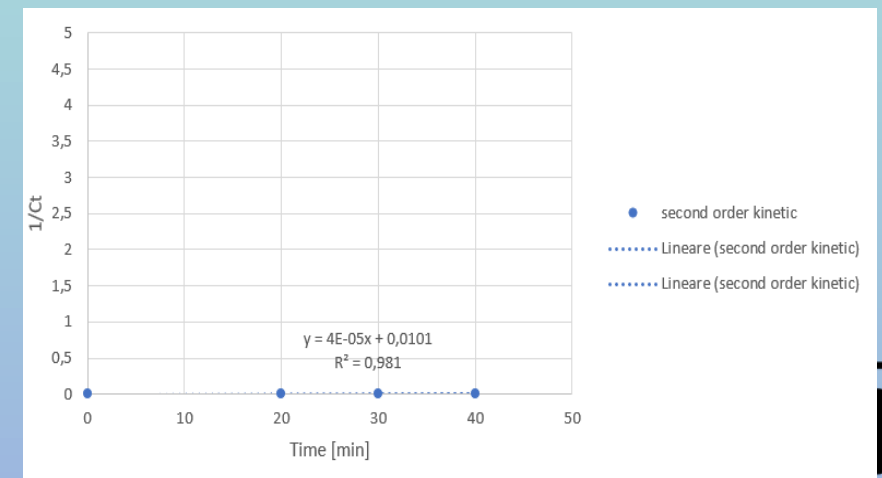
## Secondo ordine, zeolite



## Primo ordine, TiO2



## Secondo ordine, TiO2

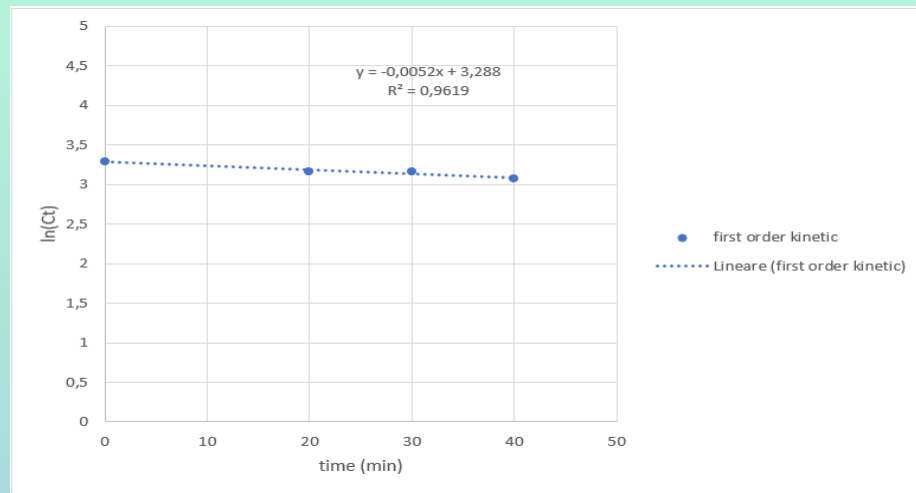




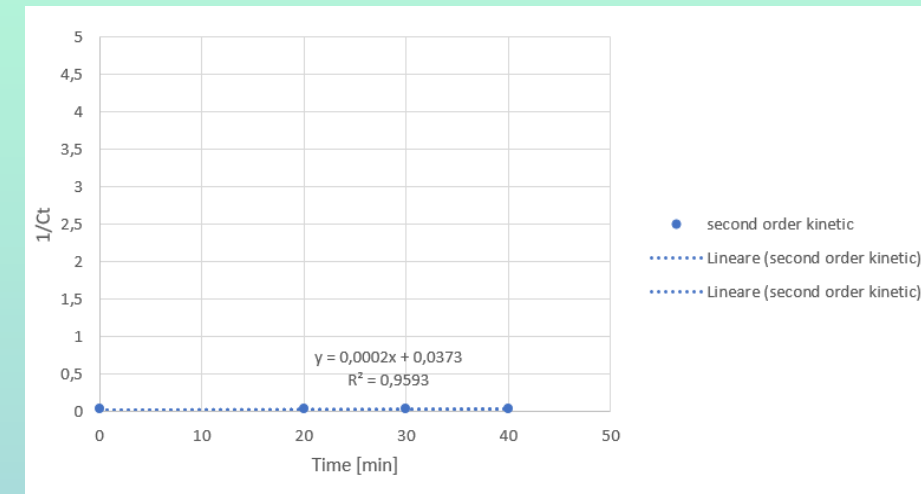
# 100 mg/l MB , 1 g/l, A->F



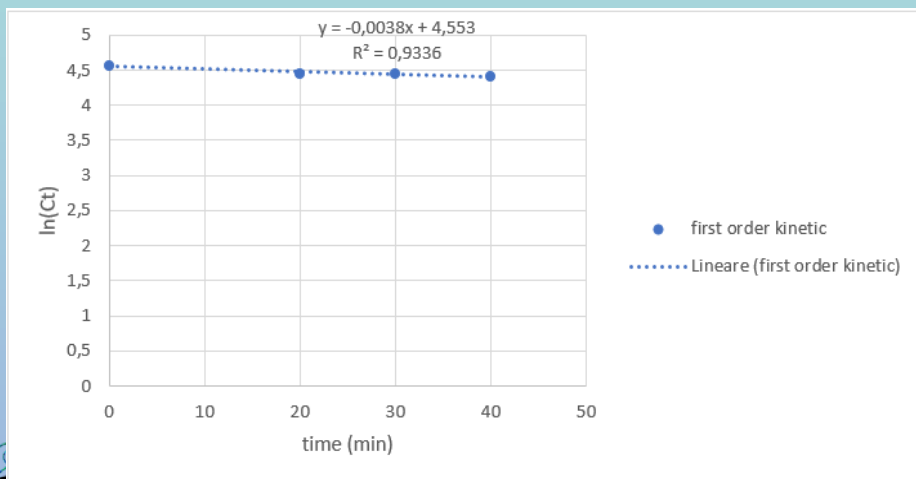
## Primo ordine, zeolite



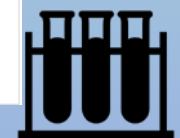
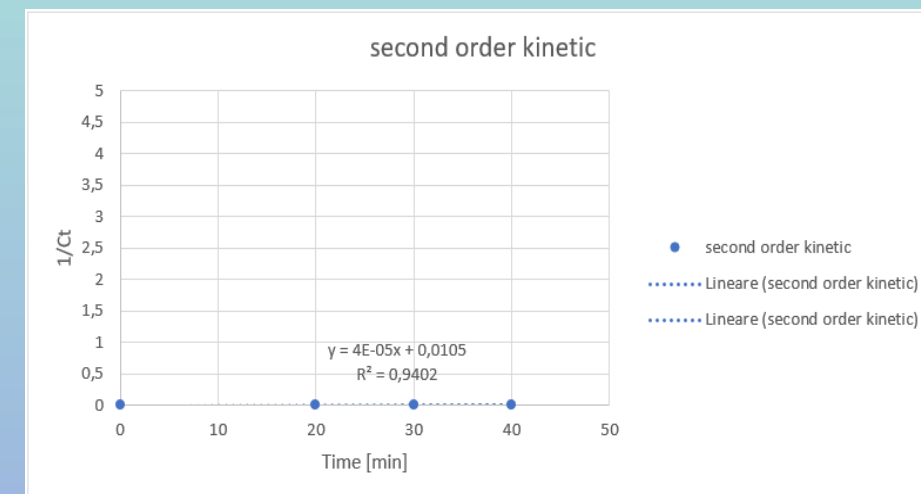
## Secondo ordine, zeolite



