



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI "FEDERICO II"



**Scuola Politecnica e delle Scienze di Base
Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale**

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE ED IL TERRITORIO**

**"Il Kriging spazio-temporale per l'interpolazione di misure della qualità dell'aria
acquisite tramite dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici"**

Relatore

**Ch.mo Prof. Ing.
Massimiliano Fabbricino**

Co-relatore

Dott.ssa Grazia Fattoruso

Candidato

**Della Porta Agostino
Matr. M67/413**

Anno Accademico 2018/2019



Obiettivo



Elaborazione di mappe di qualità dell'aria a scala stradale attraverso il metodo geostatistico del *kriging spazio-temporale*, applicato su misure di parametri della qualità dell'aria, acquisite da sensoristica innovativa mobile quale il dispositivo MONICA

Il controllo della qualità dell'aria

✓ Centraline fisse: ARPA

✓ Sensori mobili: MONICA



Agostino Della Porta- **Il Kriging spazio-temporale per l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici**



MONICA

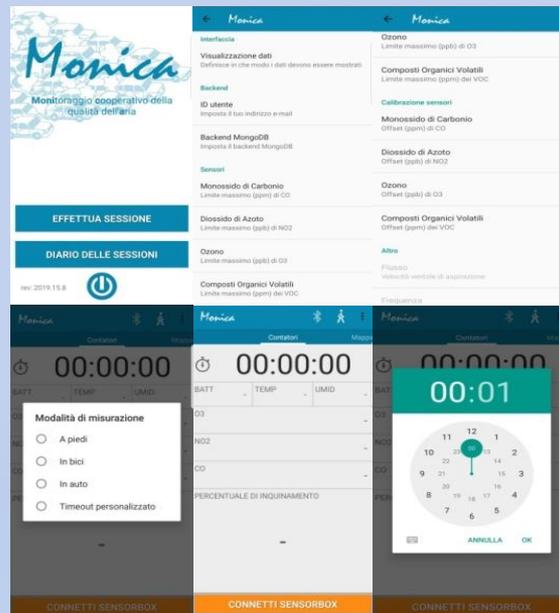
(MONItoraggio Cooperativo della qualità dell'Aria)



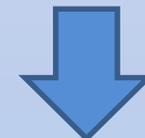
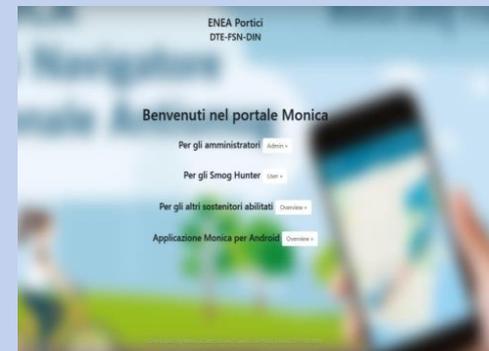
Auto



Settaggio dei parametri per la campagna



Interfaccia Web



File formato .csv

| ORA | TEMP | UMID | NO2 | CO | PM10 | PM2.5 |
|------------------|-------|------|------|---------|---------|-------|
| 01/07/2019 13:07 | 35.97 | 24.1 | 40.0 | 40.0096 | 14.2364 | |
| 01/07/2019 13:07 | 35.78 | 24.1 | 40.0 | 40.0096 | 14.2377 | |
| 01/07/2019 13:07 | 35.6 | 24 | 40.0 | 40.0096 | 14.2363 | |
| 01/07/2019 13:07 | 44.47 | 23.9 | 41.2 | 40.0096 | 14.2363 | |
| 01/07/2019 13:07 | 40.44 | 23.9 | 41.2 | 40.0096 | 14.2363 | |
| 01/07/2019 13:07 | 40.89 | 23.9 | 41.2 | 40.0096 | 14.2363 | |
| 01/07/2019 13:07 | 71.08 | 23.9 | 41.2 | 40.0096 | 14.2363 | |
| 01/07/2019 13:07 | 42.4 | 23.9 | 41.2 | 40.0096 | 14.2364 | |
| 01/07/2019 13:07 | 43.61 | 23.9 | 41.2 | 40.0096 | 14.2363 | |
| 01/07/2019 13:07 | 45.4 | 24 | 41.2 | 40.0096 | 14.2367 | |
| 01/07/2019 13:07 | 46.86 | 24 | 41.2 | 40.0111 | 14.2374 | |
| 01/07/2019 13:07 | 50.42 | 24.1 | 41.7 | 40.0111 | 14.2376 | |
| 01/07/2019 13:07 | 52.3 | 24 | 41.2 | 40.0111 | 14.2376 | |
| 01/07/2019 13:07 | 51.48 | 24.1 | 41.7 | 40.0111 | 14.2376 | |
| 01/07/2019 13:08 | 47.49 | 24.1 | 41.2 | 40.0111 | 14.2376 | |
| 01/07/2019 13:08 | 45.81 | 24.1 | 41.4 | 40.0117 | 14.2372 | |
| 01/07/2019 13:08 | 53.62 | 24 | 41.2 | 40.0121 | 14.2374 | |
| 01/07/2019 13:08 | 52.34 | 24.1 | 41.1 | 40.0121 | 14.2374 | |
| 01/07/2019 13:08 | 50.46 | 24.1 | 41.1 | 40.0124 | 14.2383 | |
| 01/07/2019 13:08 | 50.24 | 24.1 | 41.1 | 40.0124 | 14.2383 | |
| 01/07/2019 13:08 | 49.25 | 24.1 | 41.1 | 40.0124 | 14.2383 | |

Bici



Esposizione agli inquinanti in tempo reale



Inquinanti rilevati

- CO
- NO2
- O3

Passeggino



Agostino Della Porta- Il Kriging spazio-temporale per l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici

Area studio: città di Portici



Strade monitorate:

- Via Corso Umberto I
- Via della Libertà
- Via Da Vinci
- Via Diaz
- Corso Garibaldi



MODALITA' DI CAMPIONAMENTO

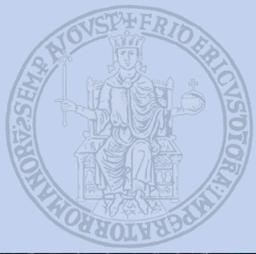
- Auto
- $f=1-2$ sec
- $v_{max}=25-30$ km/h

Campagne eseguite:

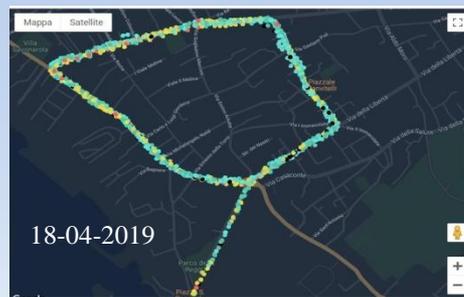
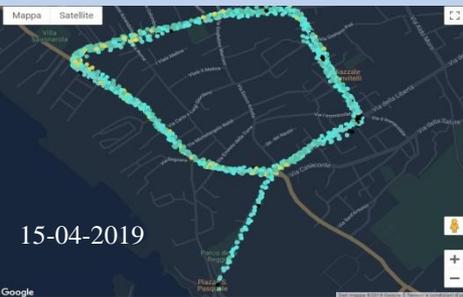
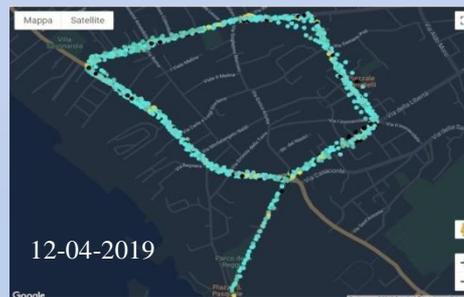
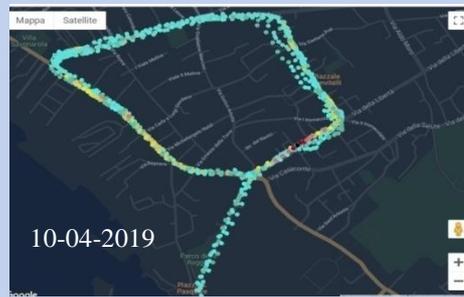
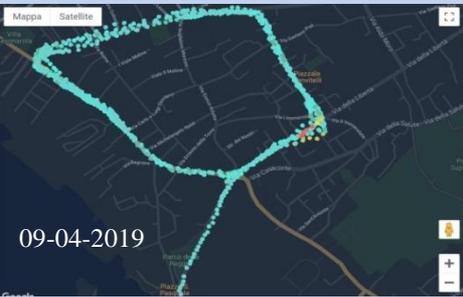
- 09-04-2019
- 10-04-2019
- 11-04-2019
- 12-04-2019
- 15-04-2019
- 18-04-2019

Fasce orarie:
09.00-10.00
13.00-14.00
17.00-18.00

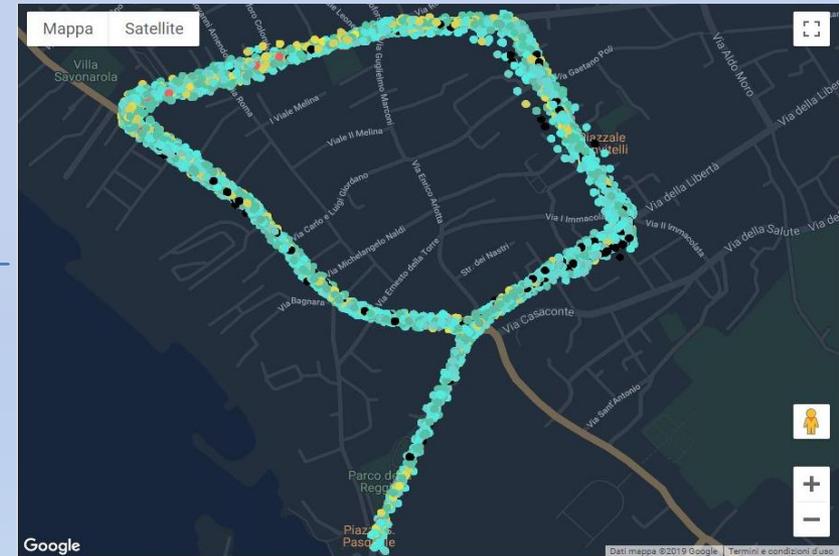
Agostino Della Porta- Il Kriging spazio-temporale per l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici



Dati acquisiti: creazione dataset



Visualizzazione tramite Interfaccia web
Totale dei dati acquisiti durante la campagna di 6 giorni:



I punti campionati sono circa 14000

| Map Legend | | European Air Quality Index | | | | | |
|------------|--|----------------------------|-----------|------------|-------------|-------------|--------|
| | | 20% | 40% | 60% | 80% | 100% | > 100% |
| Gas | | (0 - 1) | (1 - 2) | (2 - 4) | (4 - 6) | (6 - 8) | |
| CO (ppm) | | (0 - 21) | (21 - 53) | (53 - 106) | (106 - 212) | (212 - 319) | |
| NO2 (ppb) | | (0 - 40) | (40 - 60) | (60 - 90) | (90 - 120) | (120 - 300) | |
| O3 (ppb) | | | | | | | |

Agostino Della Porta- Il Kriging spazio-temporale per l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici



Il kriging spazio-temporale



Il principio fondante della geostatistica è **l'autocorrelazione spaziale**:

“Ogni cosa è collegata con le altre, ma le cose più vicine sono più collegate tra loro di quelle distanti” (Tobler)

- **Kriging spaziale**

$$Z(s) = \mu + \varepsilon'(s)$$

- **Variogramma spaziale**

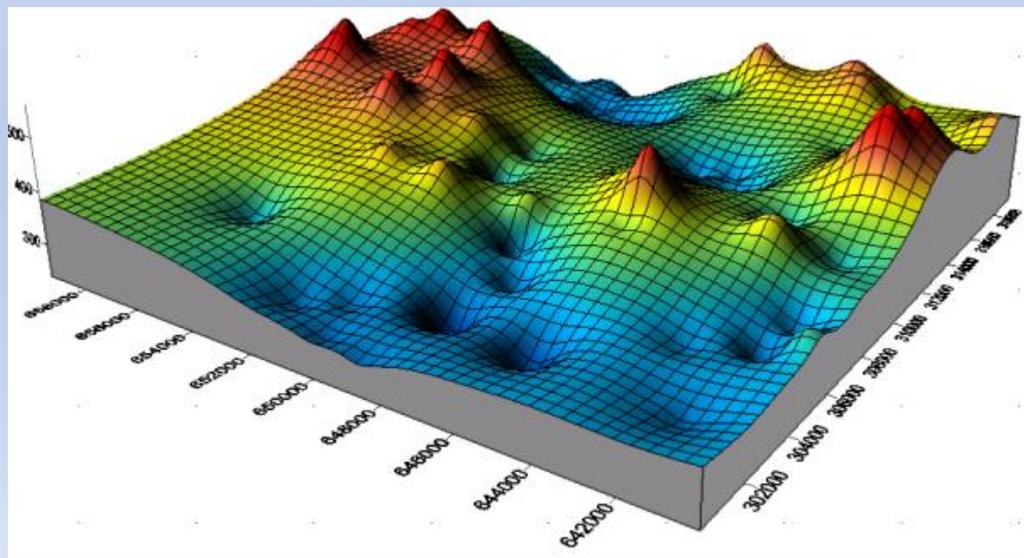
$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{N(h)} \{[Z(s_i) - Z(s_j)]\}^2$$

- **Kriging spazio-temporale**

$$Z(s,t) = \mu(s,t) + \varepsilon(s,t)$$

- **Variogramma spazio-temporale**

$$\hat{\gamma}(h,u) = \frac{1}{2N(h,u)} \sum_{N(h,u)} \{[Z(s_i, t_i) - Z(s_j, t_j)]\}^2$$



Agostino Della Porta- Il Kriging spazio-temporale per l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici



Software R



Gestione di dataset spazio-temporali mediante R

I pacchetti

- *spacetime*
- *sp*
- *xts*
- *gstat*
- *geoR*
- *raster*
- *rgdal*

The screenshot shows the RStudio interface with the following components:

- Script Editor:** Contains R code for loading a shapefile, creating a spatial grid, and plotting a road network over time. The code includes:


```

234 roads <- shapefile(strade)
235 klass1.UTM<-spstransform(roads, CRS("+init=epsg:3395"))
236 splot(klass1.UTM)
237 #plot ( spdf.UTM , add = T , col = "red" )
238 #Crea Griglia Spaziale
239 sp.grid.UTM <- spsample ( roads , n = 10000 , type = "regular", cellsize=
240 #sp.grid.UTM <- spsample ( roads , n = 1000 , type = "stratified", cellsize=
241 proj.klass1.UTM<-proj4string(klass1.UTM)
242 sp.grid.UTM<-spstransform(sp.grid.UTM,CRS(proj.klass1.UTM))
243 #plot(sp.grid.UTM)
244 #plot(sp.grid.UTM,add=T,col="red")
245
246
247 #griglia <- ST.grid
248 #Crea Griglia Temporale
249 tm.grid <- seq ( as.POSIXct ( '2019-04-15 09:27 CET' ) , as.POSIXct ( '
250 plot(tm.grid)
251
252
253 <
254 >
255 227:50 (Top Level)
      
```
- Environment:** Lists objects in the workspace, including 'df' (5 obs. of 3 variables), 'DS' (3 obs. of 5 variables), 'KrigST_Months_Raster...', 'KrigST_Months_Raster...', 'O3_Dataset' (200183 obs. of 6 variables), 'O3_Hourly_KrigResults', and 'O3_Hourly_KrigVar'.
- Plots:** A grid of six plots showing the road network at different time points: 2011-10-14 11:14:46, 2011-10-29 19:32:00, 2011-11-14 02:49:24, 2011-11-29 11:08:43, 2011-12-14 19:24:02, and 2011-12-30 03:41:21. A legend indicates different colors for different time periods: 0: 4749.71553, 7: 155.13839, 13: 83.2051, 20: 51.2719, 27: 19.3387.
- Console:** Shows the R startup message and the loading of required packages: 'raster', 'sp', and 'spacetime'.

