

CATTEDRALE DI CREMONA CRIPTA



MISURE DI UMIDITA' E MISURE MICROCLIMATICHE

Campagna di rilevazione da febbraio 2013 a giugno 2014

SOROLDONI LUIGI
CONSULENZE E STUDI
Via Oleggio, 36- 20022 CASTANO PRIMO (MI)
Tel. 0331-883064
e-mail : l.soroldoni@diartlab.it

Con la Collaborazione del
Dr. Umberto Casellato
già Dirigente di Ricerca
Associato IDPA - CNR
Area della Ricerca
Corso Stati Uniti 4
PADOVA

**DIAGNOSTICA PER IL RESTAURO E LA
CONSERVAZIONE DELLE OPERE D'ARTE**

INDICE

OBIETTIVI DIAGNOSTICI.....	3
METODI ANALITICI –MISURE DI UMIDITA’	3
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE MISURE DI UMIDITA’	6
MISURE MICROCLIMATICHE.....	7
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE: MICROCLIMA	8
GRAFICI MENSILI.....	10

OBIETTIVI DIAGNOSTICI

Misure di umidità nella muratura e misurazioni microclimatiche.

METODI ANALITICI –MISURE DI UMIDITA’

Metodo

Sono state effettuate misure del contenuto di umidità (come acqua libera) con metodo termo-gravimetrico, come differenza di peso dopo eliminazione dell'acqua per evaporazione forzata.

Modalità di campionamento, punti permanenti, e di laboratorio

In ciascuna zona, sono stati effettuati due prelievi di 3-5 g, uno superficiale (0-10 mm) ed uno in profondità (50-150 mm), con trapano e carotatrice (diametro 18-20 mm), al piano di calpestio e a 1,5 m circa.

I campioni sono stati pesati con bilancia di precisione (sensibilità 1 mg), conservati in appositi contenitori in vetro e posti poi in stufa a temperatura controllata (105° C) sino a peso costante.

La differenza tra il peso iniziale ed il peso dopo essiccazione espresso in percentuale rispetto al materiale secco, rappresenta l'umidità presente nel campione.

Per eventuali misure successive agli interventi di deumidificazione o come ulteriori valutazioni, nei fori praticati, sono stati inseriti appositi mattoncini in cotto con capacità di assorbimento di acqua rapportabile a mattoni vecchi, estraibili senza ulteriori carotaggi.

La tabella sotto indicata riporta valori di massima a cui riferirsi per la valutazione dei dati

	Mattone	Malta	Pietra (marmi e graniti)
Umidità naturale	1– 3 %	1 – 4 %	0,3 – 2 %
Struttura umida	4 – 10 %	4 – 15 %	2 – 3 %
Umidità rilevante	oltre il 10 %	oltre il 15 %	oltre il 3 %

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

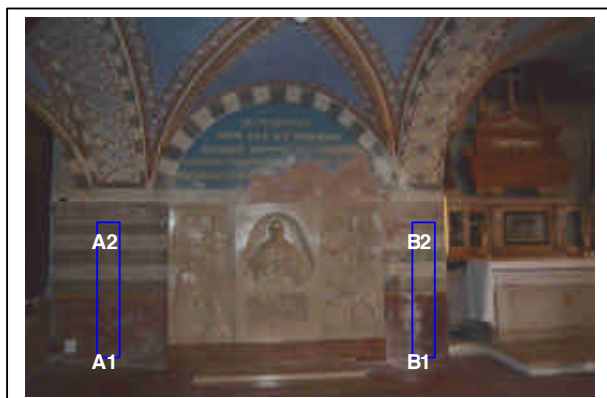


Figura 1 - Parete nord, zone A e B



Figura 2 - Parete nord, zona C



Figura 3 - Parete sud, zona D



Figura 4 - Parete sud, zona E

VALORI DI UMIDITA'

	02-02-13	07-03-13	04-09-13	31-01-14	18-06-14
	%umidità	%umidità	%umidità	%umidità	%umidità
Parete nord, a sinistra della lapide					
A1A a 20 cm dal piano di calpestio-intonaco	11,2	11,5	7,7	2,9	8,1
A1B a 20 cm dal piano di calpestio-mattone (15 cm)	15,9	16,7	9,8	16,1	12,5
A2A a 150 cm dal piano di calpestio-intonaco	5,2	5,7	1,7	1,5	6,8
A2B a 150 cm dal piano di calpestio-mattone (15 cm)	4,3	7,7	3,2	1,7	8,9
Parete nord, a destra della lapide					
B1A a 20 cm dal piano di calpestio-intonaco	4,1	4,7	3,5	1,7	5,3
B1B a 20 cm dal piano di calpestio-mattone (15 cm)	10,5	10,5	6,4	10,4	4,5
B2A a 150 cm dal piano di calpestio-intonaco	4,4	4,7	3,3	1,2	2,1
B2B a 150 cm dal piano di calpestio-mattone (15 cm)	0,8	1,2	4,9	3,5	3,2
Parete nord, a sinistra del secondo altare					
C1A a 20 cm dal piano di calpestio-intonaco	4,5	6,1	4,8	2,0	2,0
C1B a 20 cm dal piano di calpestio-mattone (15 cm)	9,2	12,6	10,5	2,8	5,8
C2A a 150 cm dal piano di calpestio-intonaco	3,4	4,6	4,5	1,1	1,0
C2B a 150 cm dal piano di calpestio-mattone (15 cm)	14,3	14,3	6,5	4,3	4,3
Parete sud, a sinistra del secondo altare					
D1A a 20 cm dal piano di calpestio-intonaco	6,0	6,8	2,2	2,5	3,0
D1B a 20 cm dal piano di calpestio-mattone (15 cm)	9,0	9,9	3,3	3,5	3,3
D2A a 150 cm dal piano di calpestio-intonaco	6,7	7,0	8,4	1,3	1,9
D2B a 150 cm dal piano di calpestio-mattone (15 cm)	8,2	8,8	1,8	6,4	3,3
Parete sud, a destra del primo altare					
E1A a 20 cm dal piano di calpestio-intonaco	3,7	4,2	1,6	1,8	2,4
E1B a 20 cm dal piano di calpestio-mattone (15 cm)	5,3	5,4	2,9	2,7	2,6
E2A a 150 cm dal piano di calpestio-intonaco	4,1	4,1	1,5	0,9	1,4
E2B a 150 cm dal piano di calpestio-mattone (15 cm)	8,3	8,3	6,7	4,7	3,8

Figura 6 – Tabella con dati delle diverse misure effettuate

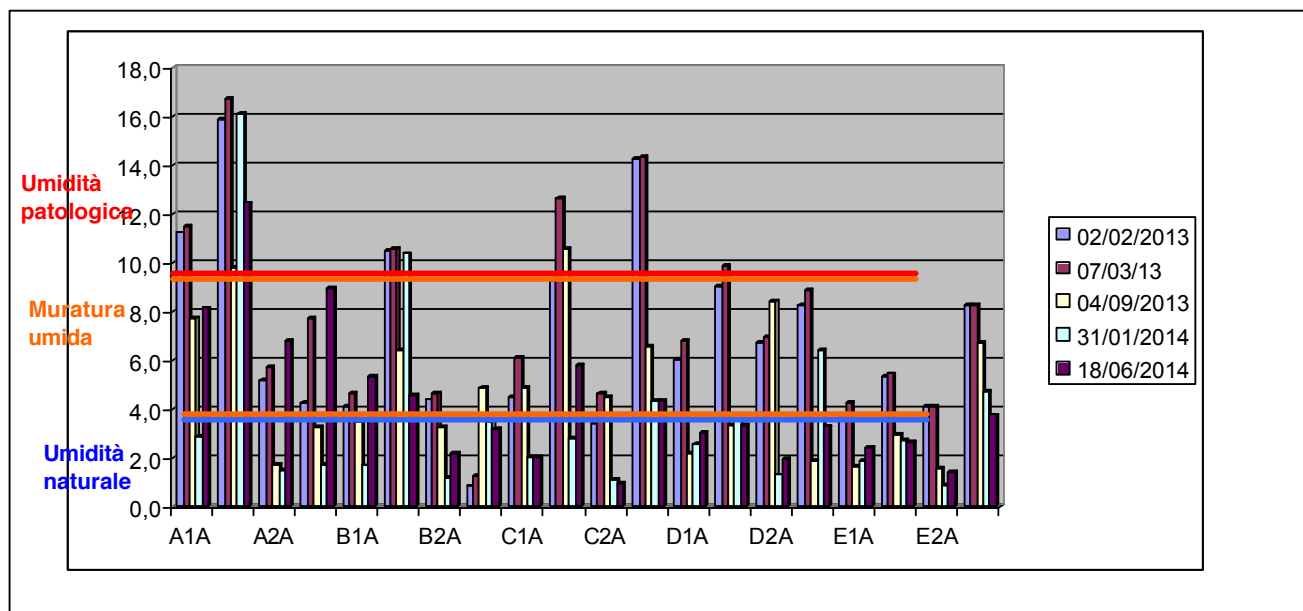


Figura 7 – Grafico con dati delle diverse misure effettuate

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE MISURE DI UMIDITA'

02 febbraio 2013

Sono evidenti sul lato nord fenomeni imputabili alla umidità da risalita: sollevamenti e distacchi dell'intonaco, polverizzazioni dello strato pittorico sono conseguenze dei movimenti dell'acqua e soprattutto degli scambi con l'ambiente interno nelle fasi di evaporazione e condensazione.

Le misure effettuate hanno evidenziato la presenza di umidità lungo la parete nord con valori alti soprattutto al piano di calpestio, sia in superficie che in profondità (10-16%).

A 1,5 m circa la presenza di umidità si attesta nella norma per un ambiente interrato (3-5% nelle zone A e B), con valori più alti nella parte interna della zona C (14.%)

Anche la parete nord presenta al piano di calpestio valori alti di umidità nella parte più interna (8-9%) e nella zona E anche a 1,5 m (8%).

04 settembre 2013

Dopo sette mesi di funzionamento dei dispositivi GENIE (1 dispositivo + 1 satellite sia sulla parete sud che su quella nord) si è notato una generale diminuzione dei valori di umidità, con cali del 30-40% nelle zone più umide sia al piano di calpestio che a 1,5 m.

Unica eccezione un aumento di umidità nella parte interna della zona D a 1,5m del piano di calpestio.

31 gennaio 2014

Dopo un anno si riscontra ancora la presenza di umidità, al piano di calpestio lungo la parete nord, soprattutto nelle zone A e B, con valori simili a quelli iniziali di febbraio (10-16%), mentre nella zona C si ha un notevole calo (70%).

La parete sud si presenta invece decisamente più asciutta.