## Primo ordine, TiO2



## Secondo ordine, TiO2



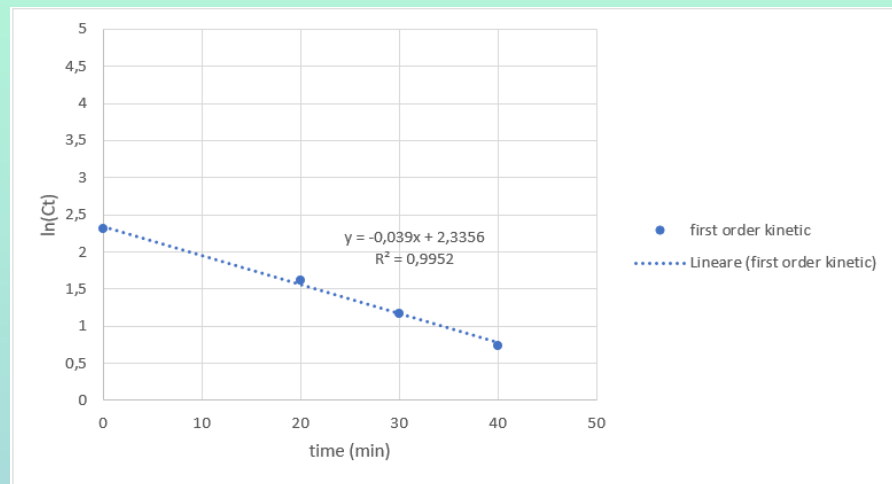




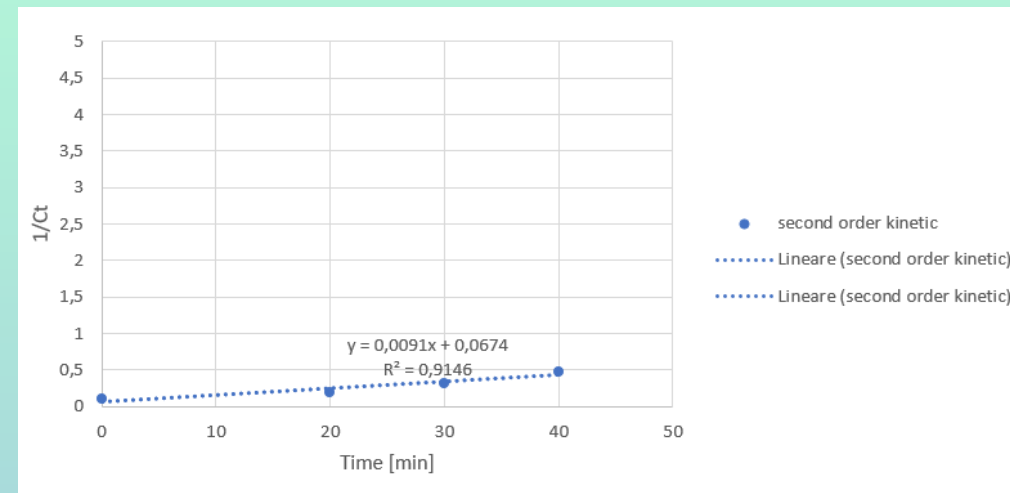
# 10 mg/l MB , 0,1 g/l, A+F



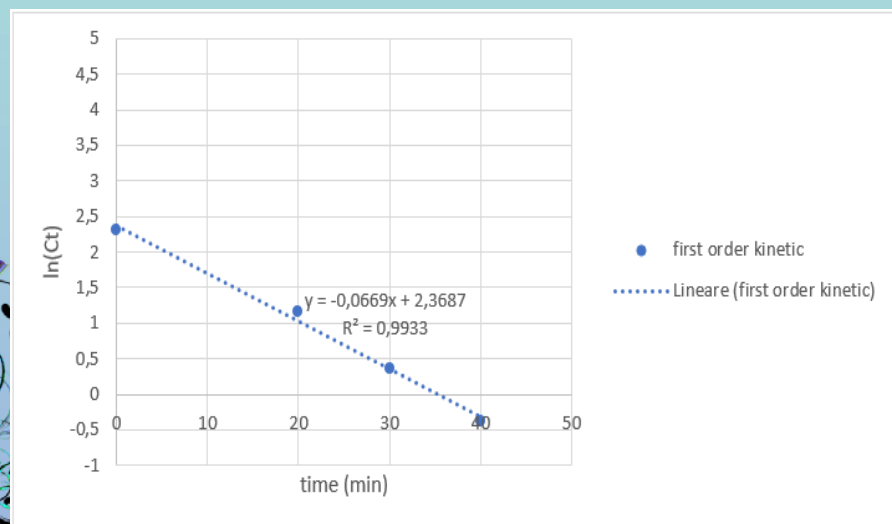
## Primo ordine, zeolite



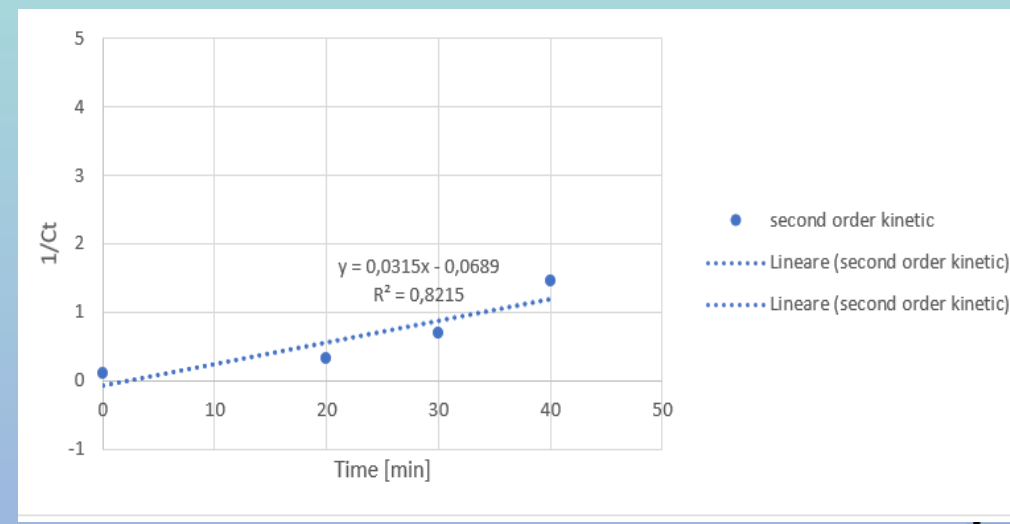
## Secondo ordine, zeolite



## Primo ordine, TiO2