Classi dei dati

- STDF (Space Time Full Data Frame)
- STIDF (Space Time Irregular Data Frame)

Agostino Della Porta- Il Kriging spazio-temporale per
l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite
dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici



Il codice del kriging spazio-temporale in R



```
58 varEmp=varEmp_Reg #SALVA WORKSPACE AS
59
60 plot(varEmp,wireframe=T)
61 plot(varEmp, map=F)
62 plot(varEmp, frame=T)
63
64
65 #Fit variogramma empirico-Definisco il miglior modello di variogramma che fitta meglio i dati
66
67 # lower and upper bounds-limiti superiore ed inferiore
68 pars.l <- c(sill.s = 0, range.s = 10, nugget.s = 0,sill.t = 0, range.t = 1, nugget.t = 0,sill.st = 0, range.st = 10, nugget.st = 0, anis = 0)
69 pars.u <- c(sill.s = 600, range.s = 1000, nugget.s = 100,sill.t = 200, range.t = 60, nugget.t = 100,sill.st = 200, range.st = 1000, nugget.st = 100,anis = 700)
70
71 #SeparableModel 1 Sph-Sph
72 separable1 <- vgmST("separable", space = vgm(-60,"Sph", 500, 1),time = vgm(35,"Sph", 500, 1), sill=404.0454)
73 separable_vgm1 <- fit.stvariogram(varEmp, separable1, fit.method=13)
74 #Calcola MSE SeparableModel
75 attr(separable_vgm1, "MSE")
76 attr(separable_vgm1, "optim")
77 #Plot del fit
78 plot(varEmp, separable_vgm1, map=F, main="Separable Sph-Sph")
79
80 #SeparableModel 1 Exp-Sph
81 separable2 <- vgmST("separable", space = vgm(-60,"Exp", 500, 1),time = vgm(35,"Sph", 500, 1), sill=0.56)
82 separable_vgm2 <- fit.stvariogram(varEmp, separable2, fit.method=13)
83 #Calcola MSE SeparableModel
84 attr(separable_vgm2, "MSE")
85 attr(separable_vgm2, "optim")
86 #Plot del fit
87 plot(varEmp, separable_vgm2, map=F, main="Separable Exp-Sph")
88
89 #SeparableModel 1 Exp-Exp
90 separable3 <- vgmST("separable", space = vgm(-60,"Exp", 500, 1),time = vgm(35,"Exp", 500, 1), sill=0.56)
91 separable_vgm3 <- fit.stvariogram(varEmp, separable3, fit.method=13)
92 #Calcola MSE SeparableModel
93 attr(separable_vgm3, "MSE")
94 attr(separable_vgm3, "optim")
95 #Plot del fit
96 plot(varEmp, separable_vgm3, map=F, main="Separable Exp-Exp")
97
98 #SeparableModel 1 Sph-Exp
99 separable4 <- vgmST("separable", space = vgm(-60,"Sph", 500, 1),time = vgm(35,"Exp", 500, 1), sill=0.56)
100 separable_vgm4 <- fit.stvariogram(varEmp, separable4, fit.method=13)
101 #Calcola MSE SeparableModel
102 attr(separable_vgm4, "MSE")
103 attr(separable_vgm4, "optim")
104 #Plot del fit
105 plot(varEmp, separable_vgm4, map=F, main="Separable Sph-Exp")
106
107
108 #ProductSumModel Exp-Exp
109 prodsumModel1 <- vgmST("productsum",space = vgm(1, "Exp", 150, 0.5),time = vgm(1, "Exp", 5, 0.5),k = 50)
110 prodsumModel1_vgm1 <- fit.stvariogram(varEmp, prodsumModel1,method = "L-BFGS-B",lower=pars.l)
111 #Calcola MSE ProductSumModel
112 attr(prodsumModel1_vgm1, "MSE")
113 attr(prodsumModel1_vgm1, "optim")
114
115
116
```

Agostino Della Porta- Il Kriging spazio-temporale per l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici

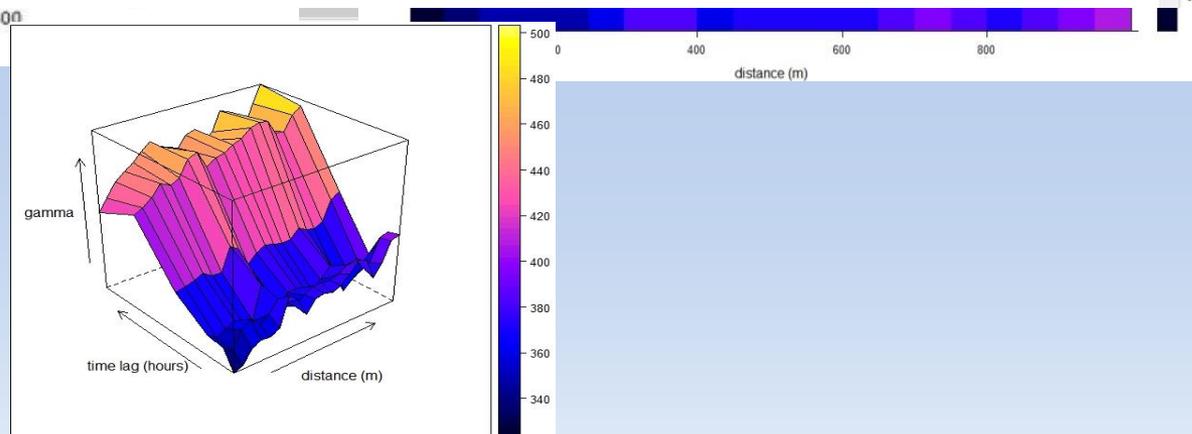


Il codice del kriging spazio-temporale in R

Il codice implementa:

1. L'acquisizione del dataset misurato

```
18 #Inserisci il percorso della cartella che contiene il file .csv
19 setwd("C:\\Users\\fattoruso\\Desktop\\Tesi Agostino\\Session monica-Agostino-2019\\Dataset puliti\\Dataset 03\\Dataset completo") #Inserisci il percorso della cartella che cont
20 data <- read.csv("prova-dataset-monica - dataset completo-corretto.csv", sep=";", header=T)
21 #grazie a questa trasformazione delle coordinate in UTM, il variogramma viene calcolato in metri e non in gradi
22 coordinates(data)=~LON+LAT
23 projection(data)=CRS("+init=epsg:4326")
24
25
26 spdf.UTM <- spTransform(data,CRS("+init=epsg:3395"))
27 dataSP <- SpatialPoints(spdf.UTM@coords,CRS("+init=epsg:3395"))
28 dup1 <- zerodist(dataSP)
29 data <- na.omit(data)
30
31 #Elimino le osservazioni che hanno stesse coordinate spazio-temporali ->
32 #in caso contrario, l'interpolazione non funzionerebbe.
33 dataSP <- dataSP[-dup1[,2]]
34 dataDF <- data.frame(PPB=spdf.UTM$ozone_ppb[-dup1[,2]])
35 dataTM <- as.POSIXct(spdf.UTM$TIME[-dup1[,2]],tz="CET")
36
37 ## Crea un oggetto timeDF di tipo STIDF (unstructured spatio-temporal object) dove tempo e spazio cambiano dinamicamente, combinando i valori in ozoneSP (locazioni spaziali), c
38 dataSTIDF <- STIDF(dataSP, dataTM, data=dataDF)
39
40
```



Agostino Della Porta- Il Kriging spazio-temporale per
l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite
dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici



Il codice del kriging spazio-temporale in R



Il codice implementa:

```
152 #sumMetricModel Exp-Sph
153 sumMetricModel1 <- vgmST("sumMetric", space = vgm(psill=5,"Exp", range=500, nugget=0),time = vgm(psill=500,"Sph", range=500, nugget=0), joint = vgm(psill=1,"
154 sumMetric_vgm1 <- fit.stvariogram(varEmp,sumMetricModel1, method="L-BFGS-B")
155 #Calcola MSE sumMetricModel
156 attr(sumMetric_vgm1, "MSE")
157 attr(sumMetric_vgm1, "optim")
158 #Plot del fit
159 plot(varEmp, sumMetric_vgm1, map=F, main="sum metric Exp-Sph")
160
161 #sumMetricModel Sph-Sph
162 sumMetricModel2 <- vgmST("sumMetric", space = vgm(psill=5,"Sph", range=500, nugget=0),time = vgm(psill=500,"Sph", range=500, nugget=0), joint = vgm(psill=1,"
163 sumMetric_vgm2 <- fit.stvariogram(varEmp,sumMetricModel2, method="L-BFGS-B")
164 #Calcola MSE sumMetricModel
165 attr(sumMetric_vgm2, "MSE")
166 attr(sumMetric_vgm2, "optim")
167 #Plot del fit
168 plot(varEmp, sumMetric_vgm2, map=F, main="sum metric Sph-Sph")
169
170 #sumMetricModel Sph-Exp
171 sumMetricModel3 <- vgmST("sumMetric", space = vgm(psill=5,"Sph", range=500, nugget=0),time = vgm(psill=500,"Exp", range=500, nugget=0), joint = vgm(psill=1,"
96 #ProductSumModel Exp-Exp
97 prodSumModel1 <- vgmST("productSum",space = vgm(1, "Exp", 150, 0.5),time = vgm(1, "Exp", 5, 0.5),k = 50)
98 prodSumModel_vgm1 <- fit.stvariogram(varEmp, prodSumModel1,method = "L-BFGS-B",lower=pars.1)
99 #Calcola MSE ProductSumModel
100 attr(prodSumModel_vgm1, "MSE")
101 attr(prodSumModel_vgm1, "optim")
102 #Plot del fit
103 plot(varEmp, prodSumModel_vgm1, map=F, main="ProductSumModel Exp-Exp")
104
105 #ProductSumModel Sph-Exp
106 prodSumModel2 <- vgmST("productSum",space = vgm(1, "Sph", 150, 0.5),time = vgm(1, "Exp", 5, 0.5),k = 50)
107 prodSumModel_vgm2 <- fit.stvariogram(varEmp, prodSumModel2,method = "L-BFGS-B",lower=pars.1)
108 #Calcola MSE ProductSumModel
109 attr(prodSumModel_vgm2, "MSE")
110 attr(prodSumModel_vgm2, "optim")
111 #Plot del fit
112 plot(varEmp, prodSumModel_vgm2, map=F, main="ProductSumModel Sph-Exp")
113
114 #ProductSumModel Sph-Sph
115 prodSumModel3 <- vgmST("productSum",space = vgm(1, "Sph", 150, 0.5),time = vgm(1, "Sph", 5, 0.5),k = 50)
116 prodSumModel_vgm3 <- fit.stvariogram(varEmp, prodSumModel3,method = "L-BFGS-B",lower=pars.1)
117 #Calcola MSE ProductSumModel
118 attr(prodSumModel_vgm3, "MSE")
119 attr(prodSumModel_vgm3, "optim")
120 #Plot del fit
121 plot(varEmp, prodSumModel_vgm3, map=F, main="ProductSumModel Sph-Sph")
122
123 #ProductSumModel Exp-Sph
124 prodSumModel4 <- vgmST("productSum",space = vgm(1, "Exp", 150, 0.5),time = vgm(1, "Sph", 5, 0.5),k = 50)
125 prodSumModel_vgm4 <- fit.stvariogram(varEmp, prodSumModel4,method = "L-BFGS-B",lower=pars.1)
126 #Calcola MSE ProductSumModel
127 attr(prodSumModel_vgm4, "MSE")
128 attr(prodSumModel_vgm4, "optim")
129 #Plot del fit
130 plot(varEmp, prodSumModel_vgm4, map=F, main="ProductSumModel Exp-Sph")
```

Agostino Della Porta- Il Kriging spazio-temporale per

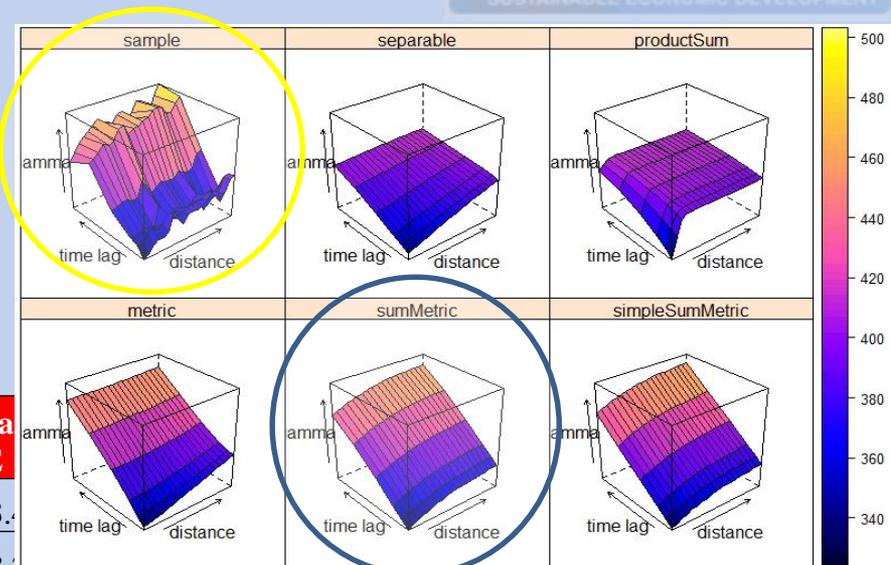
l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite
dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici



Il codice del kriging spazio-temporale in R

Il codice implementa:

4. Calcolo per ogni modello di variogramma sperimentato dell'**RMSE** (Root Mean Square Error).



| MODEL | JOINT | Exp+Exp | Exp+Sph | Sph+Exp | Sph+Sph | Calcola RMSE | | | |
|-------------------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|--------------|--------------|-------|--------|
| separable | · | 2854.356 | 2854.356 | 2854.356 | 1116.79 | 53.4 | | | |
| product-sum | · | 1464.796 | 1880.611 | 1408.186 | 1914.39 | 38.2 | | | |
| metric | · | 375.9249 | | | 22163.82 | 19.39 | | | 148.88 |
| sum-metric | Sph | 374.3079 | 369.1865 | 373.8497 | 373.8497 | 19.35 | 19.21 | 19.34 | 19.34 |
| simple sum-metric | Sph | 374.309 | 374.2909 | 481.5454 | 375.1053 | 19.35 | 19.35 | 21.94 | 19.37 |



Il codice del kriging spazio-temporale in R



Il codice implementa:

5. Applicazione del Kriging per la previsione dei dati

```
232 #Acquisisce shapefile dell'area di interesse e converte in coordinate UTM WGS 84 / world Mercator
233 strade="C:/Users/fattoruso/Desktop/Tesi Agostino/Session monica-Agostino-2019/Shp/Strade_Bruffer_Corretto.shp";
234 roads <- shapefile(strade)
235 klass1.UTM<-spTransform(roads, CRS("+init=epsg:3395"))
236 spplot(klass1.UTM)
237 #plot ( spdf.UTM , add = T , col = "red" )
238 #Crea Griglia Spaziale
239 sp.grid.UTM <- spsample ( roads , n = 10000 , type = "regular", cellsize=10)
240 #sp.grid.UTM <- spsample ( roads , n = 1000 , type = "stratified", cellsize=10)
241 proj.klass1.UTM<-proj4string(klass1.UTM)
242 sp.grid.UTM<-spTransform(sp.grid.UTM,CRS(proj.klass1.UTM))
243 #plot(sp.grid.UTM)
244 #plot(sp.grid.UTM,add=T,col="red")
245
246
247 #griglia <- ST.grid
248 #Crea Griglia Temporale
249 tm.grid <- seq ( as.POSIXct ( '2019-04-15 09:27 CET' ) , as.POSIXct ( '2019-04-15 09:28' ) , length.out = 5)#length.out =numero di output griglia temporale
250 plot(tm.grid)
251
252 #Crea Griglia Spazio-Temporale unendo griglia spaziale e temporale ottenute precedentemente
253 grid.ST <- STF ( sp.grid.UTM , tm.grid )
254
255 #Applica kriging spazio-temporale per la previsione
256
257 #pred <- krigeST ( PPB ~ 1 , data = dataSTIDF , modellList = simpleSumMetric_Vgm, newdata = grid.ST, fullCovariance = FALSE)
258 #pred <- krigeST ( PPB ~ 1 , data = dataSTIDF , modellList = sumMetric_Vgm1, newdata = grid.ST, fullCovariance = FALSE)
259 #pred <- krigeST ( PPB ~ 1 , data = dataSTIDF , modellList = metric_Vgm, newdata = grid.ST, fullCovariance = FALSE)
260 #Plotta Mappa Spazio-Temporali di previsione con diversi intervalli dei valori di concentrazione dell'inquinante
261 stplot(pred,cuts=5)
262 stplot(pred,cuts=10)
263 stplot(pred,cuts=20)
264 #####Istruzione per convertire file .R in .csv
265 write.csv(dataSTIDF, file="OzoneAll-03-2019-04-09.csv")
266 write.csv(pred, file="mappa_predizione-03-2019-04-09.csv")
267
```



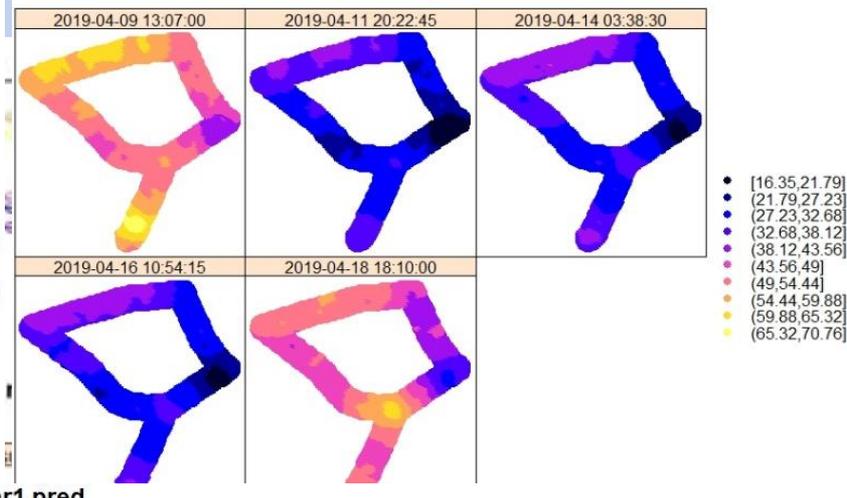
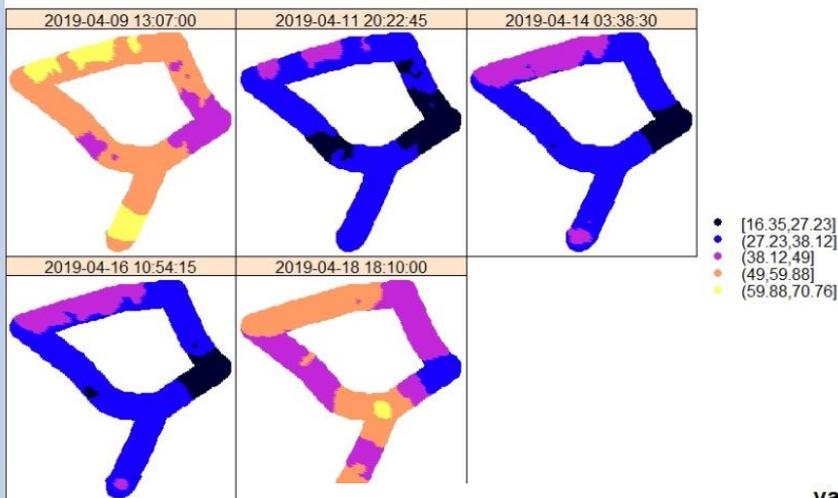
I risultati per O₃

2. I modelli di variogramma

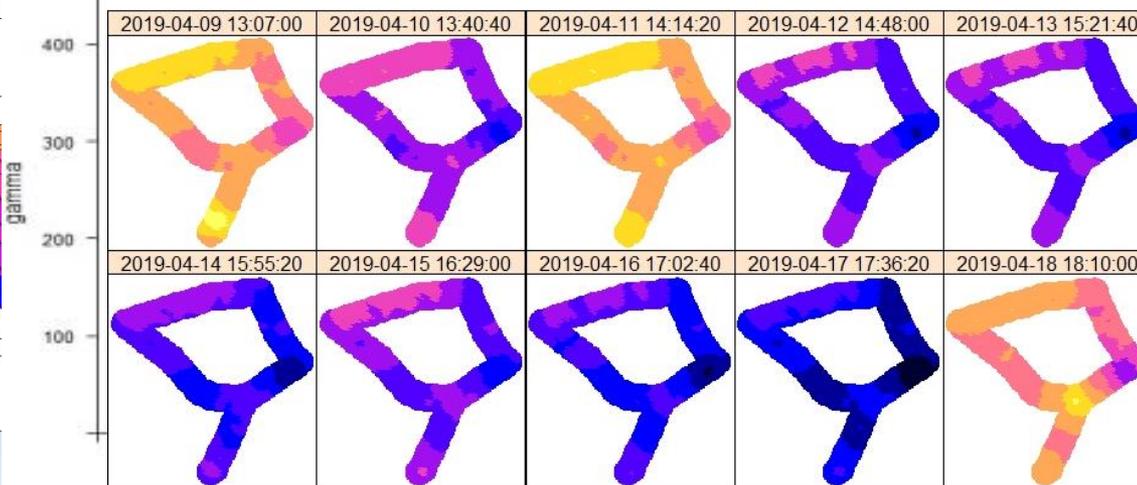
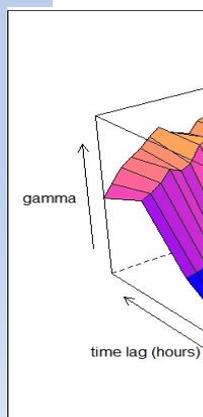
3. Mappe di predizione spazio-temporali in R

var1.pred

var1.pred



var1.pred



Agostino Della Porta- Il Kriging spazio-temporale per
l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite
dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici



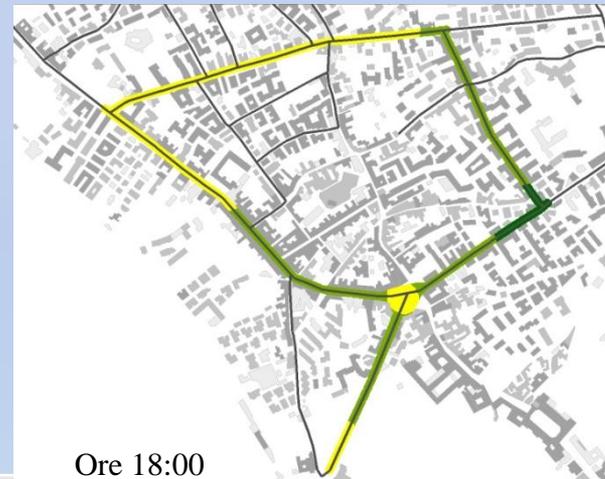
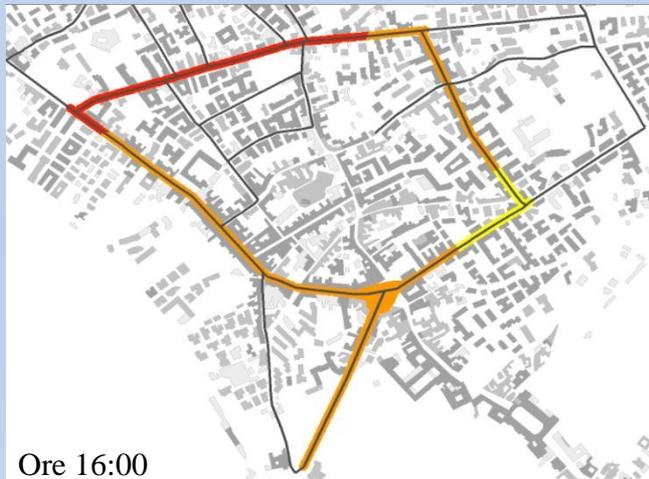
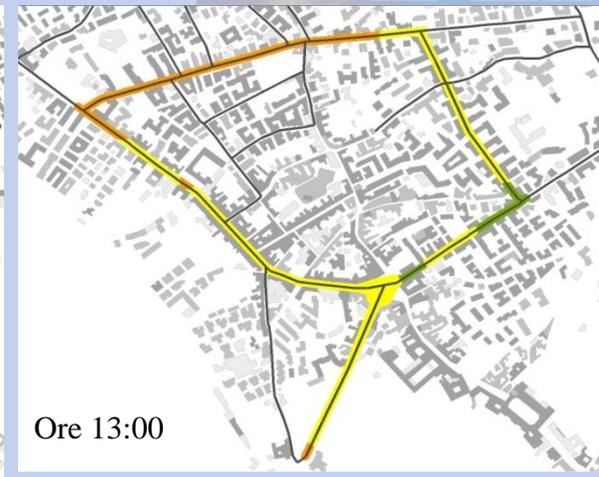
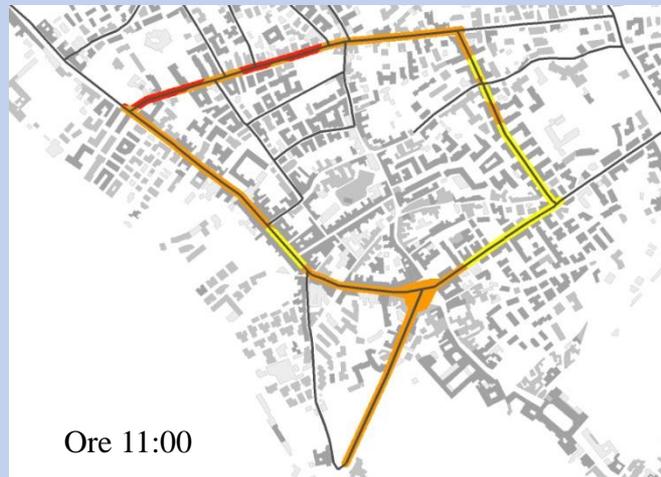
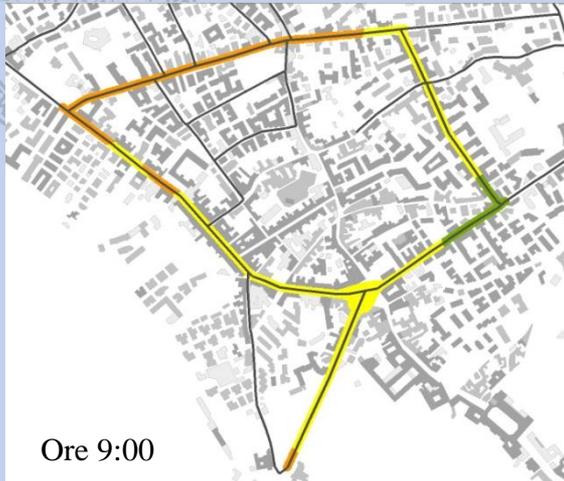
Mappe di O3 elaborate col kriging spazio-temporale visualizzate in ArcGis



- Giorno 09-04-2019
 - Ore 09.00
- Giorno 10-04-2019
 - Ore 11.00
- Giorno 11-04-2019
 - Ore 13.00
- Giorno 12-04-2019
 - Ore 16:00
- Giorno 15-04-2019
 - Ore 18:00
- Giorno 18-04-2019

Agostino Della Porta- **Il Kriging spazio-temporale per l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici**

Mappe del 09-04-2019



Legenda O3 (ppb)

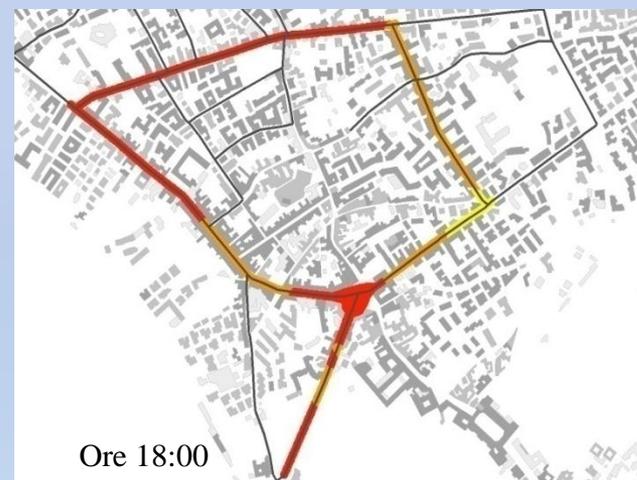
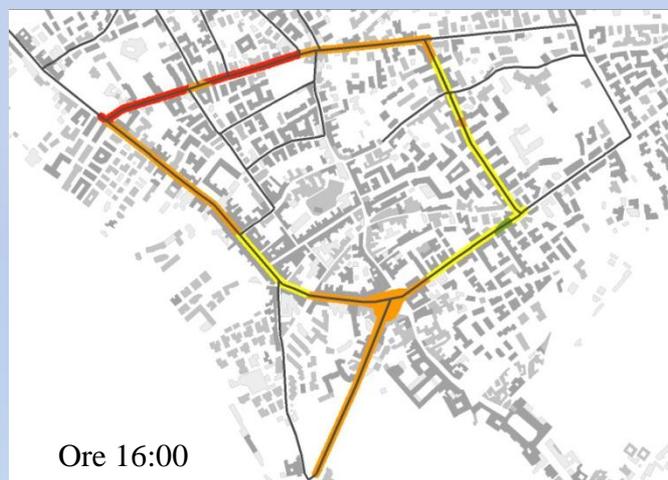
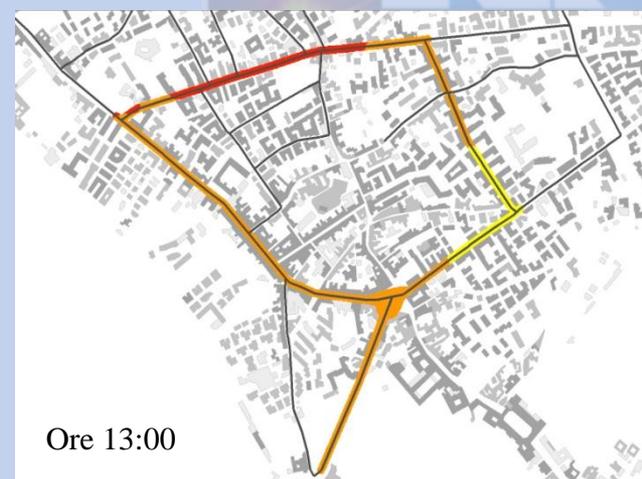
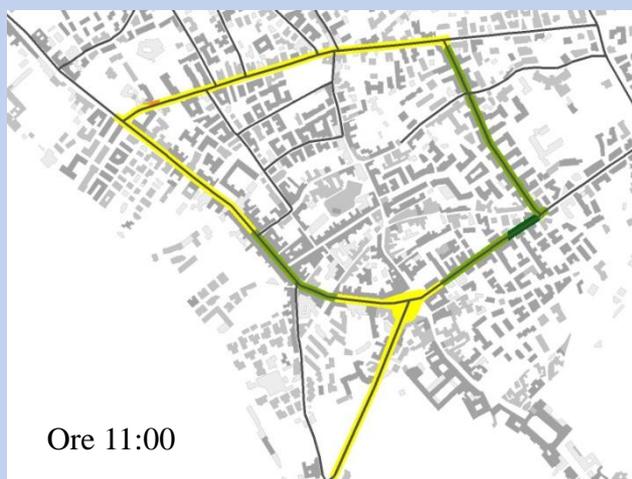
- 27,60578728 - 30,70190683
- 30,70190684 - 39,72217232
- 39,72217233 - 48,83218902
- 48,83218903 - 57,77660045
- 57,77660046 - 66,94857407