18 giugno 2014

La situazione appare stabilizzata con valori tra 2% e 4% lungo la parete sud e nella zona B della parete nord.

La zona A invece si presenta ancora umida (muratura interna (12%), superficie (8-9%).

Complessivamente si può affermare dal posizionamento dei dispositivi GENIE nel luglio 2013 al giugno 2014 la situazione all'interno della cripta ha subito un evidente miglioramento globale, nonostante il persistere di una anomalia dovuta presumibilmente alla consistente presenza di sali (nitrati) nella muratura.

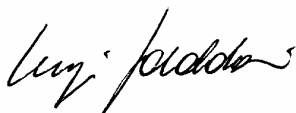
La stabilità della situazione è confermata anche dai dati microclimatici rilevati da luglio 2013 a giugno 2014 esposti nei grafici allegati, dai quali risulta come la parete nord sia più fredda soprattutto nei mesi freddi ma poi nei mesi di maggio e giugno sia più predisposta a fasi di condensazione interstiziale con aumento della umidità nella muratura.

Questa predisposizione alla condensazione interstiziale e la presenza di sali sono quindi cause reali del persistere di valori elevati di umidità evidenziati nella zona A, nella quale si ritiene indispensabile un intervento mirato alla eliminazione dei sali.

Data :settembre 2014

LUIGI SOROLDONI

UMBERTO CASELLATO



MISURE MICROCLIMATICHE

Lo studio microclimatico è basato sulla misurazione strumentale continuata e ad intervalli regolari della temperatura (T in $^{\circ}\text{C}$) e della umidità relativa (UR in $\%$) dell'aria e della temperatura delle superfici decorate (Temperatura di contatto T_c in $^{\circ}\text{C}$), parametri termoigrometrici da cui si ricavano poi, con algoritmi matematici, i valori di umidità specifica (US in g/kg di aria), di umidità assoluta (UA in g/m^3 di aria), di temperatura di rugiada o, meglio, la distanza da essa (DTR in $^{\circ}\text{C}$).

L'umidità relativa (UR) è il rapporto percentuale tra la quantità di vapore acqueo contenuto in una massa d'aria e la quantità massima di vapore acqueo che la stessa massa d'aria riesce a contenere nelle stesse condizioni di temperatura e pressione (saturazione).

L'umidità assoluta (UA) esprime la densità del vapore acqueo in una massa d'aria umida (miscela vapore acqueo - aria) e si esprime in grammi di vapore acqueo per m^3 d'aria umida, a una data temperatura e una data pressione.

L'umidità specifica (US) è indipendente dalla temperatura e può essere perciò caratteristica di una determinata massa d'aria ed in grado di evidenziare eventuali scambi di vapore. Si esprime in grammi di vapore acqueo per kg di aria umida (miscela vapore acqueo - aria). Fenomeni di condensazione o di evaporazione sono interpretabili se vi sono variazioni indipendenti dalle variazioni esterne.

Nella Cripta della CATTEDRALE di CREMONA sono stati installati 5 sensori di temperatura e umidità relativa ed 1 sensore di temperatura a contatto.

Tutti i sensori sono stati programmati per inviare i relativi dati ad intervalli di 1 ora ad una centralina radio che li ha registrati.

I dati puntuali e le medie elaborate sono stati poi rappresentati in grafici mensili da luglio 2013 a giugno 2014.

Disposizione dei sensori

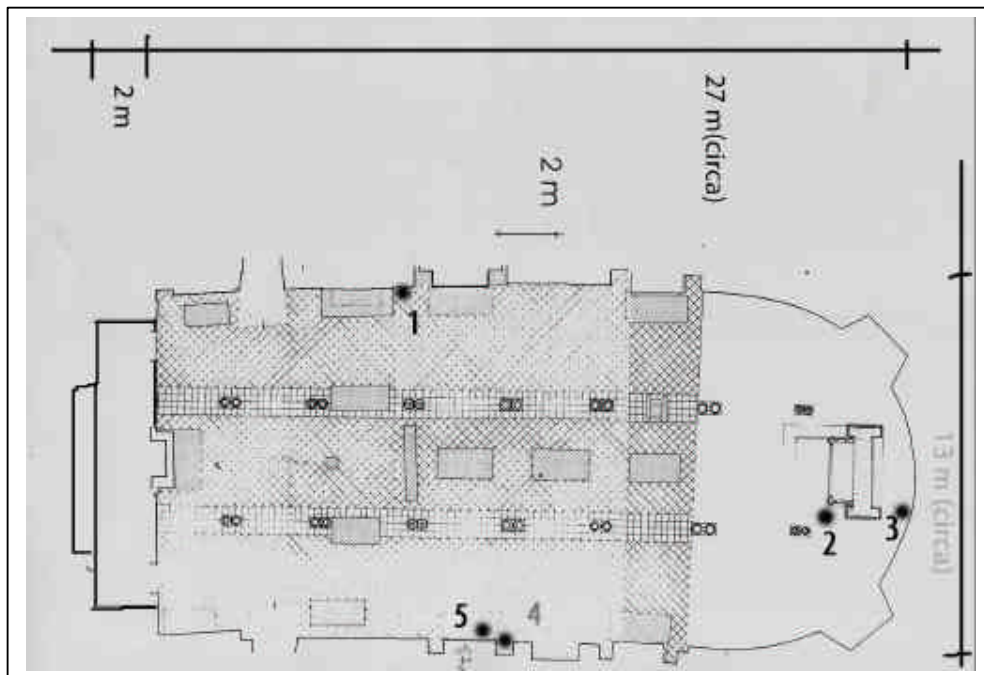


Figura 8 – Disposizione dei sensori, pianta

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE: MICROCLIMA

Da questi si è rilevata in **luglio 2013** una temperatura oscillante tra i 24° e i 30°C, una umidità relativa tra il 50% ed il 60% con rare punte del 70%, una umidità assoluta tra i 14 e i 20 mg/m³ d'aria ed una distanza dal punto di rugiada sulla superficie delle pareti (in particolare l'altare in marmo) tra 6 e 13°C.

In agosto sono state registrate temperature tra 26° a 30°C con rari minimi a 21°C, umidità relativa dal 40% a 65%, una umidità assoluta in calo con minimi di 10 mg/m³ d'aria ed una distanza dal punto di rugiada sulla superficie delle pareti sempre superiore 7°C.

Nel mese di **settembre** la temperatura i dati hanno evidenziato un calo della temperatura che si è attestata a valori vicini a 22°C, con una strana anomalia rilevata da tutti i sensori mercoledì 4 (38°C). L'umidità relativa è invece aumentata da mercoledì 4 restando per tutta la settimana tra il 70% e 80% e poi restare al 70% per il resto del mese.

La medesima anomalia è stata registrata mercoledì 4 per la distanza dal punto di rugiada sulla superficie delle pareti che scende attorno ai 5°C. e per l'umidità assoluta con un aumento da 13 a 28 g/m³ d'aria per poi diminuire a 12-14 mg/m³ d'aria per tutto il mese.

In **ottobre** i sensori hanno registrato una temperatura tra i 18 e i 21°C con rare anomalie nella zona dell'altare (sensore 3) sino a 23°C in alcuni giorni della seconda e terza settimana.

I valori di umidità relativa sono stati tra 50% e 70% con un rialzo sino al 80% nell'ultima parte del mese con una umidità assoluta tra 10 e 13 mg/m³ d'aria e la distanza dal punto di rugiada sulla superficie delle pareti superiore a 5°C con minimi di 4°C all'inizio dell'ultima settimana.

(sotto i 5°C si può ritenere molto probabile un aumento della condensazione interstiziale nella porosità della muratura)

In **novembre** la temperatura ha iniziato a scendere progressivamente sino a 14°C (fine mese) con forti anomalie nella zona del secondo altare sulla parete sud (sensore 5) il mercoledì 13.

L'ambiente si è fatto più secco con una umidità relativa in calo progressivamente dal 70% al 40% nell'ultima parte del mese, una umidità assoluta da 13 a 6 mg/m³ d'aria mentre la distanza dal punto di rugiada non è mai scesa sotto 5°C.

Nel mese di **dicembre** è diventata più marcata la differenza tra i dati di temperatura rilevati dai diversi sensori.

La parete a sud è sempre stata un poco più calda di 2°-3°C (tra i 14° e i 16°C) e la parete nord più fredda (13°-14°C).

L'umidità relativa si è attestata tra 50% e 60% con una umidità assoluta tra 6 e 8 mg/m³ d'aria e la distanza dal punto di rugiada mai sotto 5°C (tra 7° e 11°C.)

In **gennaio** si sono mantenute le differenze di temperatura tra le due pareti (12° e 14°C. con un calo a 11°C venerdì 10), una umidità relativa tra 60% e 70%, una umidità assoluta di 6 e 8 mg/m³ d'aria ed una distanza dal punto di rugiada sempre superiore a 5°C (6°-9°C).

Nel mese di **febbraio** sono stati registrati valori molto simili a quelli di gennaio, con un rialzo della temperatura da 1° a 3°C e di umidità assoluta di 1-2 mg/m³ d'aria, giovedì 6, martedì 11, mercoledì 12, venerdì 14, domenica 23, lunedì, 24, martedì 25 e venerdì 28 in particolare nella zona dell'altare (sensore 3)

Nel mese di **marzo** si è riscontrato un progressivo aumento della temperatura, sempre con differenze di 1°-3°C tra le due pareti (nord e sud).

Anche in questo mese sono stati registrati valori anomali ripetuti sul sensore 3 nella seconda e terza settimana quasi sempre alle stesse ore (tra le 10 e le 14).

L'umidità è rimasta stabile tra 60% e 70% , con una umidità assoluta che pur restando generalmente tra 7 e 8 mg/m³ d'aria ha avuto piccoli sbalzi a 9 mg/m³ d'aria contestualmente agli aumenti di temperatura nella zona dell'altare.

In **aprile** si è rilevata una discreta stabilità dell'ambiente: la differenza di temperatura tra le due pareti è diminuita sino ad azzerarsi (tutti i sensori vicini a 16°C).

L'Umidità relativa si è stabilizzata attorno al 70% con una punta minima del 50% ametà della terza settimana (da martedì 11 a venerdì 14), effetto riscontrato anche nella umidità assoluta. Nell'ultima settimana si è notata una distanza dal punto di rugiada solo di 4°C.

Nel mese di **maggio** la temperatura è lentamente aumentata a 18°C con una umidità relativa un po' altalenante tra 70% e 80% con minime nella terza settimana a 50%-60%. L'ambiente si è comunque fatto più umido con una umidità assoluta aumentata sino a 10 mg/m³ d'aria, anche se la distanza dal punto di rugiada si è mantenuto generalmente sopra i 5°C. con due minimi a 4°C venerdì 23 e sabato 31.