## Secondo ordine, TiO2

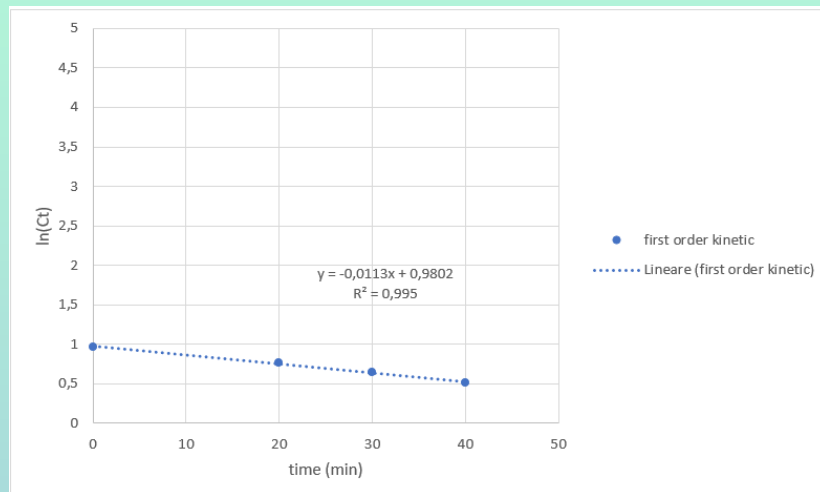




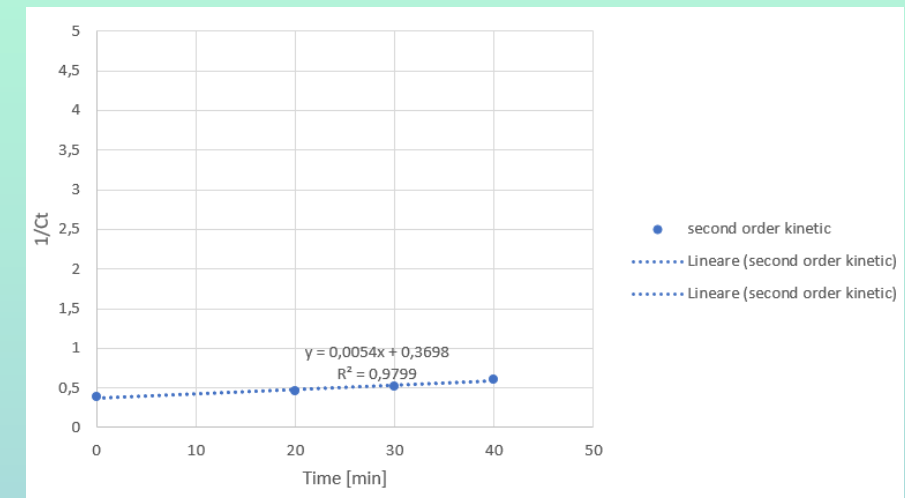
# 10 mg/l MB , 0,1 g/l, A->F



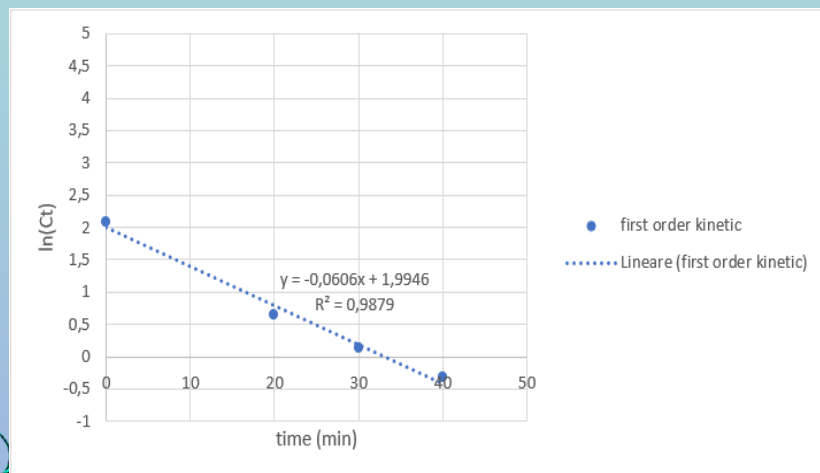
## Primo ordine, zeolite



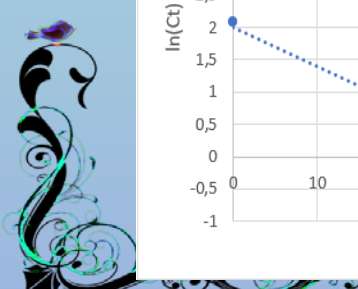
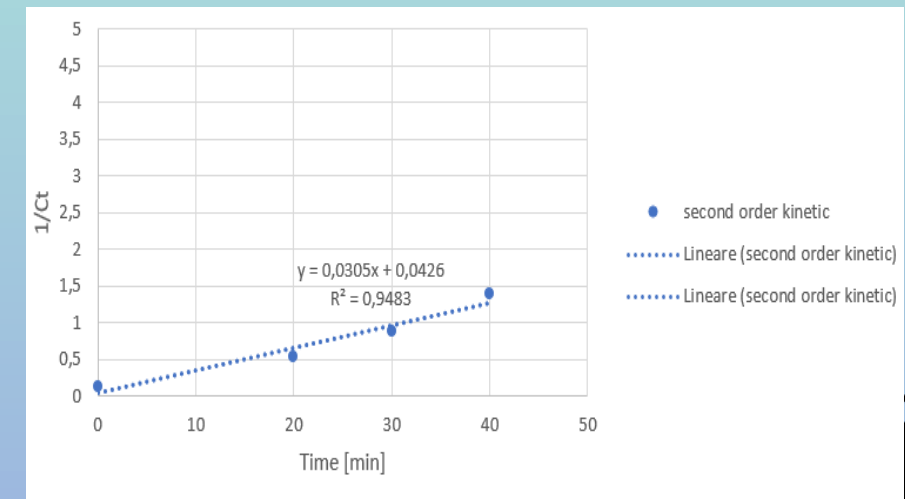
## Secondo ordine, zeolite