| Ora | VELOCITA' DEL VENTO[m/s] | DIREZIONE DEL VENTO [°] | TEMPERATURA [°C] | PRECIPITAZIONI [mm/h] | RADIAZIONE SOLARE [W/m2] |
|-------|--------------------------|-------------------------|------------------|-----------------------|--------------------------|
| 09.00 | 2,77 | 218,78 | 15,0 | 0 | 680,8 |
| 11.00 | 3,616 | 253,89 | 15,47 | 0 | 848,3 |
| 13.00 | 3,93 | 253,37 | 16,1 | 0 | 725,1 |
| 16.00 | 3,45 | 249,04 | 15,9 | 0 | 350,63 |
| 18.00 | 1,94 | 271,157 | 15,8 | 0 | 155,3 |

Agostin
l'interpolazio

dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici

Mappe del 10-04-2019



Legenda O3 (ppb)

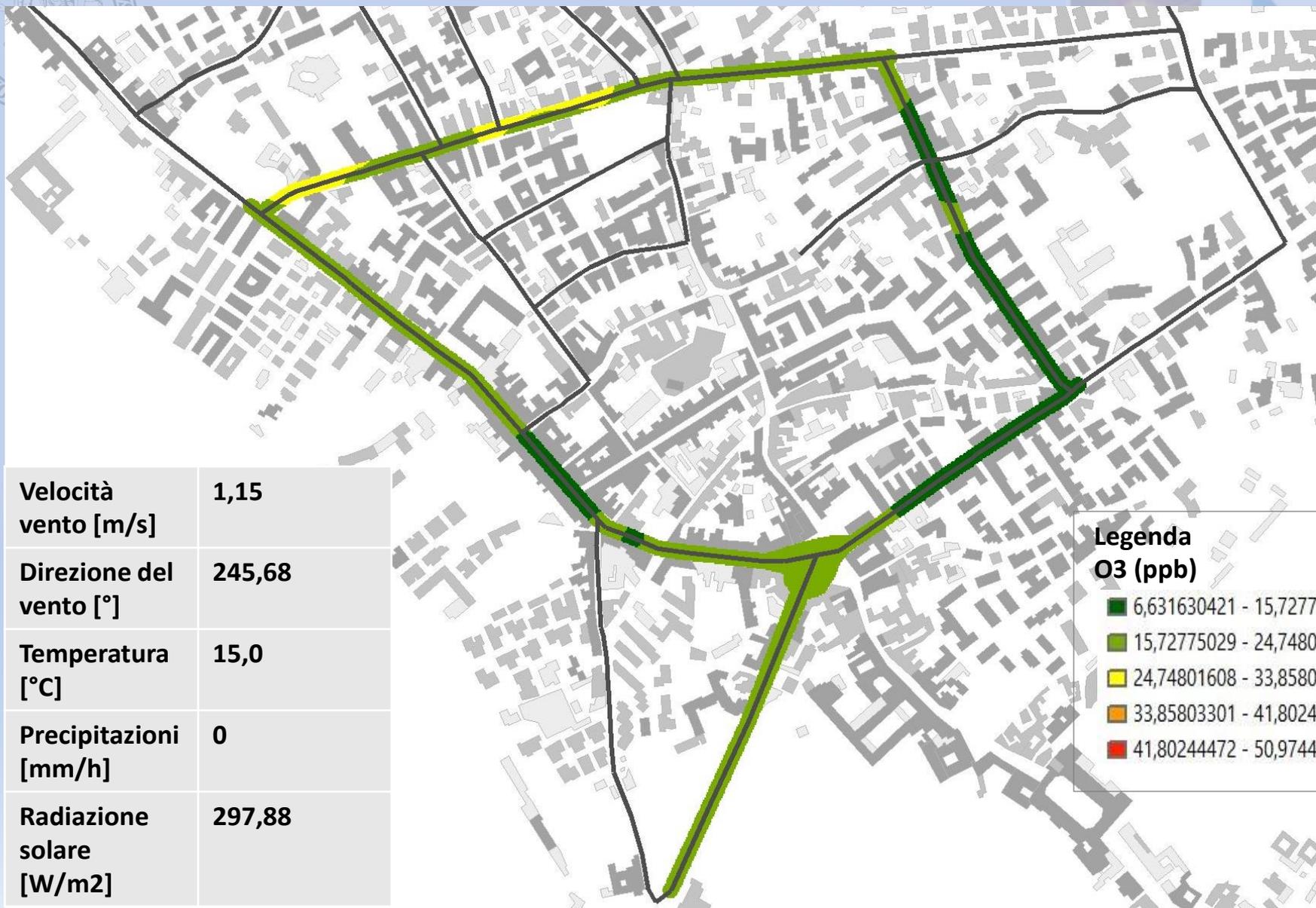
- 6,631630421 - 15,72775028
- 15,72775029 - 24,74801607
- 24,74801608 - 33,858033
- 33,85803301 - 41,80244471
- 41,80244472 - 50,97441864

| Ora | VELOCITA' DEL VENTO[m/s] | DIREZIONE DEL VENTO [°] | TEMPERATURA [°C] | PRECIPITAZIONI [mm/h] | RADIAZIONE SOLARE [W/m2] |
|-------|--------------------------|-------------------------|------------------|-----------------------|--------------------------|
| 09.00 | 1,15 | 245,68 | 15,0 | 0 | 297,88 |
| 11.00 | 2,5 | 136,56 | 13,56 | 0 | 329,68 |
| 13.00 | 2,76 | 178,3 | 16,37 | 0 | 811,05 |
| 16.00 | 4,77 | 179,91 | 15,06 | 0 | 316,3 |
| 18.00 | 5,42 | 199,73 | 15,18 | 0 | 206,07 |

Agostin
l'interpolazio

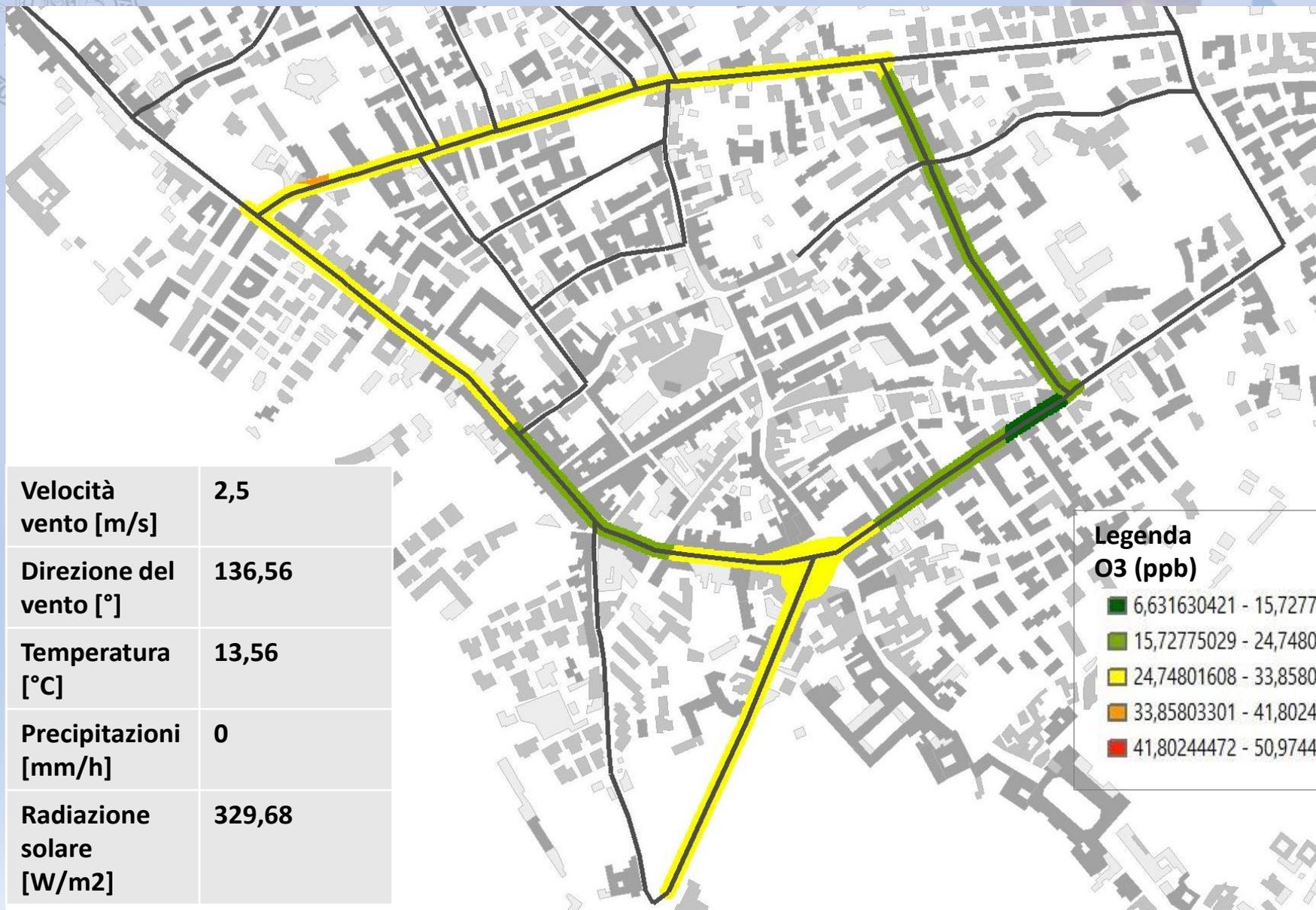
dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici

Mappa 10-04-2019 ore 09:00



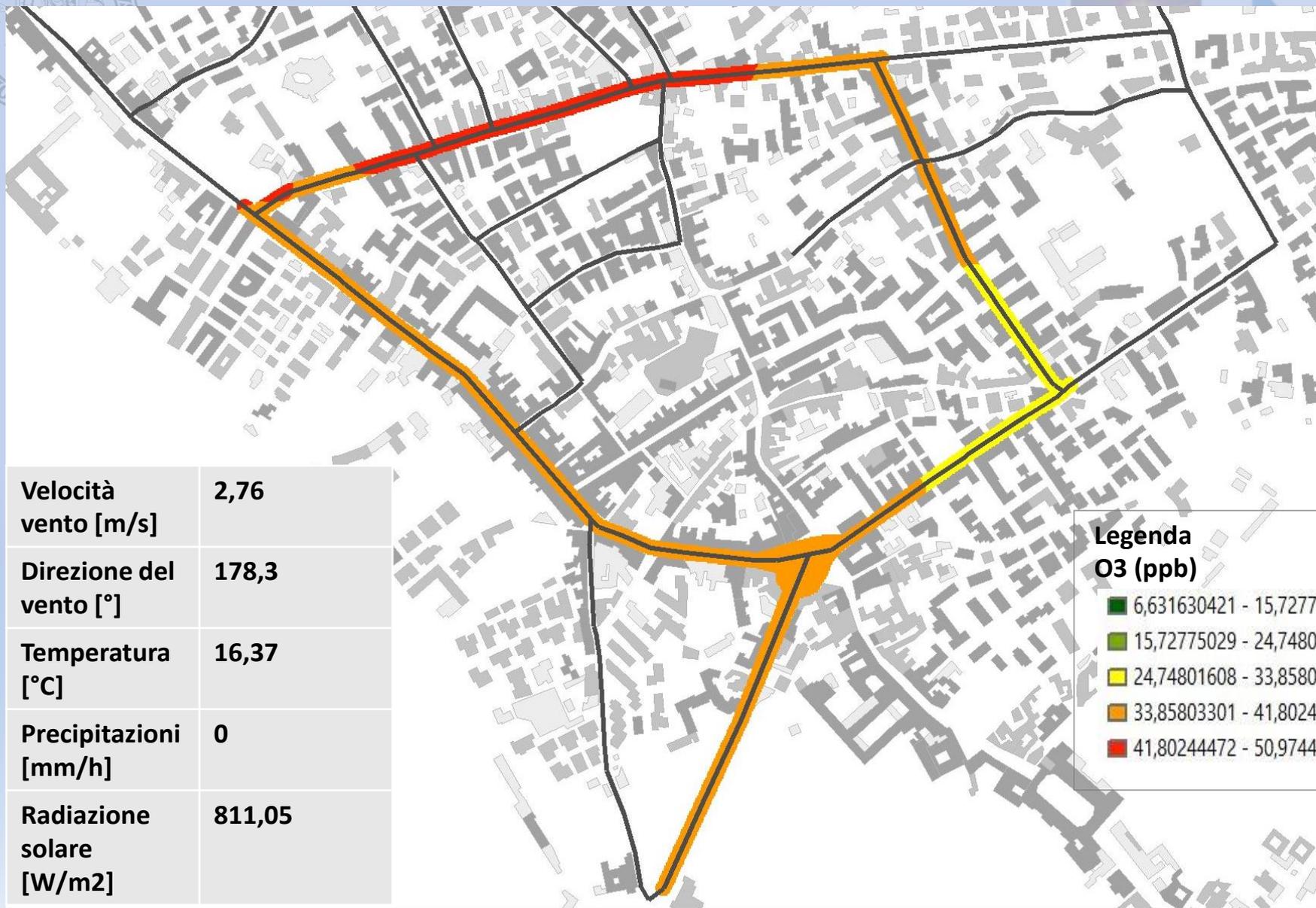
Agostino Della Porta- Il Kriging spazio-temporale per l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici

Mappa 10-04-2019 ore 11:00



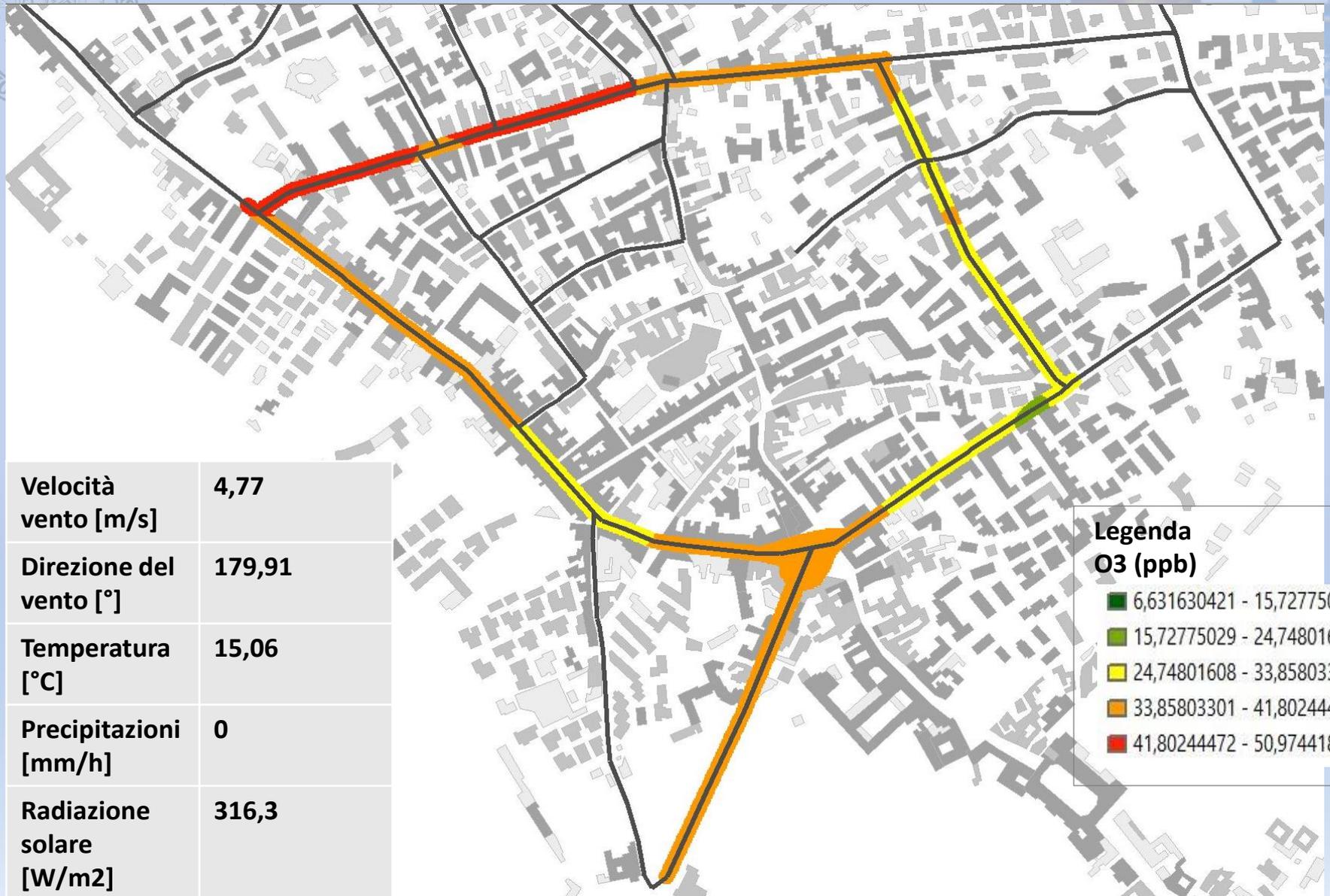
Agostino Della Porta- Il Kriging spazio-temporale per
l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite
dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici

Mappa 10-04-2019 ore 13:00



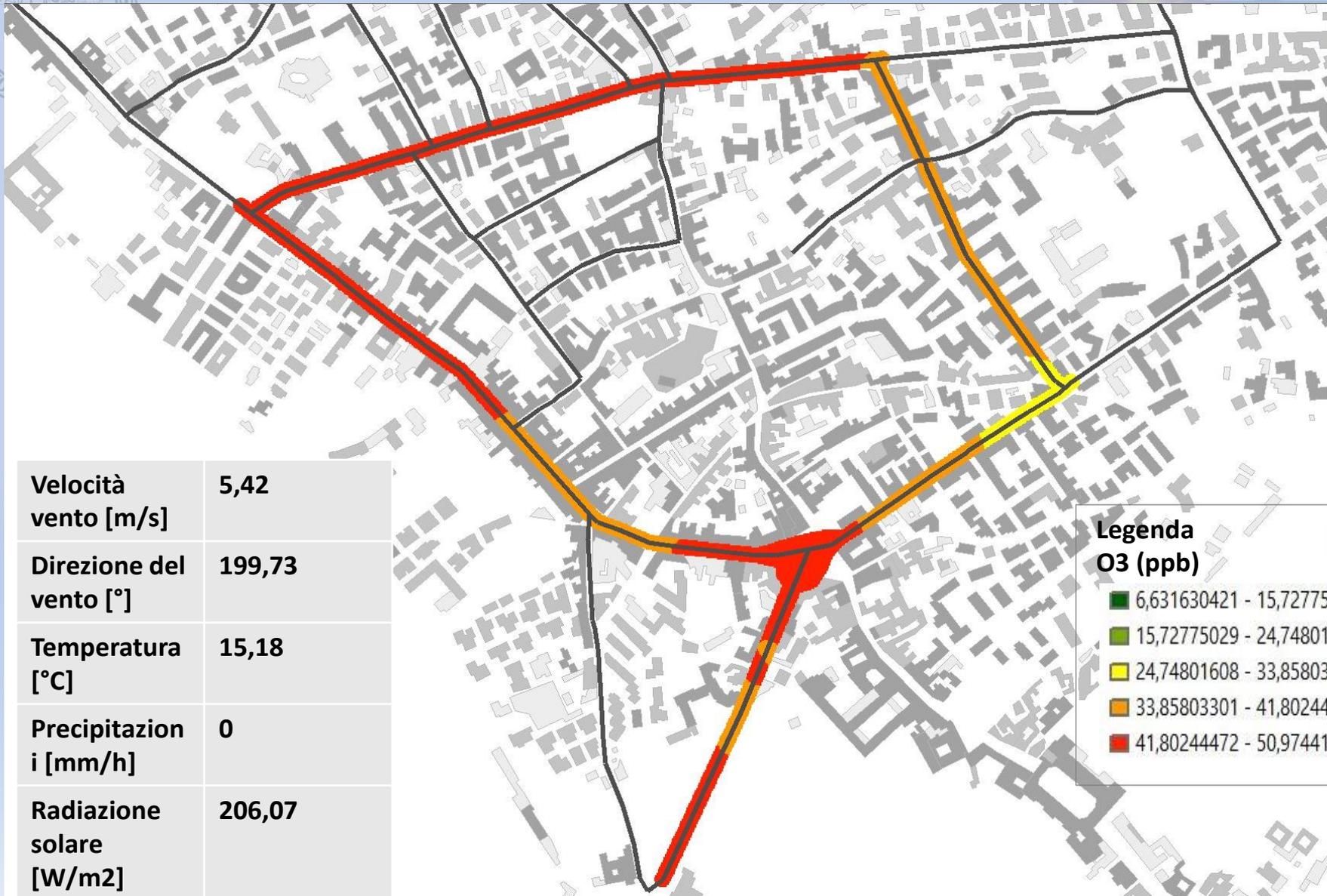
Agostino Della Porta- Il Kriging spazio-temporale per l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici

Mappa 10-04-2019 ore 16:00



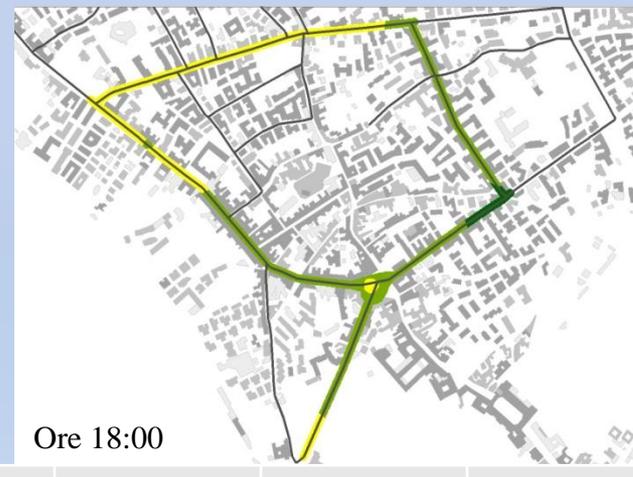
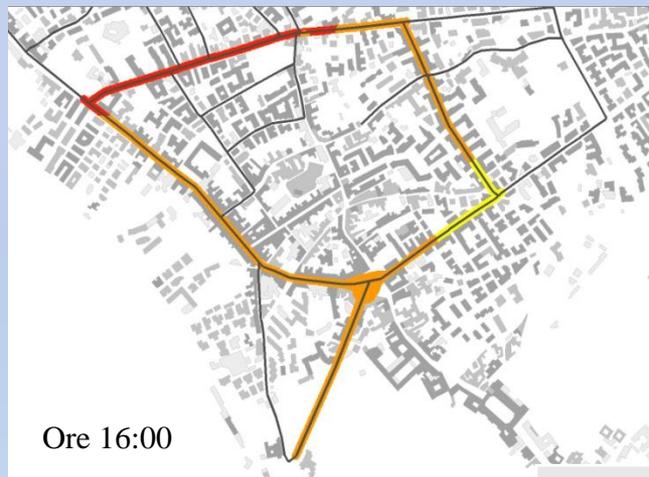
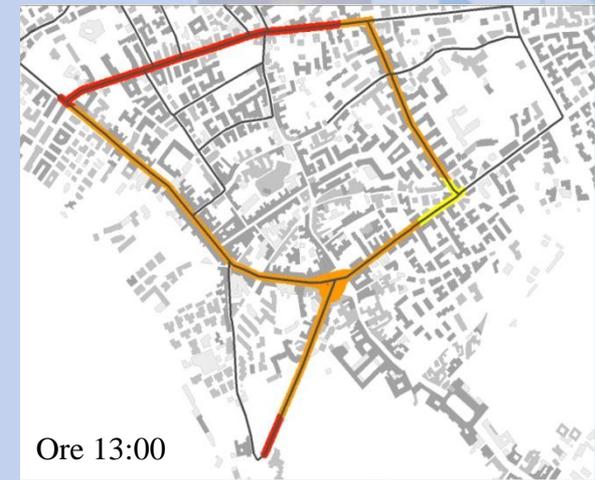
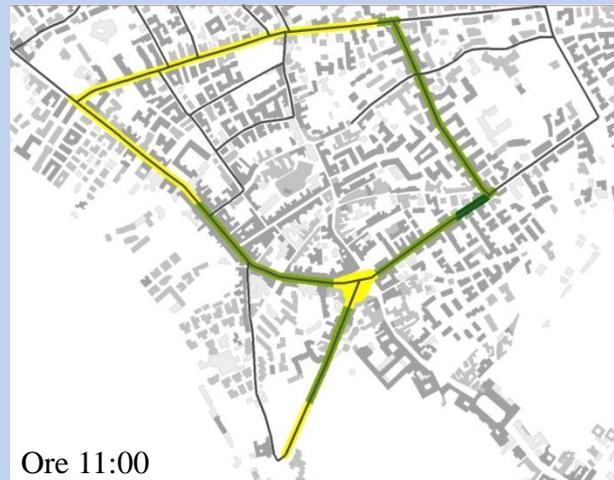
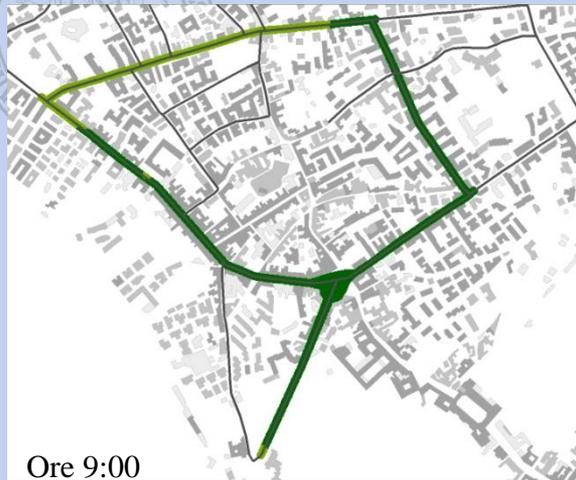
Agostino Della Porta- Il Kriging spazio-temporale per l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici

Mappa 10-04-2019 ore 18:00



Agostino Della Porta- Il Kriging spazio-temporale per l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici

Mappe del 11-04-2019



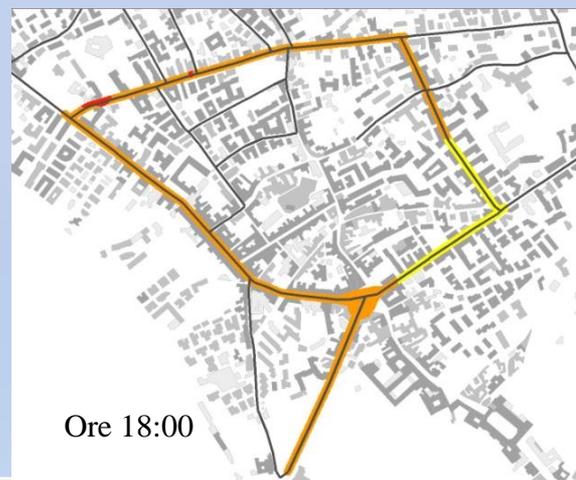
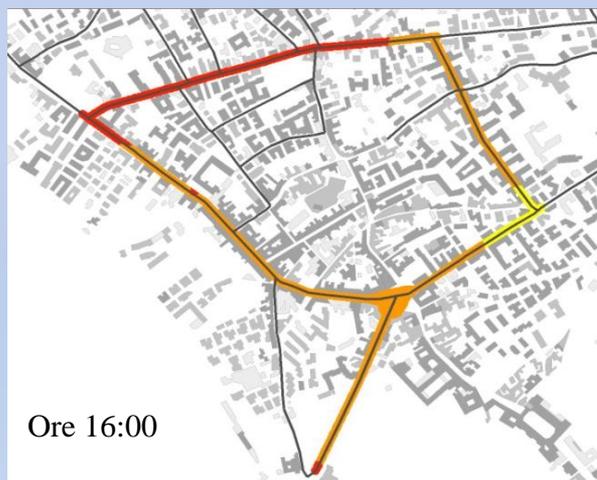
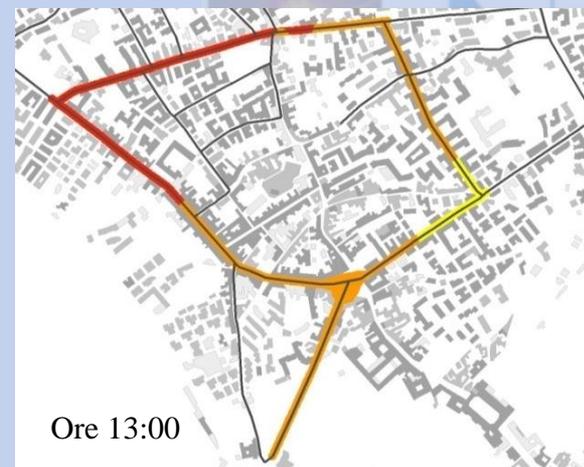
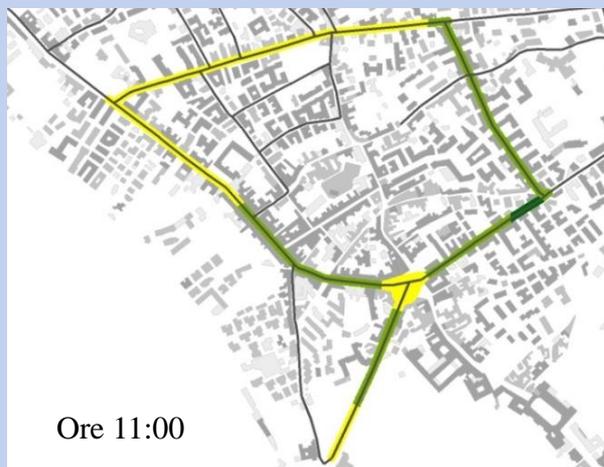
Legenda O3 (ppb)