In **giugno** si è rilevato un progressivo aumento della temperatura sino a 20°C, ma anche un aumento della umidità ambientale evidenziata da umidità relativa tra 70% e 80% , da una umidità assoluta mediamente attorno a 12 mg/m³ d'aria ma con punte di 14 mg/m³ d'aria e da una distanza dalla temperatura di rugiada tra 3 e 4°C dalla fine della seconda settimana sino a tutta la terza in particolare sulla parete nord.

Il rilievo microclimatico si è concluso il 18 giugno in concomitanza con l'ultima misura della umidità della muratura.

Data :settembre 2014

LUIGI SOROLDONI



UMBERTO CASELLATO



GRAFICI MENSILI

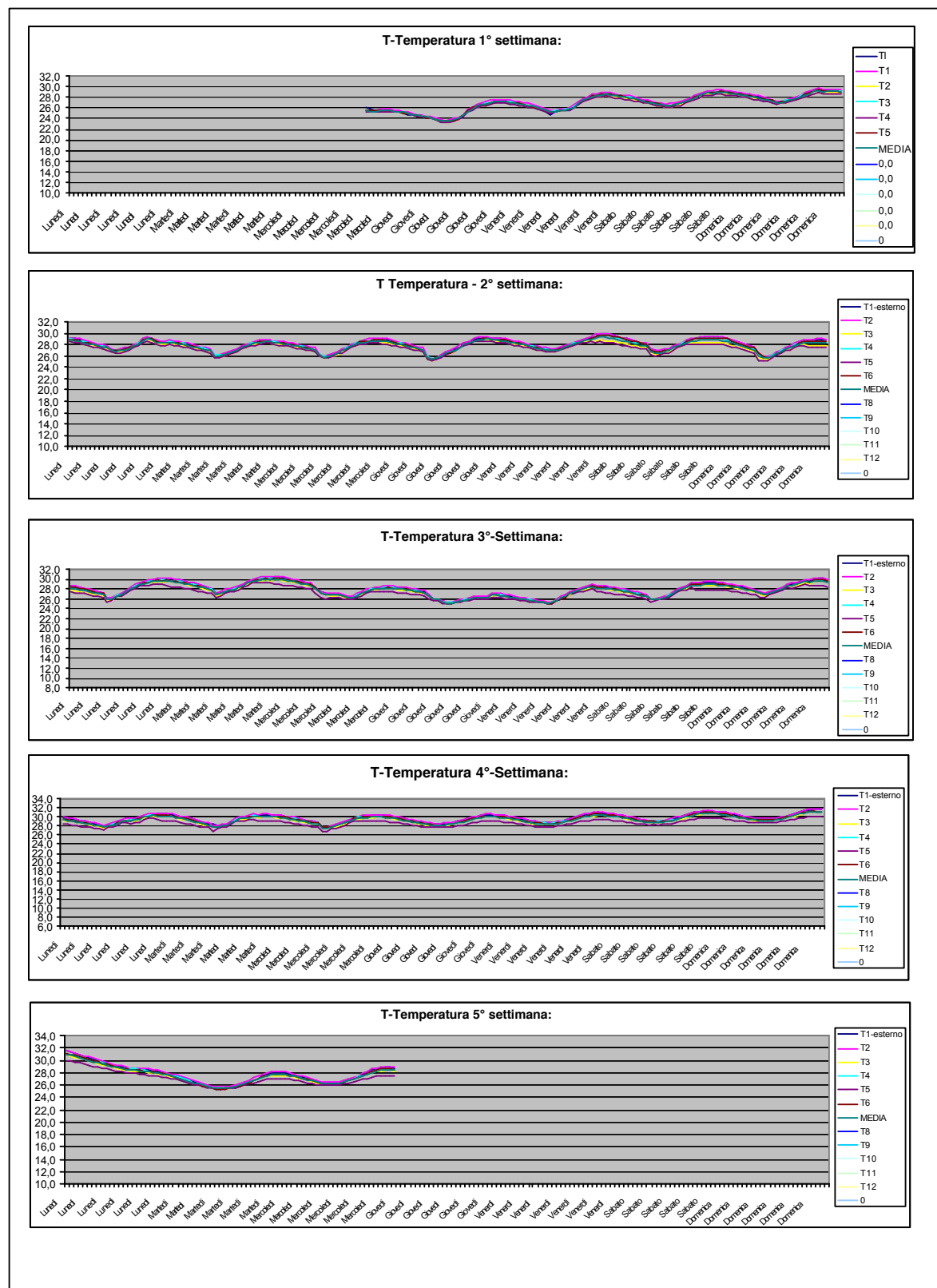


Figura 9 - Riepilogo mensile – Temperatura - mese di luglio 2013

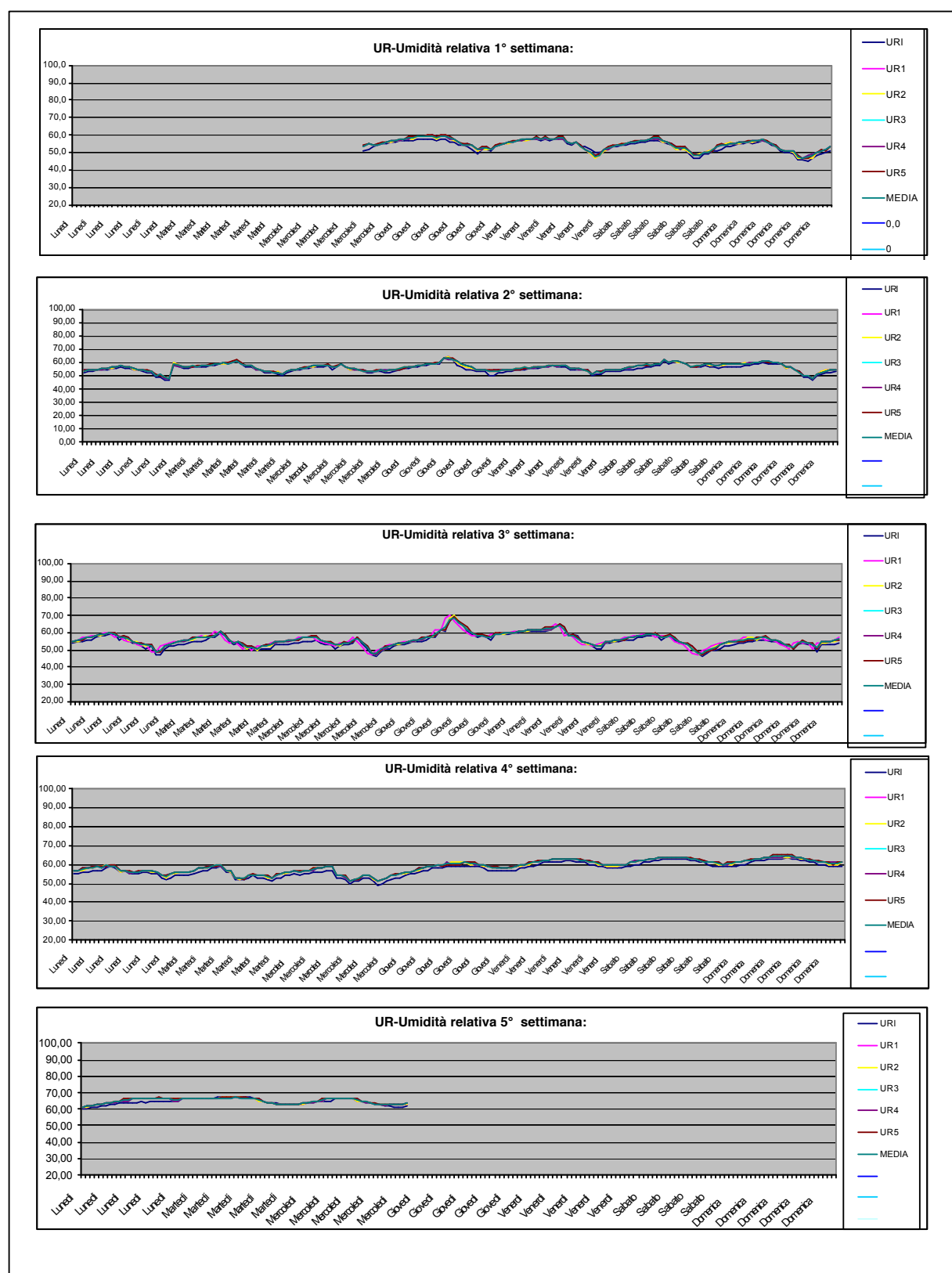


Figura 10 - Riepilogo mensile – Umidità relativa - mese di luglio 2013

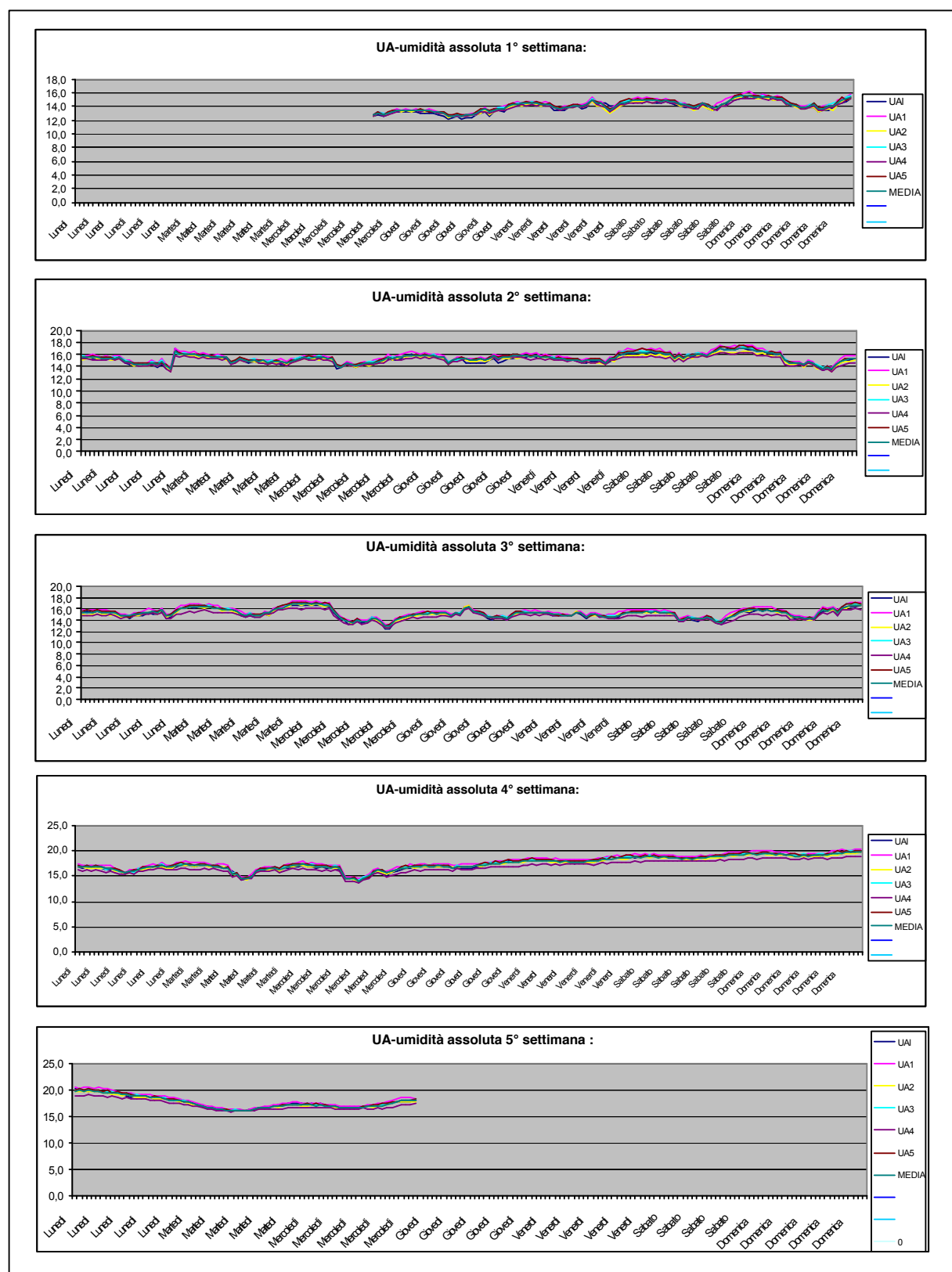


Figura 11 - Riepilogo mensile – Umidità assoluta - mese di luglio 2013

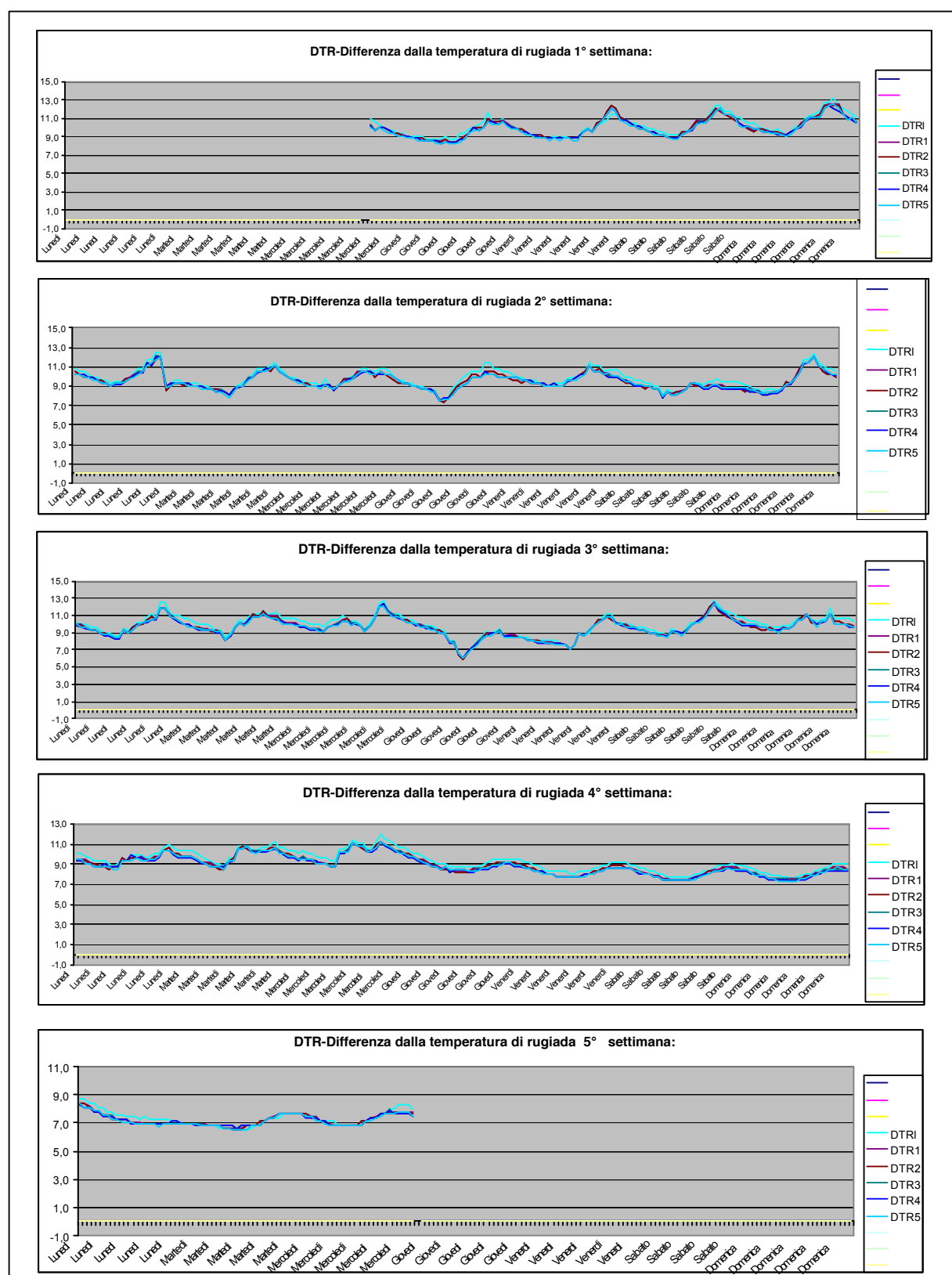


Figura 12 - Riepilogo mensile – Differenza dalla temperatura di rugiada - mese di luglio 2013