## Primo ordine, TiO2



## Secondo ordine, TiO2





# Costanti cinetiche e coefficienti R<sup>2</sup> MB

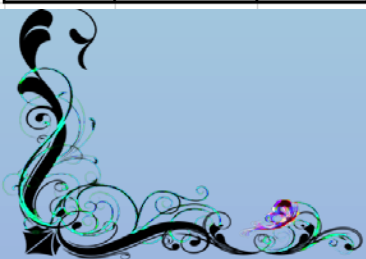


## Adsorbimento

| adsorption kinetic model |                |                    |                |                     |                |                    |                |                     |                |
|--------------------------|----------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------|
|                          |                | Zeolite            |                |                     |                | TiO <sub>2</sub>   |                |                     |                |
| MB [mg/l]                | Catalyst [g/l] | pseudo-first order |                | pseudo-second order |                | pseudo-first order |                | pseudo-second order |                |
|                          |                | k                  | R <sup>2</sup> | k                   | R <sup>2</sup> | k                  | R <sup>2</sup> | k                   | R <sup>2</sup> |
| 500                      | 10             | 0,1063             | 0,8907         | 0,069567            | 0,9997         | /                  | /              | /                   | /              |
| 500                      | 5              | 0,0981             | 0,8264         | 0,004663            | 0,9784         | /                  | /              | /                   | /              |
| 200                      | 10             | 0,0787             | 0,6659         | 1,857857            | 1              | /                  | /              | /                   | /              |
| 200                      | 2              | 0,1674             | 0,8723         | 0,01455             | 0,9941         | /                  | /              | /                   | /              |
| 200                      | 1              | 0,0849             | 0,9798         | 0,003597            | 0,9999         | /                  | /              | /                   | /              |
| 150                      | 2              | 0,121              | 0,9554         | 0,001564            | 1              | /                  | /              | /                   | /              |
| 150                      | 1              | 0,0171             | 0,8456         | 0,003118            | 0,9986         | /                  | /              | /                   | /              |
| 100                      | 2              | 0,0968             | 0,4488         | 0,007795            | 0,998          | /                  | /              | /                   | /              |
| 100                      | 1              | 0,0806             | 0,9666         | 0,001213            | 0,997          | 0,1149             | 0,7379         | 0,036678            | 0,9821         |
| 50                       | 1              | 0,1686             | 0,9712         | 0,004016            | 0,9967         | /                  | /              | /                   | /              |
| 50                       | 0,4            | 0,1062             | 0,8338         | 0,000709            | 0,995          | 0,0459             | 0,0861         | 4,233961            | 0,7442         |
| 20                       | 0,1            | 0,1026             | 0,7528         | 0,000259            | 0,9262         | 0,1272             | 0,845          | 0,000832            | 0,9975         |
| 10                       | 0,4            | /                  | /              | /                   | /              | 0,1118             | 0,3637         | 0,039588            | 0,9697         |
| 10                       | 0,1            | 0,1152             | 0,9231         | 0,00057             | 0,965          | 0,1486             | 0,4053         | 0,001325            | 0,8425         |

## Fotocatalisi

| photocatalysis kinetic model |                |                    |                |                     |                |                    |                |                     |                |        |
|------------------------------|----------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------|--------|
|                              |                | Zeolite            |                |                     |                | TiO <sub>2</sub>   |                |                     |                |        |
| MB [mg/l]                    | Catalyst [g/l] | pseudo-first order |                | pseudo-second order |                | pseudo-first order |                | pseudo-second order |                |        |
|                              |                | k                  | R <sup>2</sup> | k                   | R <sup>2</sup> | k                  | R <sup>2</sup> | k                   | R <sup>2</sup> |        |
| A+F                          | 500            | 10                 | 0,0552         | 0,7646              | 0,0011         | 0,9564             | /              | /                   | /              | /      |
| A+F                          | 500            | 5                  | 0,0161         | 0,7272              | 0,00006        | 0,7896             | /              | /                   | /              | /      |
| A+F                          | 200            | 10                 | 0,0653         | 0,6606              | 0,0057         | 0,8142             | /              | /                   | /              | /      |
| A+F                          | 200            | 2                  | 0,0385         | 0,937               | 0,0003         | 0,9268             | /              | /                   | /              | /      |
| A+F                          | 200            | 1                  | 0,0186         | 0,9039              | 8E-08          | 0,8199             | /              | /                   | /              | /      |
| A->F                         | 200            | 1                  | 0,0003         | 0,9201              | 0,000003       | 0,9208             | /              | /                   | /              | /      |
| A+F                          | 150            | 2                  | 0,0568         | 0,9544              | 0,0014         | 0,9861             | /              | /                   | /              | /      |
| A->F                         | 150            | 2                  | 0,0028         | 0,8235              | 0,0002         | 0,8369             | /              | /                   | /              | /      |
| A+F                          | 150            | 1                  | 0,0192         | 0,8943              | 0,0002         | 0,9279             | /              | /                   | /              | /      |
| A+F                          | 100            | 2                  | 0,0672         | 0,09201             | 0,0032         | 0,9999             | /              | /                   | /              | /      |
| A->F                         | 100            | 2                  | 0,0059         | 0,9608              | 0,0017         | 0,9768             | /              | /                   | /              | /      |
| A+F                          | 100            | 1                  | 0,0206         | 0,7729              | 0,0004         | 0,8807             | 0,0037         | 0,9763              | 0,00004        | 0,981  |
| A->F                         | 100            | 1                  | 0,0052         | 0,9619              | 0,0002         | 0,9593             | 0,0038         | 0,9336              | 0,00004        | 0,9402 |
| A+F                          | 50             | 1                  | 0,0973         | 0,9419              | 0,0214         | 0,9613             | /              | /                   | /              | /      |
| A+F                          | 50             | 0,4                | 0,0204         | 0,9221              | 0,0006         | 0,9582             | 0,004          | 0,8942              | 0,00009        | 0,889  |
| A->F                         | 50             | 0,4                | 0,0042         | 0,8779              | 0,0002         | 0,865              | 0,0065         | 0,9596              | 0,0001         | 0,950  |
| A+F                          | 20             | 0,1                | 0,0116         | 0,9212              | 0,0009         | 0,97               | 0,032          | 0,8587              | 0,0032         | 0,9081 |
| A->F                         | 20             | 0,1                | 0,0059         | 0,7801              | 0,0007         | 0,7535             | 0,0425         | 0,9005              | 0,0066         | 0,9703 |
| A+F                          | 10             | 0,4                | /              | /                   | /              | /                  | 0,0772         | 0,8247              | 0,0492         | 0,9127 |
| A+F                          | 10             | 0,4                | /              | /                   | /              | /                  | 0,0618         | 0,9732              | 0,0441         | 0,9019 |
| A+F                          | 10             | 0,1                | 0,039          | 0,9952              | 0,0091         | 0,9146             | 0,0669         | 0,9933              | 0,0315         | 0,8215 |
| A->F                         | 10             | 0,1                | 0,0113         | 0,995               | 0,0054         | 0,9799             | 0,0606         | 0,9879              | 0,305          | 0,9483 |