- 10,1867094 - 21,86291392
- 21,86291393 - 32,33859818
- 32,33859819 - 43,8785213
- 43,87852131 - 54,35420557
- 54,35420558 - 66,23093033

| Ora | VELOCITA' DEL VENTO[m/s] | DIREZIONE DEL VENTO [°] | TEMPERATURA [°C] | PRECIPITAZIONI [mm/h] | RADIAZIONE SOLARE [W/m2] |
|-------|--------------------------|-------------------------|------------------|-----------------------|--------------------------|
| 09.00 | 1,17 | 230,44 | 14,71 | 0 | 611,07 |
| 11.00 | 3,27 | 209,67 | 15,84 | 0 | 927,16 |
| 13.00 | 3,29 | 206,24 | 16,58 | 0 | 827,43 |
| 16.00 | 4,43 | 190,29 | 15,69 | 0 | 385,6 |
| 18.00 | 3,99 | 191,9 | 15,45 | 0 | 173,89 |

Agostin
l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite
dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici

Mappe del 12-04-2019



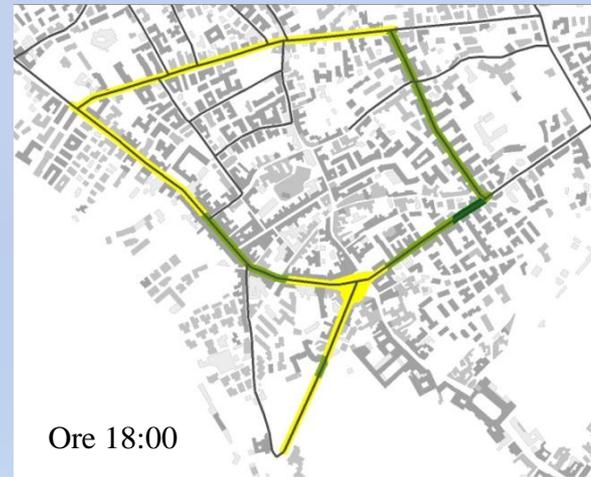
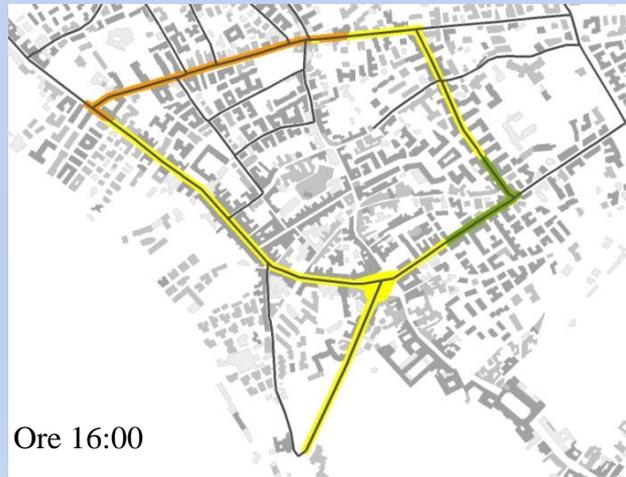
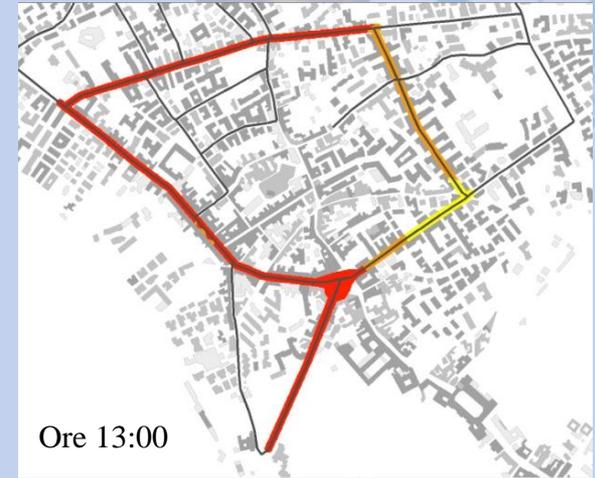
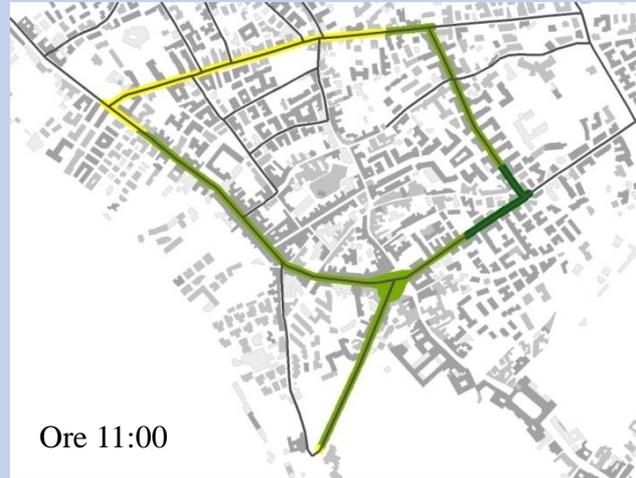
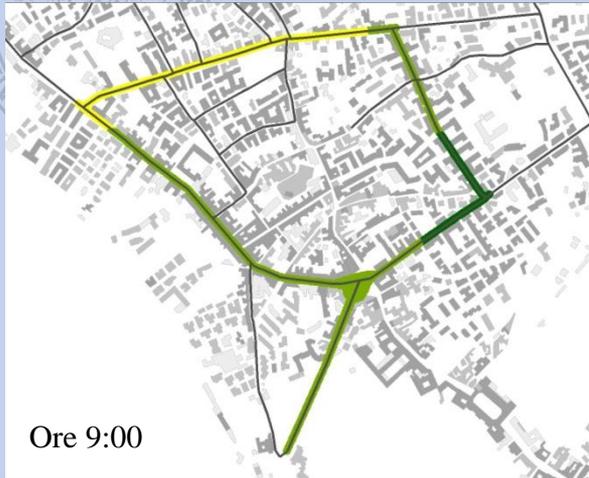
Legenda O3 (ppb)

- 0,892538548 - 11,54036781
- 11,54036782 - 22,08136431
- 22,08136432 - 32,59479854
- 32,59479855 - 43,04262779
- 43,0426278 - 53,53533249

| Ora | VELOCITA' DEL VENTO[m/s] | DIREZIONE DEL VENTO [°] | TEMPERATURA [°C] | PRECIPITAZIONI [mm/h] | RADIAZIONE SOLARE [W/m2] |
|-------|--------------------------|-------------------------|------------------|-----------------------|--------------------------|
| 09.00 | 2,68 | 174,11 | 14,22 | 0 | 382,1 |
| 11.00 | 3,05 | 171,86 | 14,96 | 0 | 308,57 |
| 13.00 | 3,68 | 190,89 | 14,91 | 0 | 276,49 |
| 16.00 | 3,89 | 188,73 | 15,7 | 0 | 289,76 |
| 18.00 | 3,52 | 193,13 | 15,44 | 0 | 79,21 |

Agostin
l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite
dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici

Mappe del 15-04-2019



Legenda O3 (ppb)

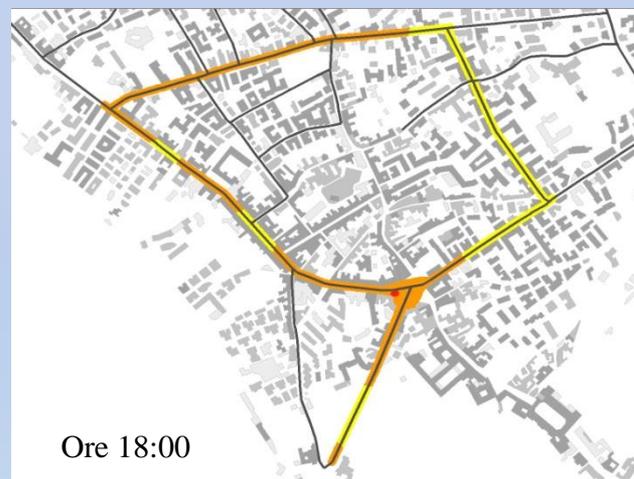
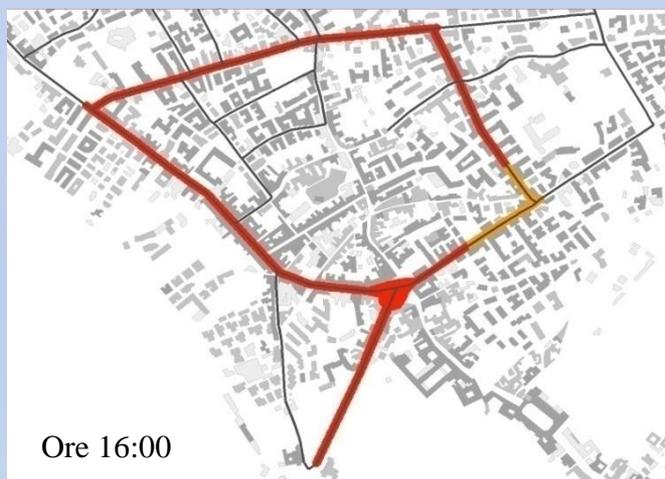
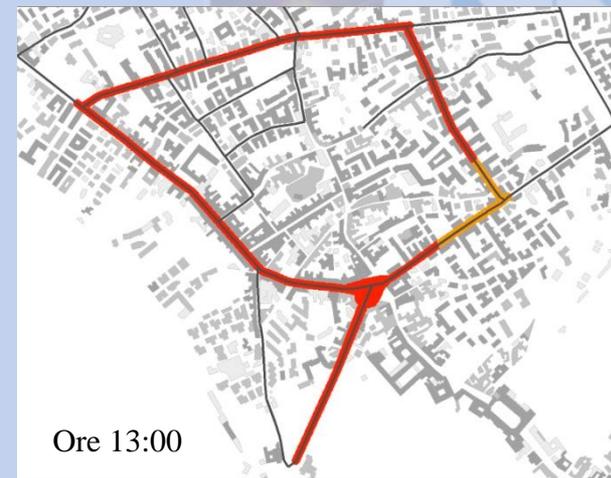
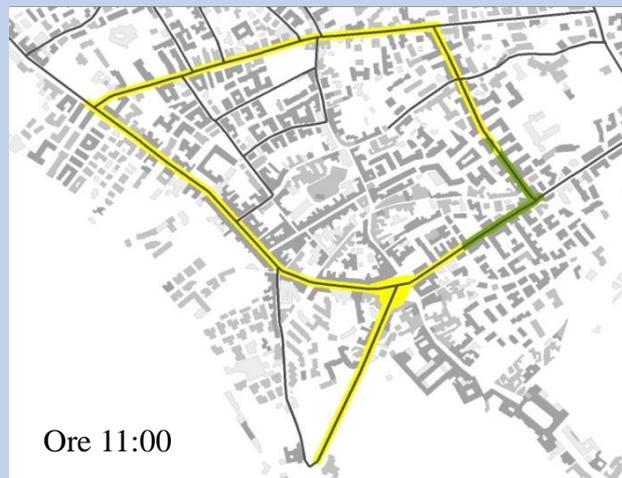
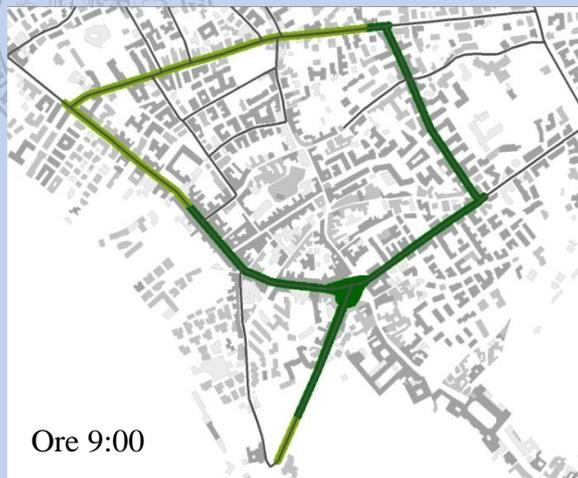
- 12,98680401 - 21,24012566
- 21,24012567 - 30,34522345
- 30,34522346 - 39,54880619
- 39,5488062 - 48,75491791
- 48,75491792 - 57,92143707

| Ora | VELOCITA' DEL VENTO[m/s] | DIREZIONE DEL VENTO [°] | TEMPERATURA [°C] | PRECIPITAZIONI [mm/h] | RADIAZIONE SOLARE [W/m2] |
|-------|--------------------------|-------------------------|------------------|-----------------------|--------------------------|
| 09.00 | 3,80 | 33,87 | 14,70 | 0 | 350,46 |
| 11.00 | 4,30 | 23,43 | 16,86 | 0 | 251,96 |
| 13.00 | 4,16 | 18,00 | 17,64 | 0 | 555,41 |
| 16.00 | 4,70 | 25,00 | 17,43 | 0 | 408,64 |
| 18.00 | 3,45 | 34,76 | 17,44 | 0 | 211,60 |

Agostino
l'interpolazione

dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici

Mappe del 18-04-2019



Legenda O3 (ppb)

- 6,520969391 - 18,27835846
- 18,27835847 - 33,1266861
- 33,12668611 - 48,4699796
- 48,46997961 - 63,62132772
- 63,62132773 - 78,27770996

| Ora | VELOCITA' DEL VENTO[m/s] | DIREZIONE DEL VENTO [°] | TEMPERATUR A [°C] | PRECIPITAZIONI [mm/h] | RADIAZIONE SOLARE [W/m2] |
|-------|--------------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------|
| 09.00 | 1,63 | 199,9 | 18,26 | 0 | 702,99 |
| 11.00 | 2,45 | 233,17 | 18,70 | 0 | 892,14 |
| 13.00 | 2,23 | 219,11 | 18,79 | 0 | 834,,06 |
| 16.00 | 2,06 | 177,90 | 18,18 | 0 | 403,21 |
| 18.00 | 1,65 | 166,46 | 17,5 | 0 | 174,66 |