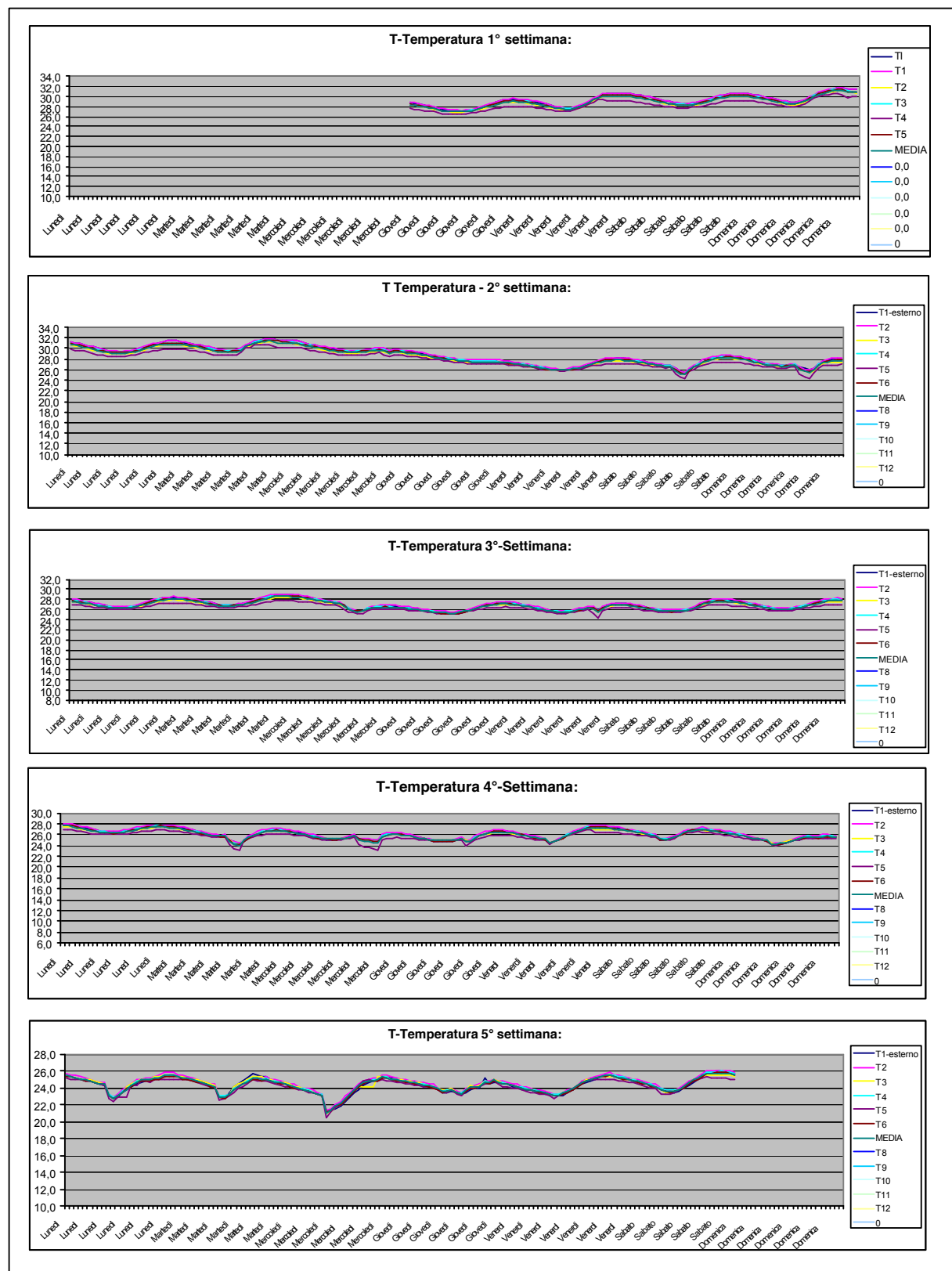


Figura 13 - Riepilogo mensile – Temperatura - mese di agosto 2013

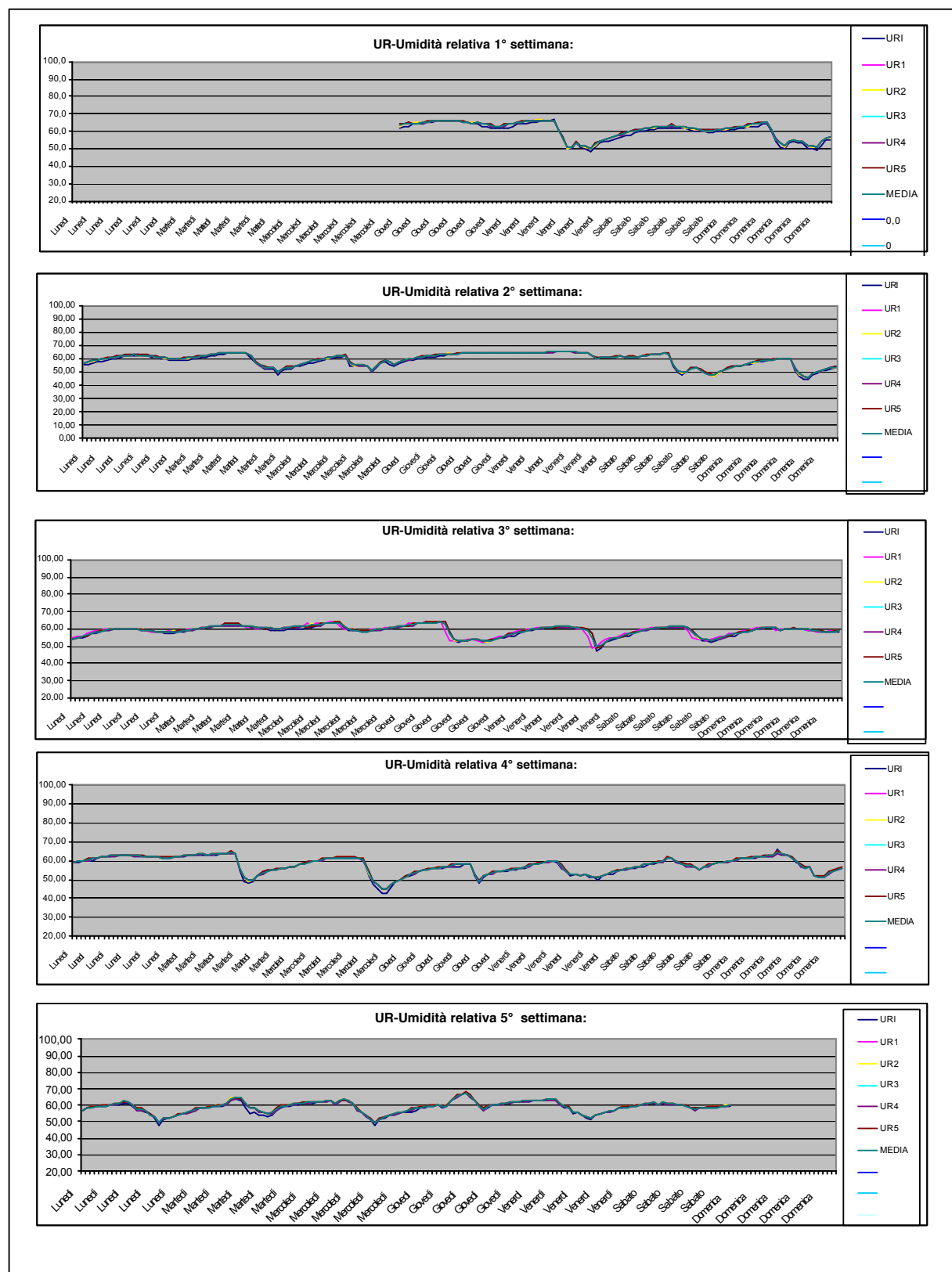


Figura 14 - Riepilogo mensile – Umidità relativa - mese di agosto 2013

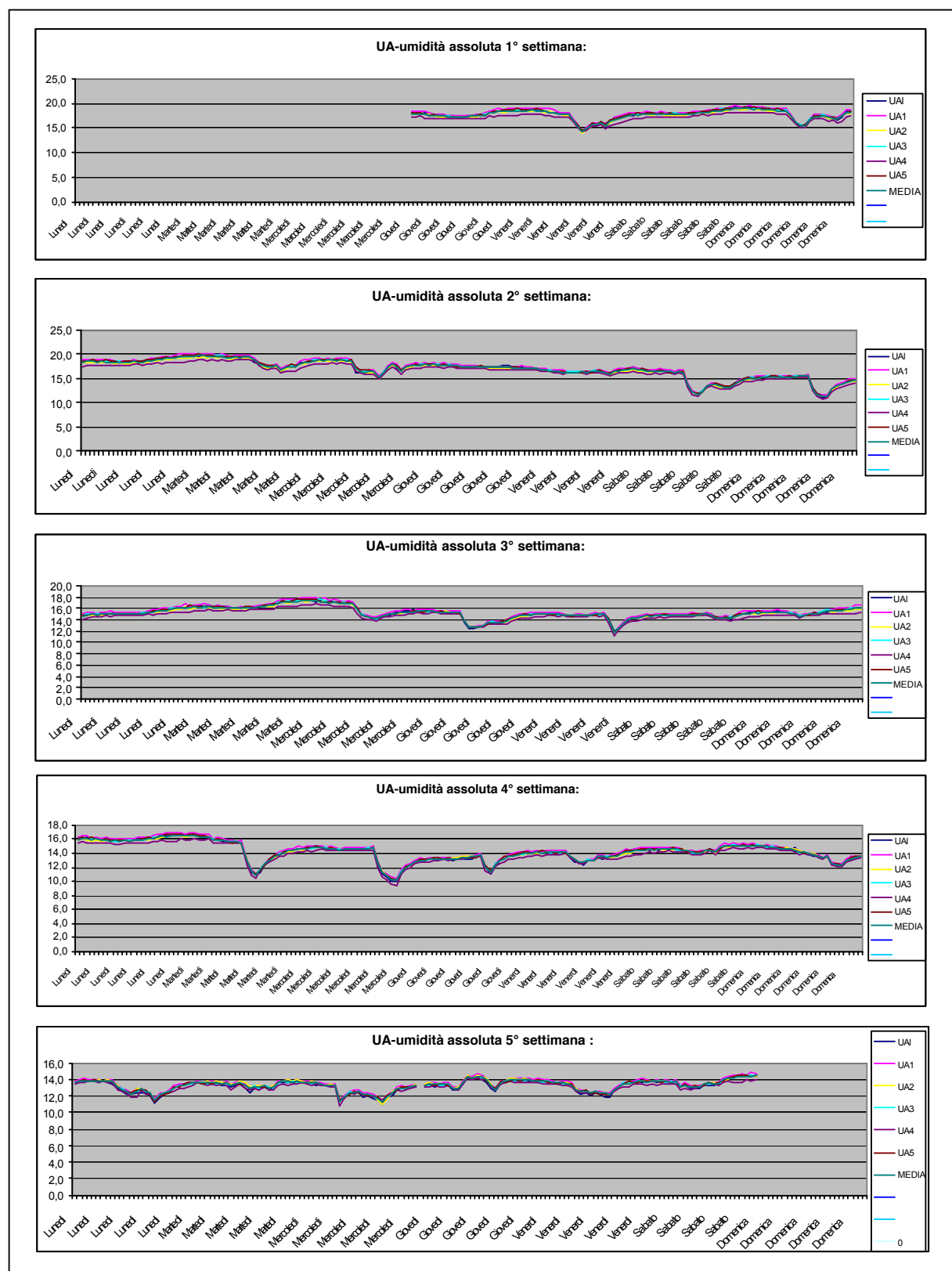


Figura 15 - Riepilogo mensile – Umidità assoluta - mese di agosto 2013

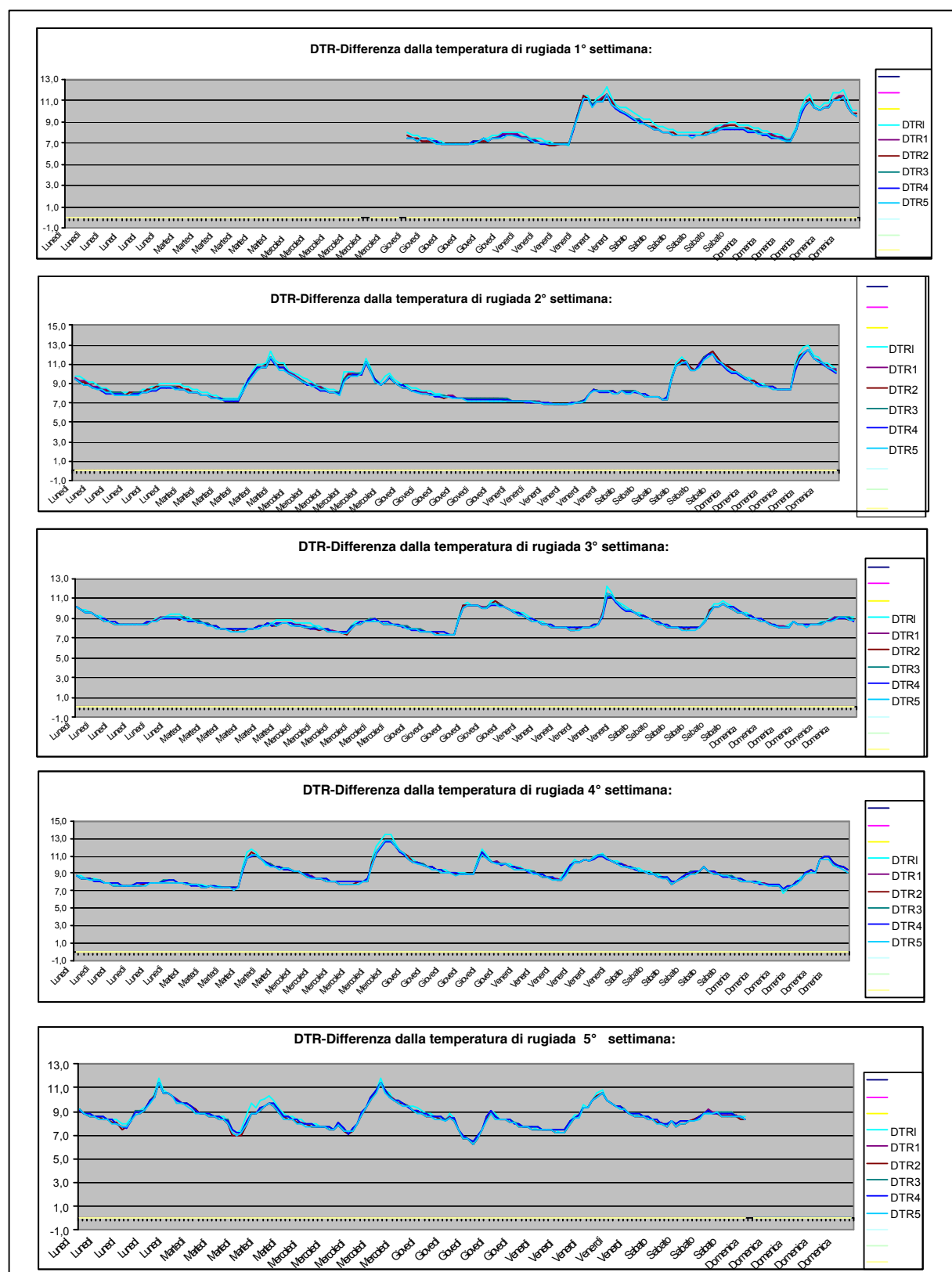


Figura 16 - Riepilogo mensile – Differenza dalla temperatura di rugiada - mese di agosto 2013