# Costanti cinetiche e coefficienti R<sup>2</sup> MO

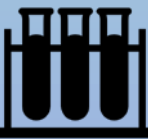


## Adsorbimento

| adsorption kinetic model |              |                    |                |                     |                |                    |                |                     |                |
|--------------------------|--------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------|
|                          |              | Zeolite            |                |                     |                | TiO <sub>2</sub>   |                |                     |                |
| MO [mg/l]                | Catalyst [g] | pseudo-first order |                | pseudo-second order |                | pseudo-first order |                | pseudo-second order |                |
|                          |              |                    |                |                     |                |                    |                |                     |                |
|                          |              | k                  | R <sup>2</sup> | k                   | R <sup>2</sup> | k                  | R <sup>2</sup> | k                   | R <sup>2</sup> |
| 500                      | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 500                      | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 200                      | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 200                      | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 200                      | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 150                      | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 100                      | 2            | 0,0833             | 0,9905         | 0,518838            | 0,9953         | /                  | /              | /                   | /              |
| 100                      | 1            | 0,1052             | 0,7894         | 0,027391            | 0,8049         | 0,0903             | 0,3094         | 0,068753            | 0,9149         |
| 100                      | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 50                       | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 50                       | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 20                       | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 10                       | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 10                       | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |

## Fotocatalisi

|           |              | photocatalysis kinetic model |                |                     |                |                    |                |                     |                |        |
|-----------|--------------|------------------------------|----------------|---------------------|----------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------|--------|
|           |              | Zeolite                      |                |                     |                | TiO <sub>2</sub>   |                |                     |                |        |
| MO [mg/l] | Catalyst [g] | pseudo-first order           |                | pseudo-second order |                | pseudo-first order |                | pseudo-second order |                |        |
|           |              |                              |                |                     |                |                    |                |                     |                |        |
|           |              | k                            | R <sup>2</sup> | k                   | R <sup>2</sup> | k                  | R <sup>2</sup> | k                   | R <sup>2</sup> |        |
|           | 500          | /                            | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |        |
|           | 500          | /                            | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |        |
|           | 200          | /                            | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |        |
|           | 200          | /                            | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |        |
|           | 200          | /                            | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |        |
|           | 150          | /                            | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |        |
| A+F       | 100          | 2                            | 0,0015         | 0,847               | 0,00002        | 0,849              | /              | /                   | /              |        |
| A+F       | 100          | 1                            | 0,0019         | 0,9913              | 0,00002        | 0,993              | 0,0021         | 0,8854              | 0,00002        | 0,8889 |
| A->F      | 100          | 1                            | /              | /                   | /              | /                  | 0,0011         | 0,9735              | 0,00001        | 0,9753 |
| A->F      | 50           | 0,4                          | 0,0001         | 0,7714              | 3E-07          | 0,7714             | 0,0016         | 0,8823              | 0,00003        | 0,8767 |
|           | 50           | /                            | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |        |
| A->F      | 20           | 0,1                          | 0,0008         | 0,9971              | 0,00005        | 0,9972             | 0,0093         | 0,9807              | 0,0006         | 0,9622 |
|           | 10           | /                            | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |        |
|           | 10           | /                            | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |        |





# Costanti cinetiche e coefficienti R<sup>2</sup> RR2



## Adsorbimento

| adsorption kinetic model |              |                    |                |                     |                |                    |                |                     |                |
|--------------------------|--------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------|
|                          |              | Zeolite            |                |                     |                | TiO <sub>2</sub>   |                |                     |                |
| RR2 [mg/l]               | Catalyst [g] | pseudo-first order |                | pseudo-second order |                | pseudo-first order |                | pseudo-second order |                |
|                          |              | k                  | R <sup>2</sup> | k                   | R <sup>2</sup> | k                  | R <sup>2</sup> | k                   | R <sup>2</sup> |
| 500                      | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 500                      | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 200                      | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 200                      | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 200                      | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 150                      | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 100                      | 2            | 0,0569             | 0,9038         | 0,003681            | 0,3615         | /                  | /              | /                   | /              |
| 100                      | 1            | 0,0779             | 0,8739         | 0,003337            | 0,2944         | 0,0271             | 0,0984         | 0,968799            | 1              |
| 100                      | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 50                       | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 50                       | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 20                       | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 10                       | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 10                       | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |

## Fotocatalisi

| photocatalysis kinetic model |              |                    |                |                     |                |                    |                |                     |                |
|------------------------------|--------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------|
|                              |              | Zeolite            |                |                     |                | TiO <sub>2</sub>   |                |                     |                |
| RR2 [mg/l]                   | Catalyst [g] | pseudo-first order |                | pseudo-second order |                | pseudo-first order |                | pseudo-second order |                |
|                              |              | k                  | R <sup>2</sup> | k                   | R <sup>2</sup> | k                  | R <sup>2</sup> | k                   | R <sup>2</sup> |
| 500                          | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 500                          | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 200                          | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 200                          | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 200                          | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| 150                          | /            | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| A+F                          | 100          | 2                  | 0,0015         | 0,8316              | 0,000006       | 0,9219             | /              | /                   | /              |
| A+F                          | 100          | 1                  | 0,0015         | 0,8316              | 0,00005        | 0,8301             | 0,0074         | 0,9556              | 0,00009        |
| A->F                         | 100          | 1                  | /              | /                   | /              | /                  | 0,0112         | 0,9426              | 0,0001         |
| A->F                         | 50           | 5                  | 0,0005         | 0,8869              | 0,00001        | 0,8856             | /              | /                   | /              |
| A->F                         | 50           | 0,4                | 0,000007       | 0,7714              | 1E-07          | 0,7714             | 0,0085         | 0,7821              | 0,0002         |
|                              | 50           | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
| A->F                         | 20           | 0,1                | /              | /                   | /              | /                  | 0,0162         | 0,7271              | 0,0012         |
|                              | 10           | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |
|                              | 10           | /                  | /              | /                   | /              | /                  | /              | /                   | /              |