Agostino
l'interpolazione

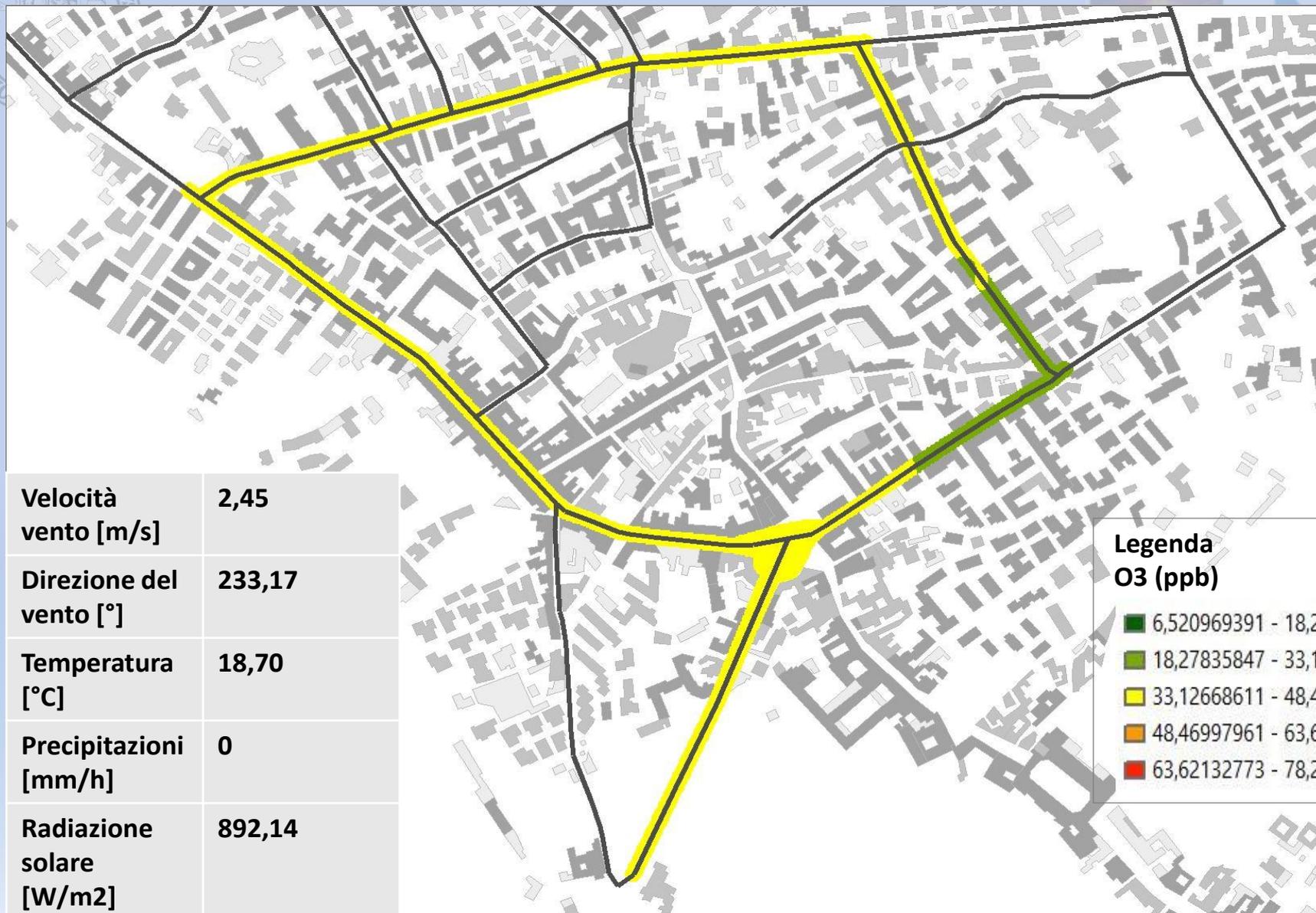
dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici

Mappa 18-04-2019 ore 09:00



Agostino Della Porta- Il Kriging spazio-temporale per
l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite
dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici

Mappa 18-04-2019 ore 11:00



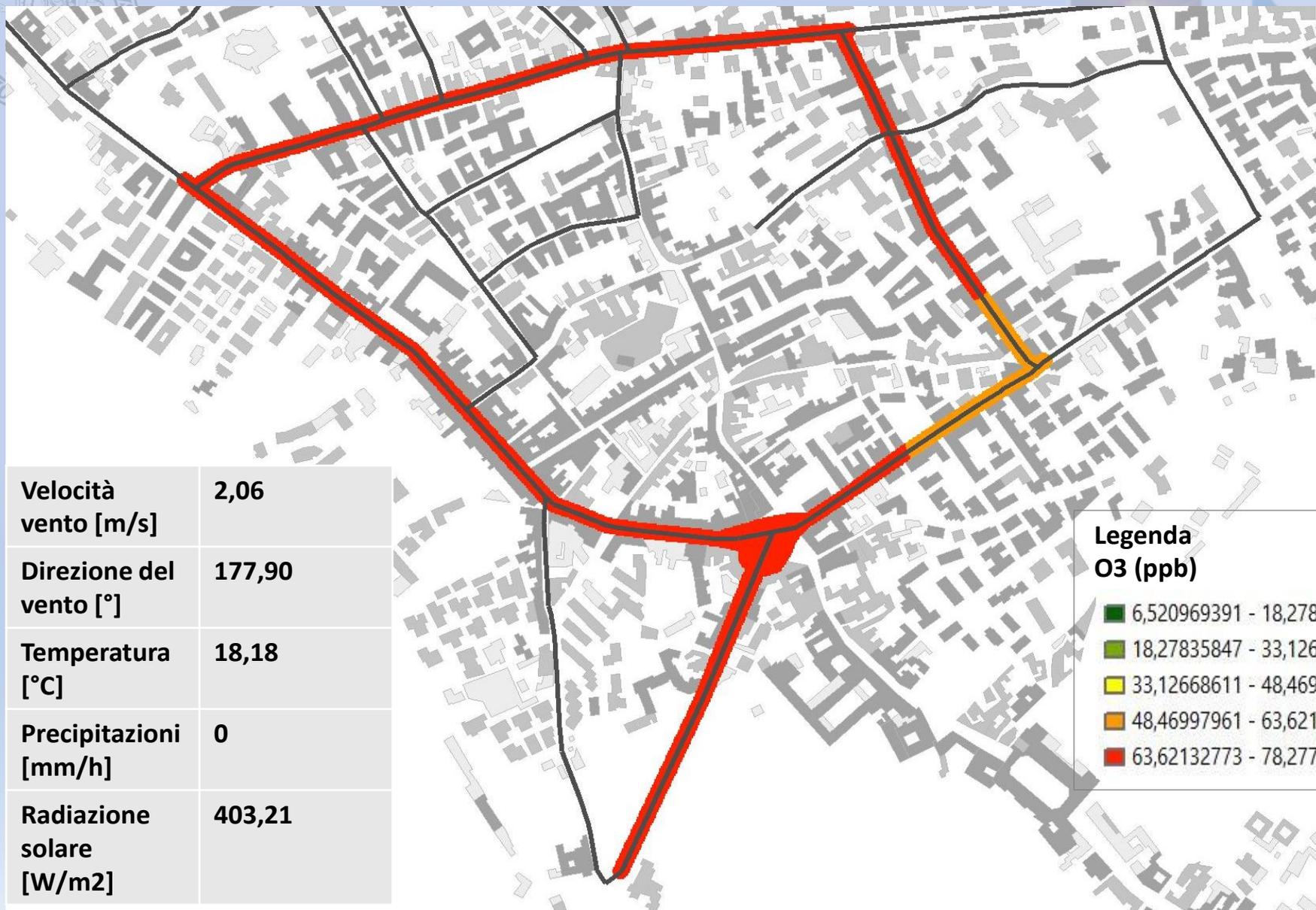
Agostino Della Porta- Il Kriging spazio-temporale per l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici

Mappa 18-04-2019 ore 13:00



Agostino Della Porta- Il Kriging spazio-temporale per l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici

Mappa 18-04-2019 ore 16:00



Agostino Della Porta- Il Kriging spazio-temporale per l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici

Mappa 18-04-2019 ore 18:00

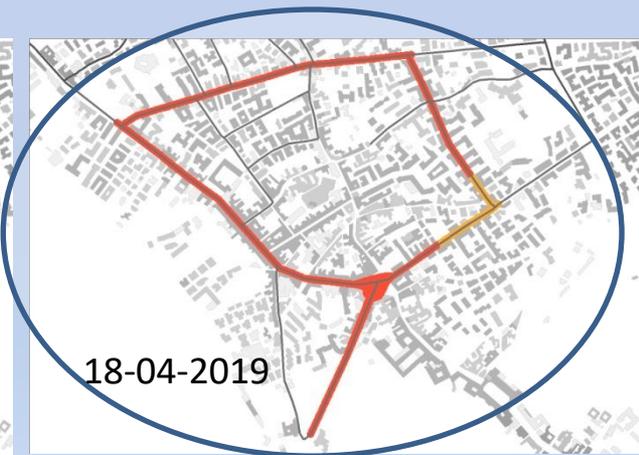
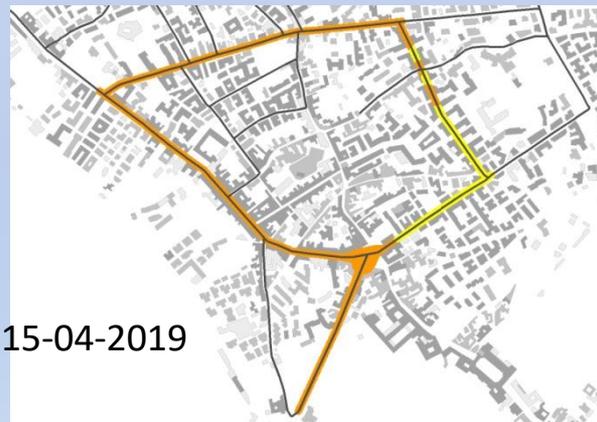
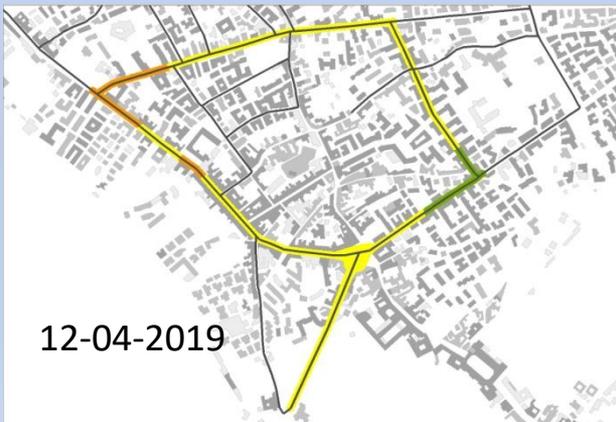
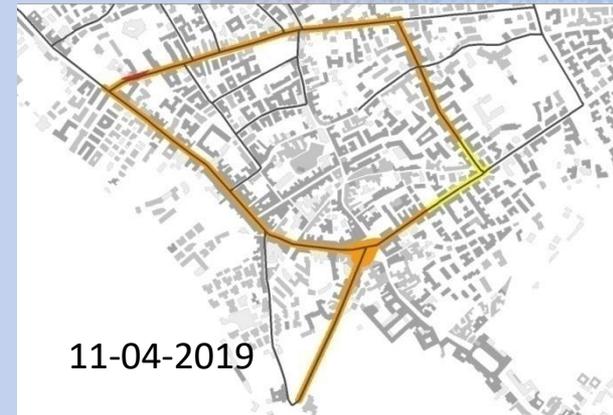
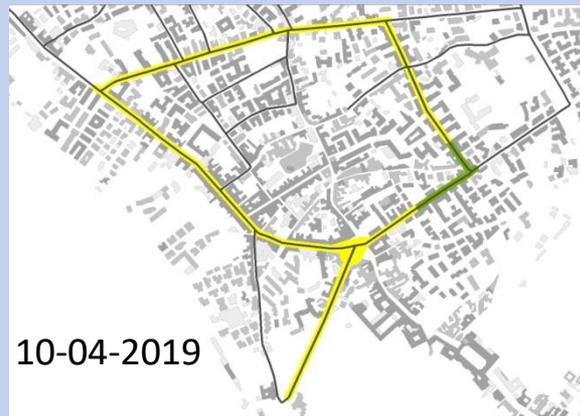
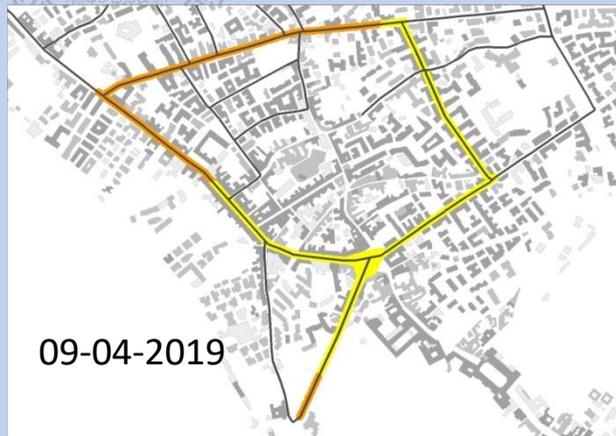


Agostino Della Porta- Il Kriging spazio-temporale per
l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite
dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici



Confronto mappe ore 13.00

CONDIZIONE PIU' GRAVOSA:



Legenda

O3 (ppb)

- 0,892538548 - 16,1
- 16,10000001 - 31,7
- 31,70000001 - 47,3
- 47,30000001 - 62,9
- 62,90000001 - 78,5

| | |
|---------------------------------------|--------|
| Velocità vento [m/s] | 2,23 |
| Direzione del vento [°] | 219,11 |
| Temperatura [°C] | 18,79 |
| Precipitazioni [mm/h] | 0 |
| Radiazione solare [W/m ²] | 834,06 |

Agostino Della
 l'interpolazione di m
 temporale per
 aria acquisite tramite
 dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici

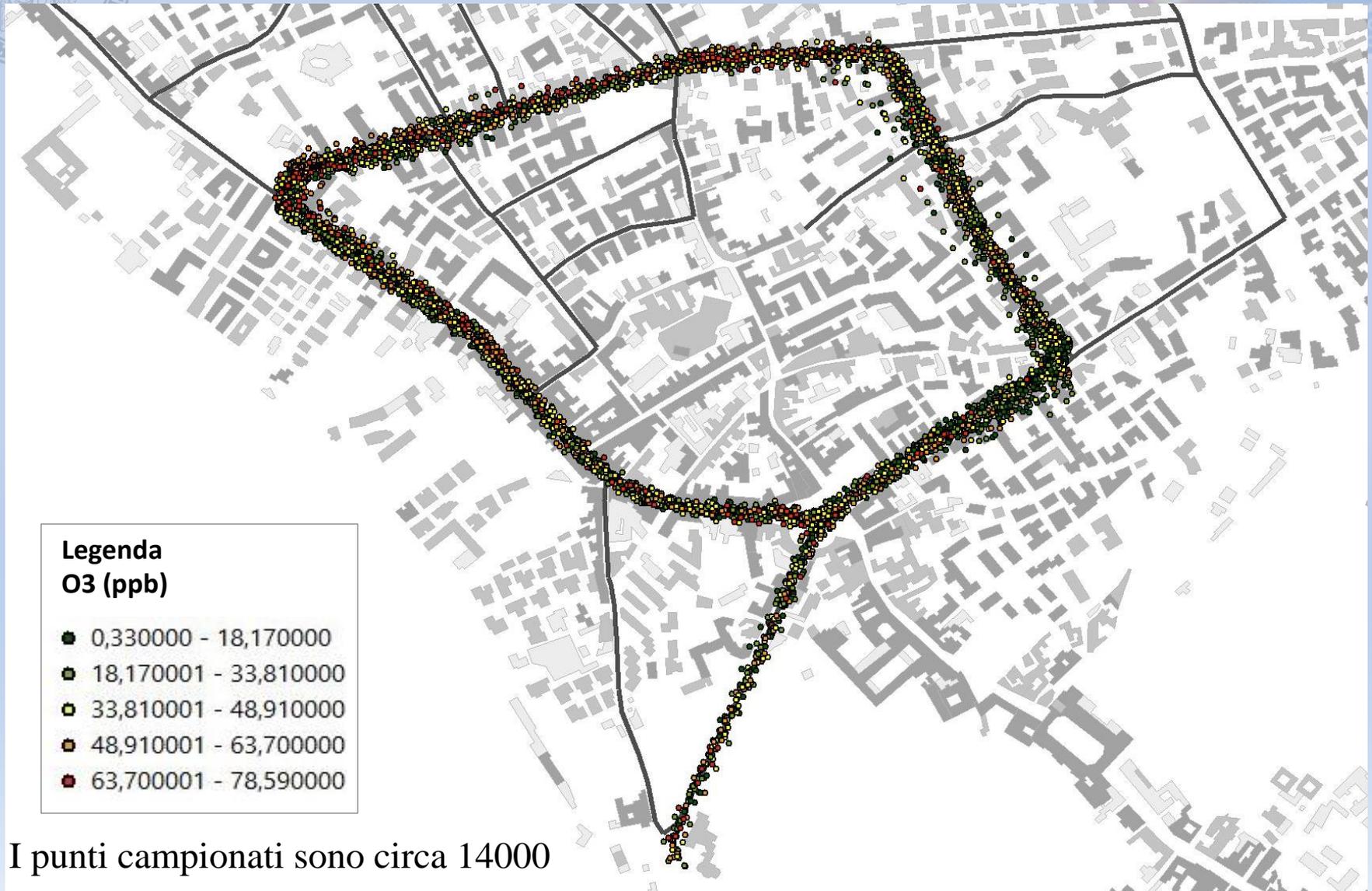


Zona maggiormente critica: Incrocio tra via Diaz via Da Vinci: vista dall'alto



Agostino Della Porta- Il Kriging spazio-temporale per
l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite
dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici