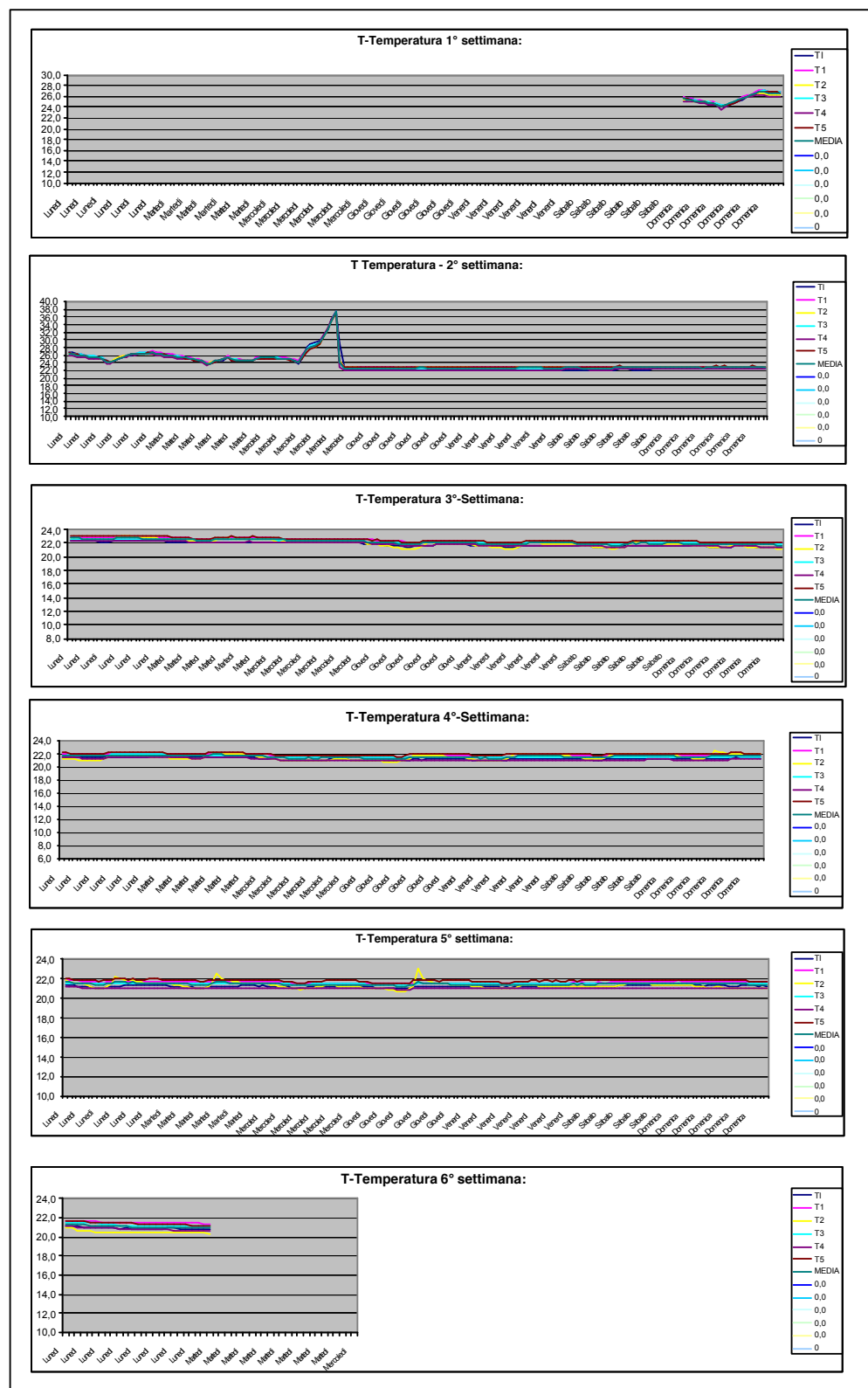


Figura 17 - Riepilogo mensile – Temperatura - mese di settembre 2013

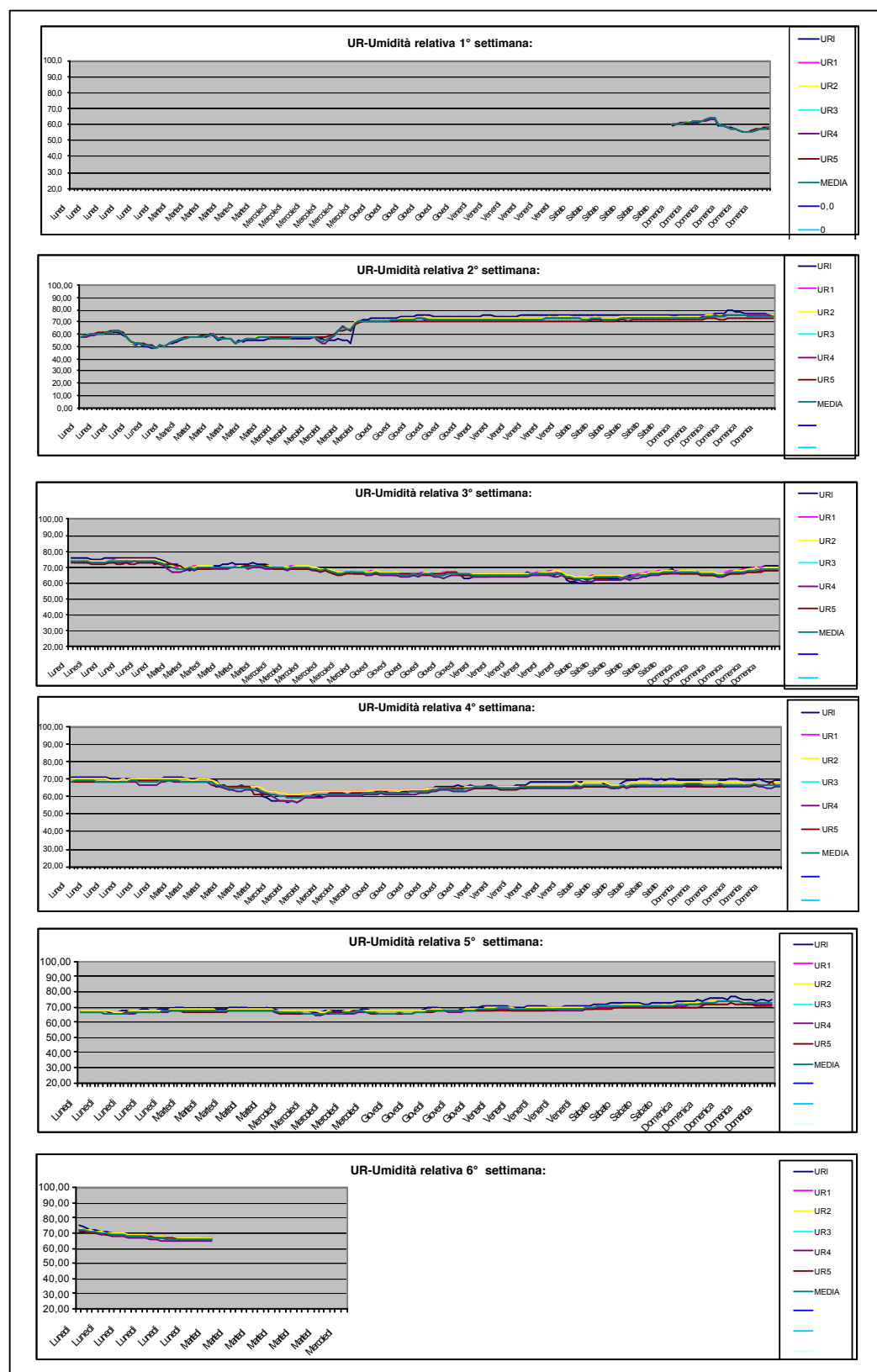


Figura 18 - Riepilogo mensile – Umidità relativa - mese di settembre 2013

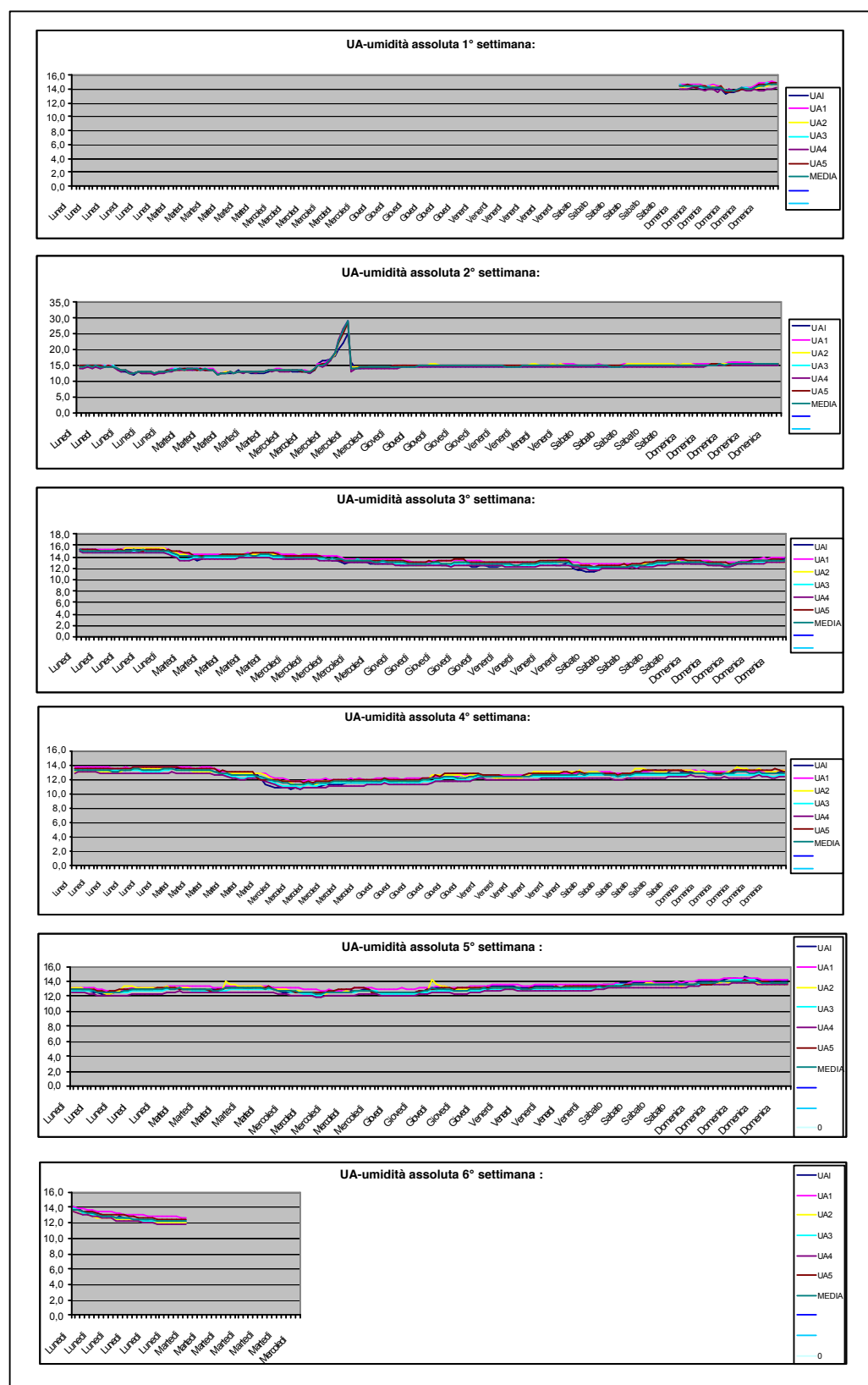


Figura 19 - Riepilogo mensile – Umidità assoluta - mese di settembre 2013

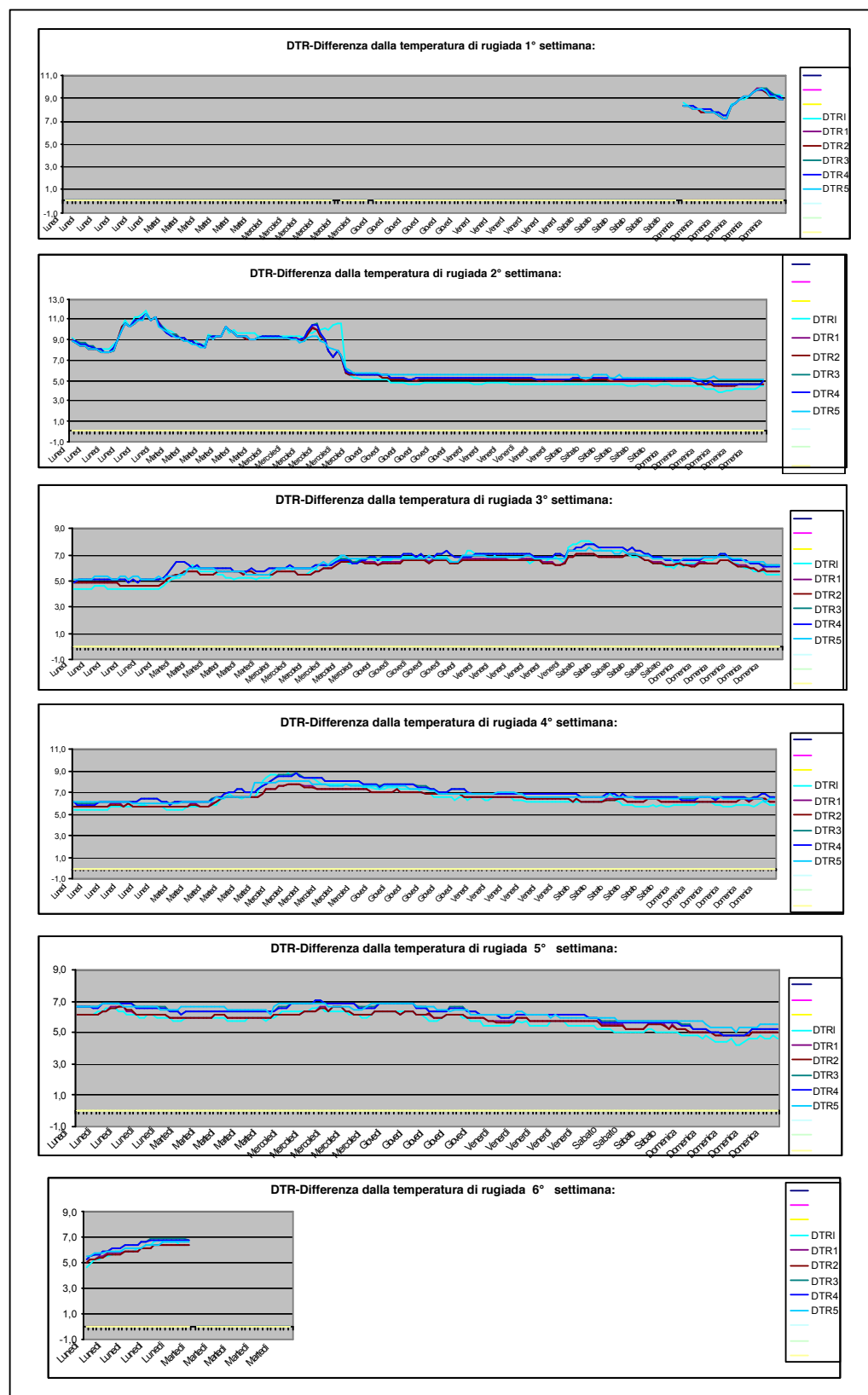


Figura 20 - Riepilogo mensile – Differenza dalla temperatura di rugiada - mese di settembre 2013