# RISULTATI MIGLIORI MB



|      | MB [mg/l] | Catalyst [g/l] | Zeolite            |                |                     |                | TiO <sub>2</sub>   |                |                     |                |
|------|-----------|----------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------|--------------------|----------------|---------------------|----------------|
|      |           |                | pseudo-first order |                | pseudo-second order |                | pseudo-first order |                | pseudo-second order |                |
|      |           |                | k                  | R <sup>2</sup> | k                   | R <sup>2</sup> | k                  | R <sup>2</sup> | k                   | R <sup>2</sup> |
| A    | 150       | 2              | 0,121              | 0,955          | 0,002               | 1,000          | /                  | /              | /                   | /              |
| A+F  | 150       | 2              | 0,057              | 0,954          | 0,001               | 0,986          | /                  | /              | /                   | /              |
| A->F | 150       | 2              | 0,003              | 0,824          | 0,000               | 0,837          | /                  | /              | /                   | /              |
| A    | 100       | 1              | 0,081              | 0,967          | 0,001               | 0,997          | 0,115              | 0,738          | 0,037               | 0,982          |
| A+F  | 100       | 1              | 0,021              | 0,773          | 0,000               | 0,881          | 0,004              | 0,976          | 0,000               | 0,981          |
| A->F | 100       | 1              | 0,005              | 0,962          | 0,000               | 0,959          | 0,004              | 0,934          | 0,000               | 0,940          |
| A    | 50        | 0,4            | 0,106              | 0,834          | 0,001               | 0,995          | 0,046              | 0,086          | 4,234               | 0,744          |
| A+F  | 50        | 0,4            | 0,020              | 0,922          | 0,001               | 0,958          | 0,004              | 0,894          | 0,000               | 0,889          |
| A->F | 50        | 0,4            | 0,004              | 0,878          | 0,000               | 0,865          | 0,007              | 0,960          | 0,000               | 0,950          |
| A    | 20        | 0,1            | 0,103              | 0,753          | 0,000               | 0,926          | 0,127              | 0,845          | 0,001               | 0,998          |
| A+F  | 20        | 0,1            | 0,012              | 0,921          | 0,001               | 0,970          | 0,032              | 0,859          | 0,003               | 0,908          |
| A->F | 20        | 0,1            | 0,006              | 0,780          | 0,001               | 0,754          | 0,043              | 0,901          | 0,007               | 0,970          |
| A    | 10        | 0,1            | 0,115              | 0,923          | 0,001               | 0,965          | 0,149              | 0,405          | 0,001               | 0,843          |
| A+F  | 10        | 0,1            | 0,039              | 0,995          | 0,009               | 0,915          | 0,067              | 0,993          | 0,032               | 0,822          |
| A->F | 10        | 0,1            | 0,011              | 0,995          | 0,005               | 0,980          | 0,061              | 0,988          | 0,305               | 0,948          |







# CONCLUSIONI (1)



Attraverso questo studio è stato dimostrato come la zeolite non ha la stessa efficienza del biossido di titanio nel campo fotocatalitico, e ciò potrebbe esser dovuto a:

- Troppo materiale fotocatalizzatore, che potrebbe diventare **scavenger radicalico**, ed essendo particellare (sospeso e non adeso), potrebbe **limitare la permeabilità dei raggi luminosi** nella soluzione per la sua intensità, e farebbe **agglomerare** le particelle, riducendone la superficie specifica, fondamentale nel processo di fotocatalisi;
- Maggiore è la concentrazione del colorante e maggiore è **l'indice di rifrazione della luce**, e il raggio riesce ad attraversare più difficilmente la soluzione;
- **L'adsorbimento è molto potente**, non riusciamo a rilevare efficienti catalitiche; Inoltre, se il materiale fotocatalitico **si satura** con troppa sostanza, questa sostanza assorbe la luce al posto del materiale fotocatalitico;
- La zeolite potrebbe non funzionare con materiale organico complesso, con catena di carbonio più lunga di **cinque atomi di carbonio**;
- Potrebbero esserci dei **prodotti intermedi** difficili da rompere, in quanto adsorbiti sulla superficie del catalizzatore, e potrebbero fungere da **scavenger del radicale OH**;
- I **coloranti sono molto stabili**, in quanto il gruppo azoico diventa parte del fenomeno di **delocalizzazione** della carica che coinvolge i gruppi fenilici e i sostituenti legati agli anelli benzenici;
- Il **biossido di titanio** ha una forma delle particelle irregolare, questo potrebbe **limitarne l'adsorbimento**, ma la fotocatalisi funziona molto bene, in quanto è un materiale nanoparticellare, la cui superficie specifica è di circa **40 m<sup>2</sup>/g** contro **1,24 m<sup>2</sup>/g** della zeolite 4A



# CONCLUSIONI (2)

In letteratura troviamo pochi studi (10 mg/l, 0,1 g/l), i cui risultati sono coerenti con l'elaborato appena presentato:

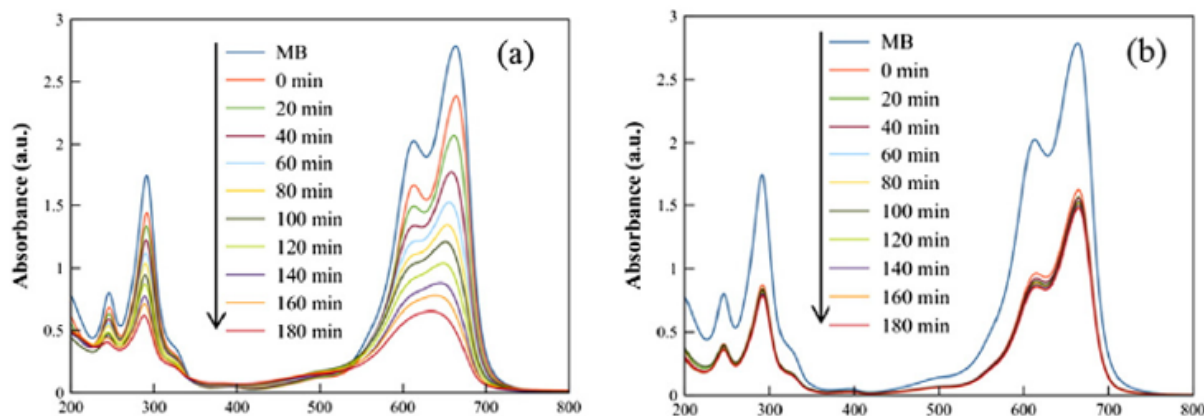


Figura 188. Adsorbimento del MB da parte del  $\text{TiO}_2$  (a) e della zeolite originale (b)