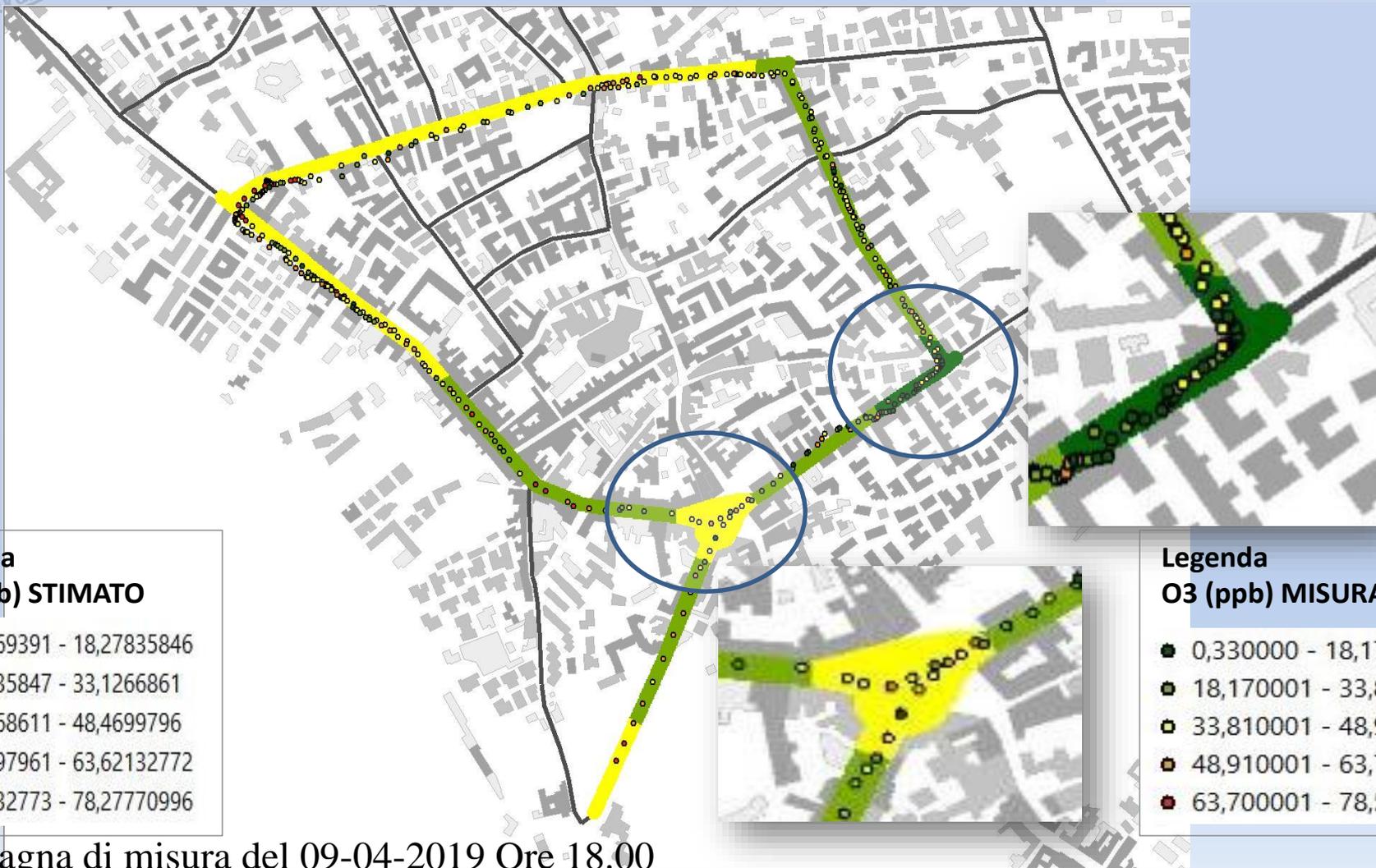
Mappa della campagna di misura di 6 giorni con MONICA in ArcGis



Agostino Della Porta- Il Kriging spazio-temporale per
l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite
dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici



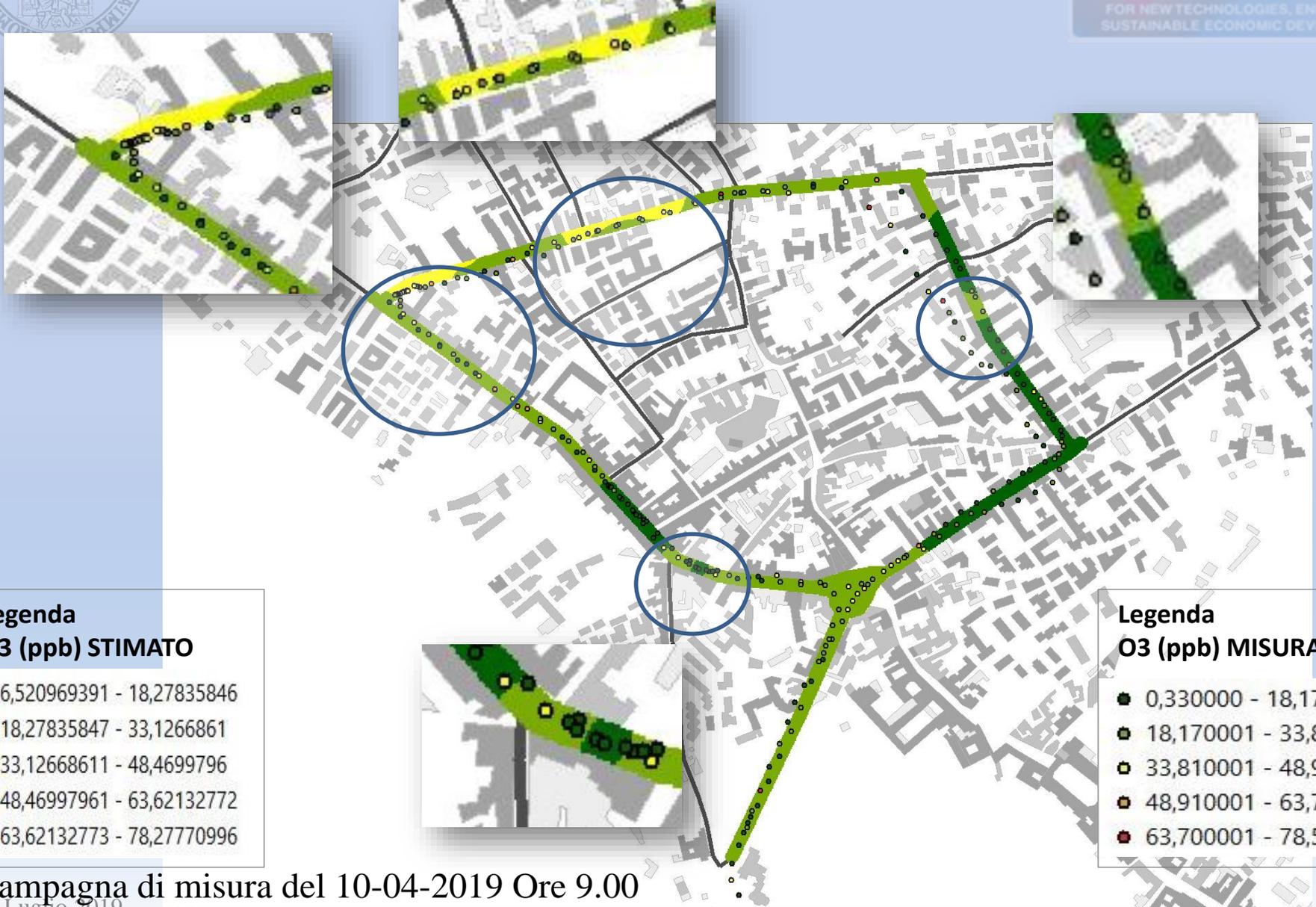
Particolare della corrispondenza tra la campagna di misura e la stima di O3 ottenuta con il Kriging spazio-temporale



Campagna di misura del 09-04-2019 Ore 18.00

Agostino Della Porta- Il Kriging spazio-temporale per
l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite
dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici

Particolare della corrispondenza tra la campagna di misura e la stima di O3 ottenuta con il Kriging spazio-temporale



Legenda O3 (ppb) STIMATO

- 6,520969391 - 18,27835846
- 18,27835847 - 33,1266861
- 33,12668611 - 48,4699796
- 48,46997961 - 63,62132772
- 63,62132773 - 78,27770996

Legenda O3 (ppb) MISURATO

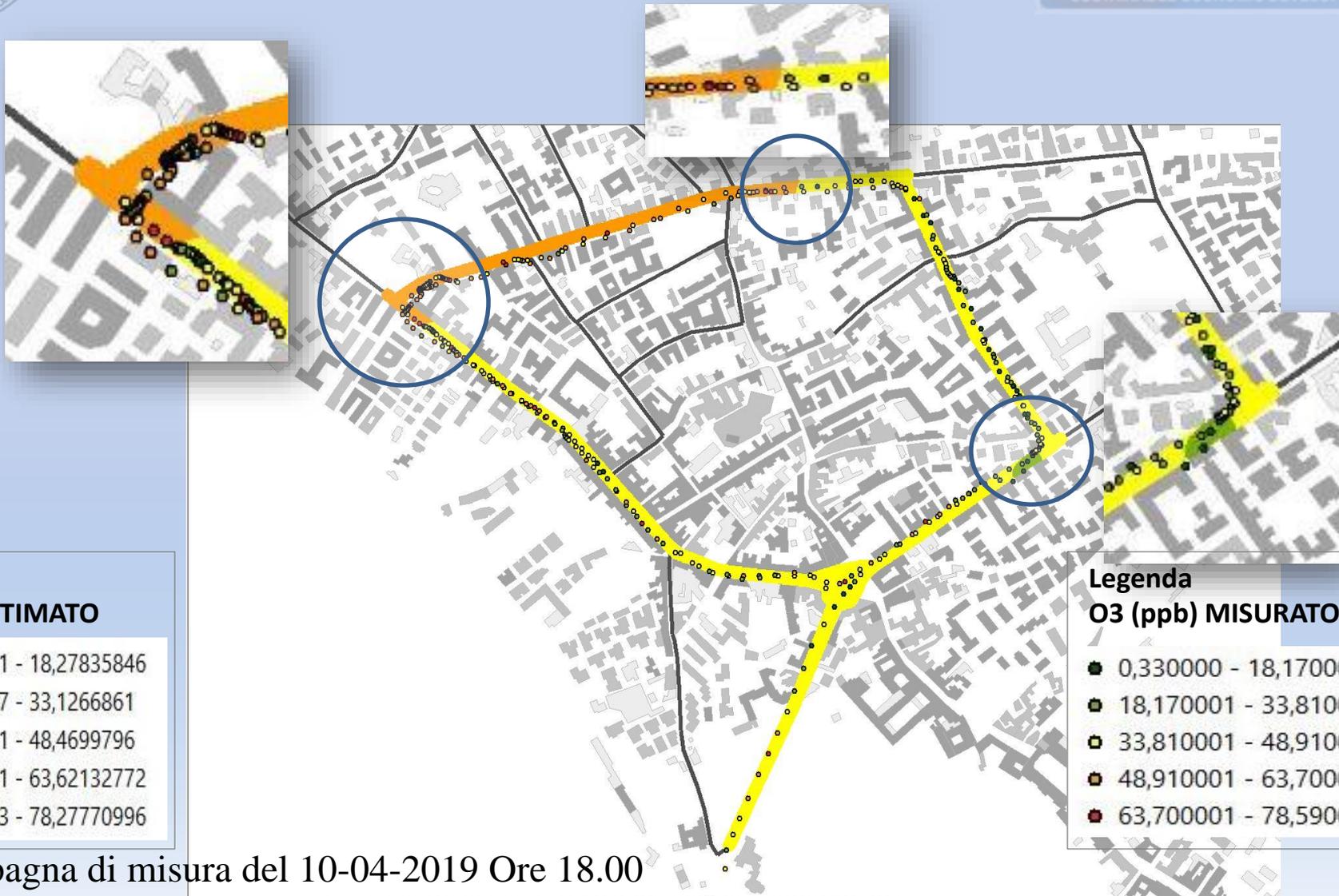
- 0,330000 - 18,170000
- 18,170001 - 33,810000
- 33,810001 - 48,910000
- 48,910001 - 63,700000
- 63,700001 - 78,590000

Campagna di misura del 10-04-2019 Ore 9.00

17 Luglio 2019



Particolare della corrispondenza tra la campagna di misura e la stima di O3 ottenuta con il Kriging spazio-temporale



l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici



Conclusioni



Attraverso l'elaborazione di mappe di qualità dell'aria a scala stradale, i risultati ottenuti hanno mostrato che il kriging spazio-temporale riesce a catturare in maniera dettagliata la variabilità del fenomeno dell'inquinamento atmosferico osservato e ci ha permesso di individuare le zone critiche presenti nella città di Portici

Sviluppi futuri:

- Applicazione dell'algoritmo ad altri inquinanti come PM, CO e NO₂
- Sperimentare altri modelli di variogrammi al fine di minimizzare l'errore
- Intensificazione delle campagne di monitoraggio per avere un maggior grado di dettaglio sulla situazione dell'inquinamento nelle diverse ore del giorno all'interno della città aumentando ad esempio il numero di MONICA circolanti



Agostino Della Porta- Il Kriging spazio-temporale per
l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite
dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici



FINE



*Grazie per
l'attenzione!*



Agostino Della Porta- Il Kriging spazio-temporale per
l'interpolazione di misure della qualità dell'aria acquisite tramite
dispositivi sensoriali mobili - Applicazione alla città di Portici