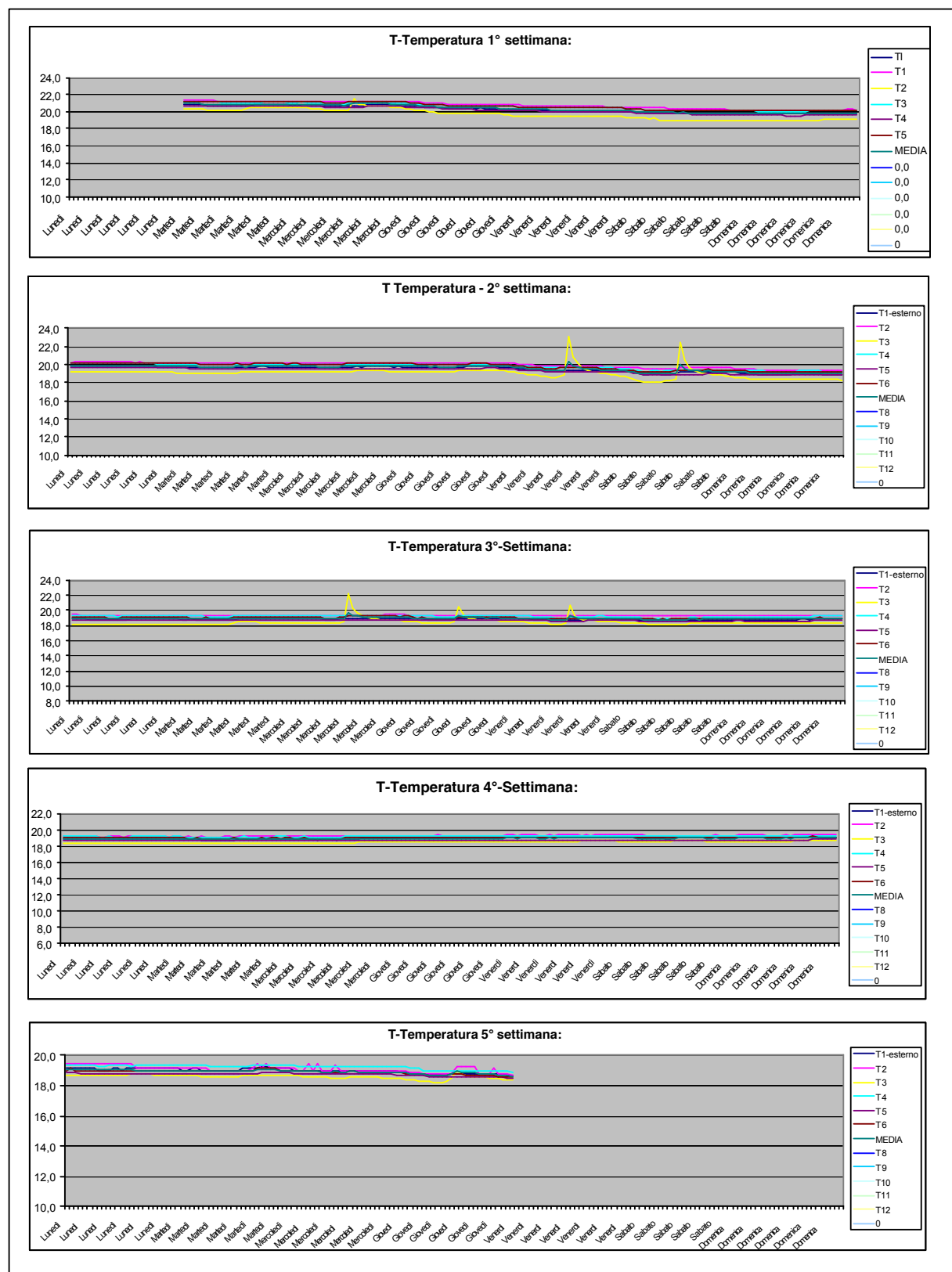


Figura 21 - Riepilogo mensile – Temperatura - mese di ottobre 2013

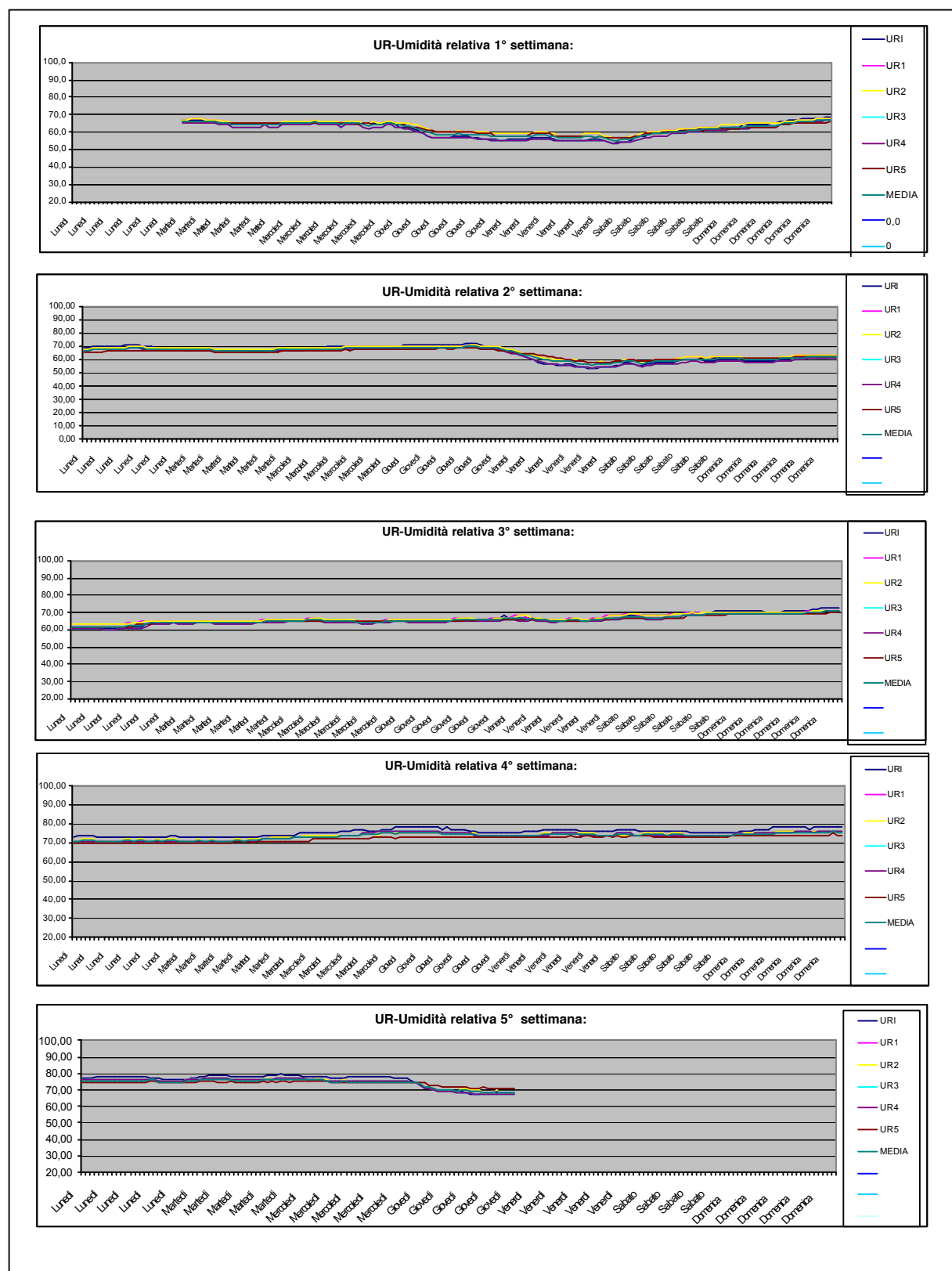


Figura 22 - Riepilogo mensile – Umidità relativa - mese di ottobre 2013