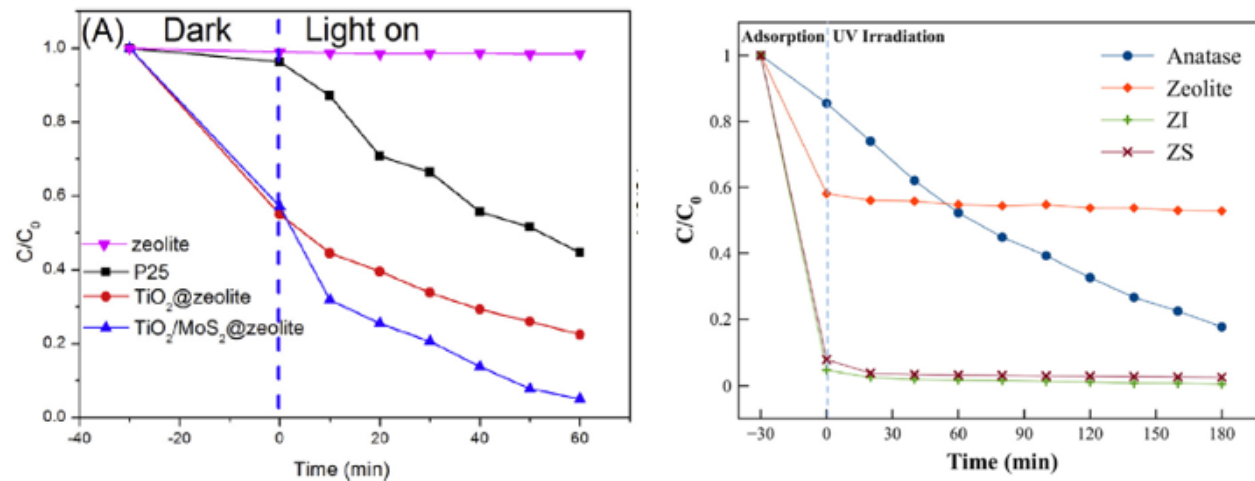


Figura 190. Concentrazione relativa di rimozione del MO (a) e MB (b) da parte di diversi materiali fotocatalitici

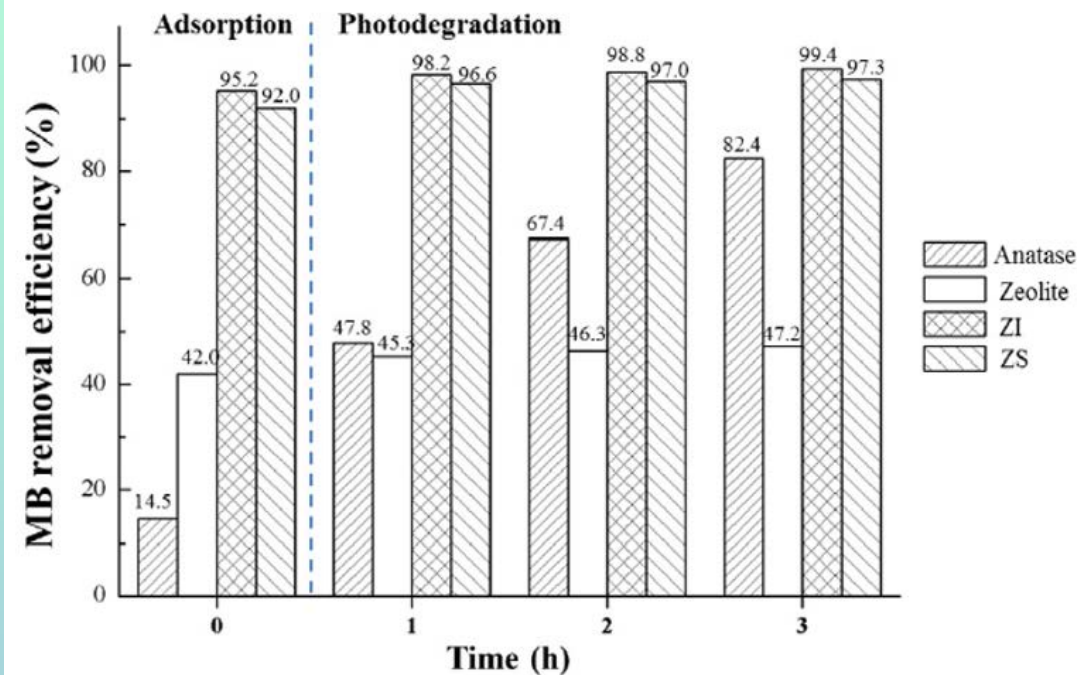


Figura 189. Percentuale di rimozione del MB da parte di diversi materiali fotocatalitici

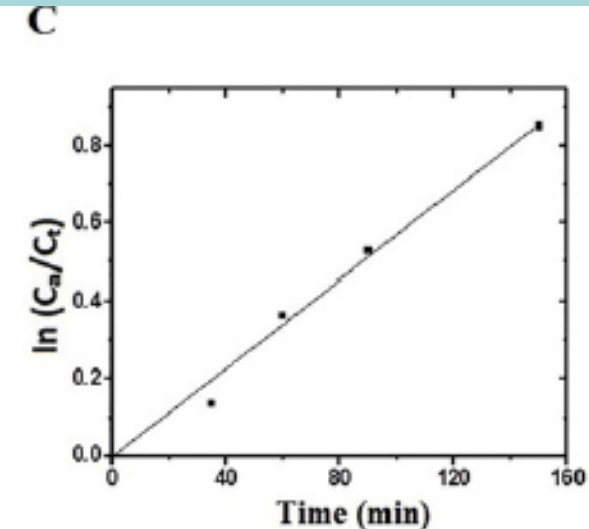
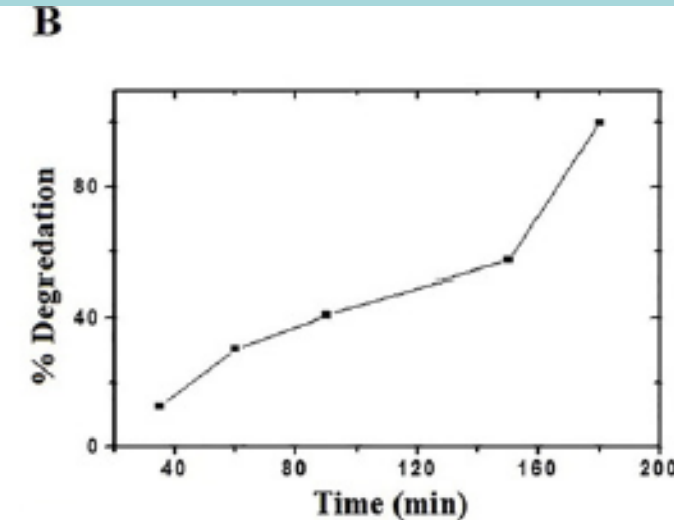
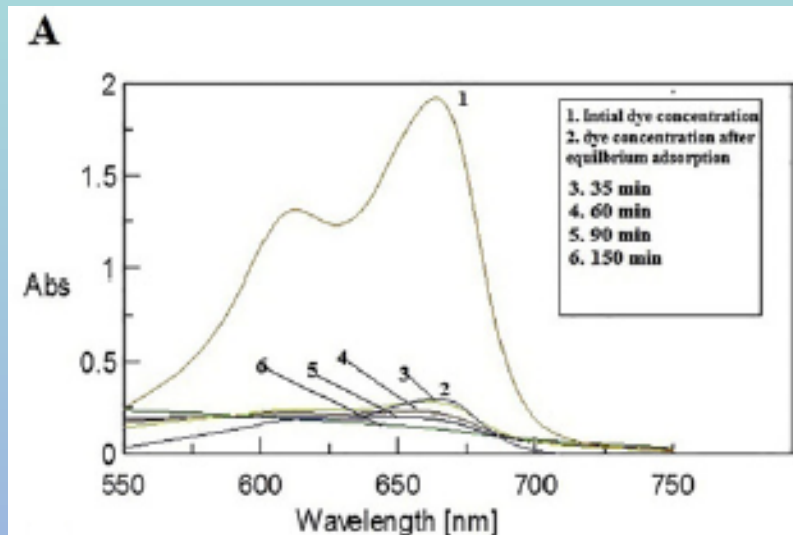
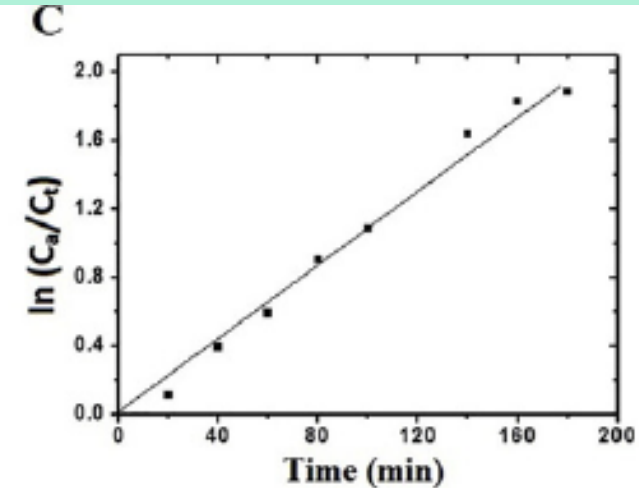
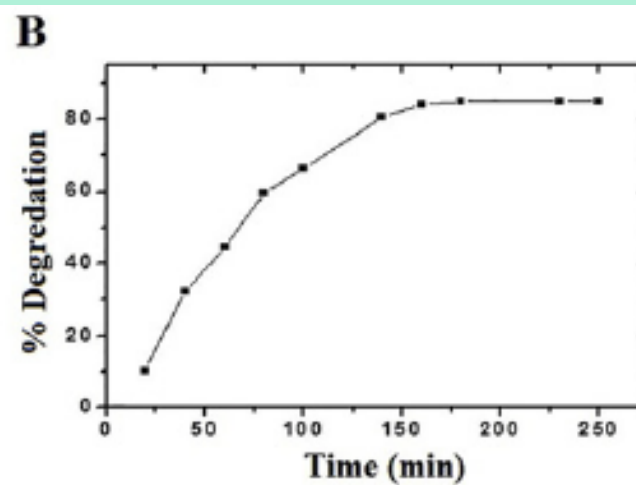
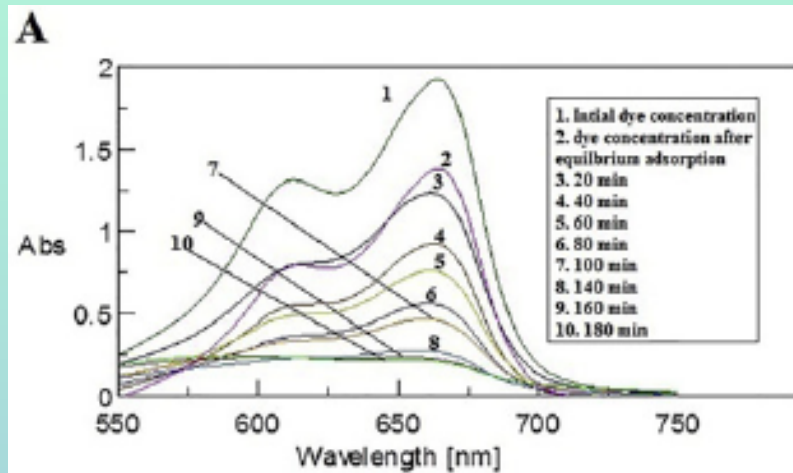
- Per migliorare la decolorazione, si potrebbe aggiungere **acqua ossigenata**,
- **Aumentare i tempi di reazione, variare il pH e la T**, utilizzare **altri tipi di zeolite**



# CONCLUSIONI (3)



Mostafa Y et al. hanno utilizzato due tipi di zeolite fabbricate utilizzando isopropossido di alluminio (A,B,C sopra) e **alluminato di sodio** (A,B,C sotto, più simile alla nostra), e valutando le percentuali di rimozioni relative, hanno ottenuto risultati molto simili a quelli riportati in questo studio.





GRAZIE PER  
L'ATTENZIONE