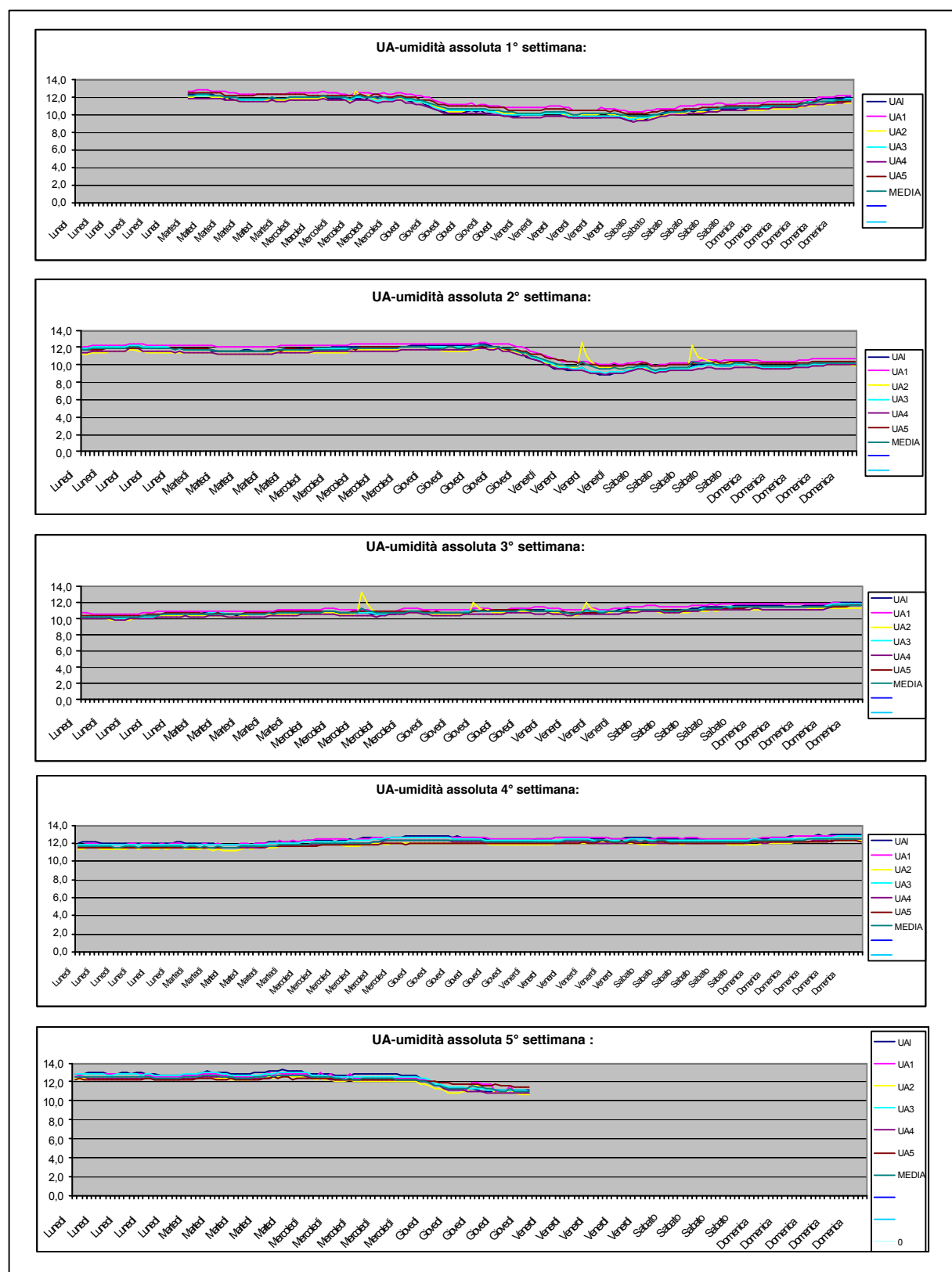


Figura 23 - Riepilogo mensile – Umidità assoluta - mese di ottobre 2013

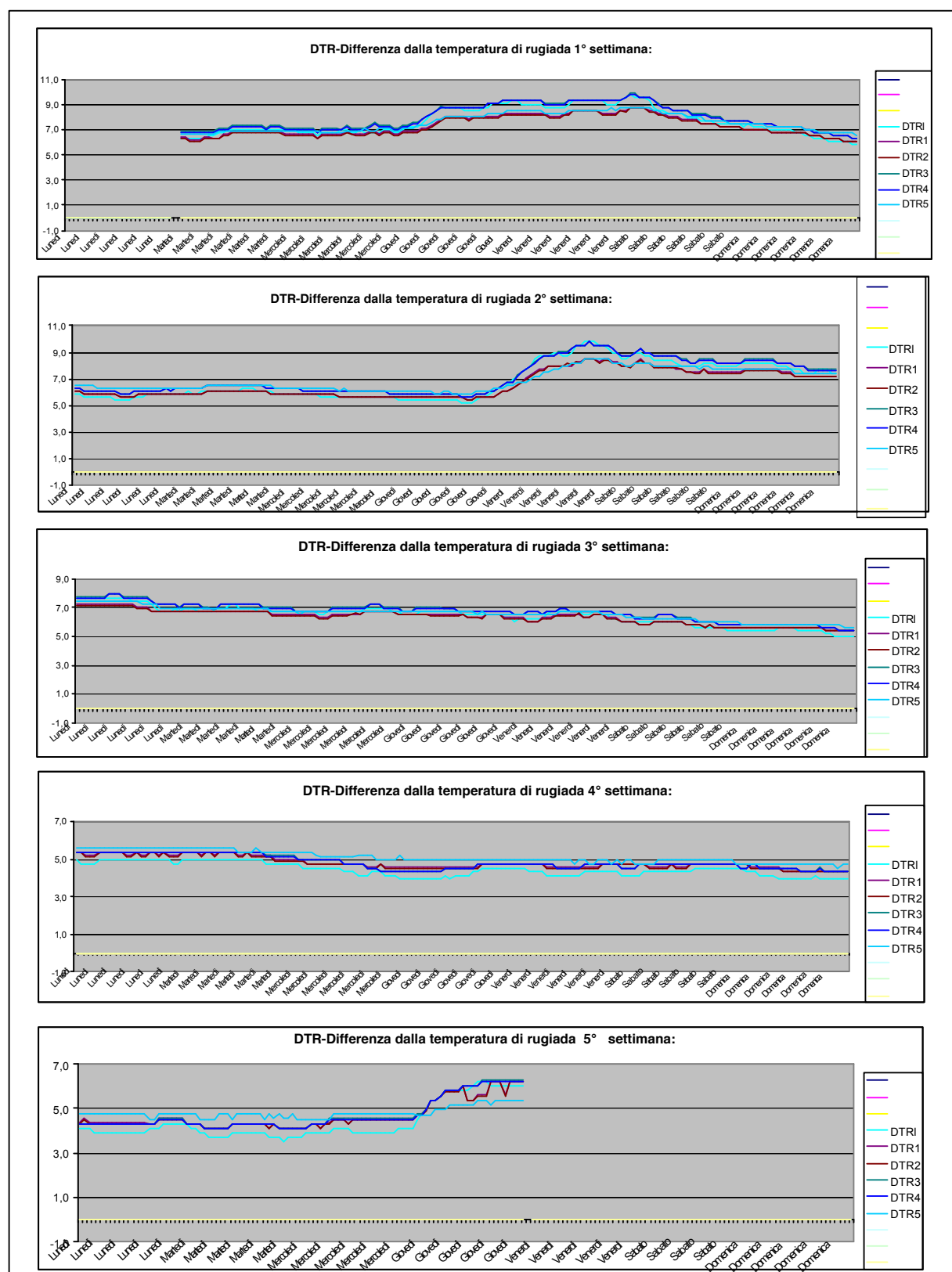


Figura 24 - Riepilogo mensile – Differenza dalla temperatura di rugiada - mese di ottobre 2013

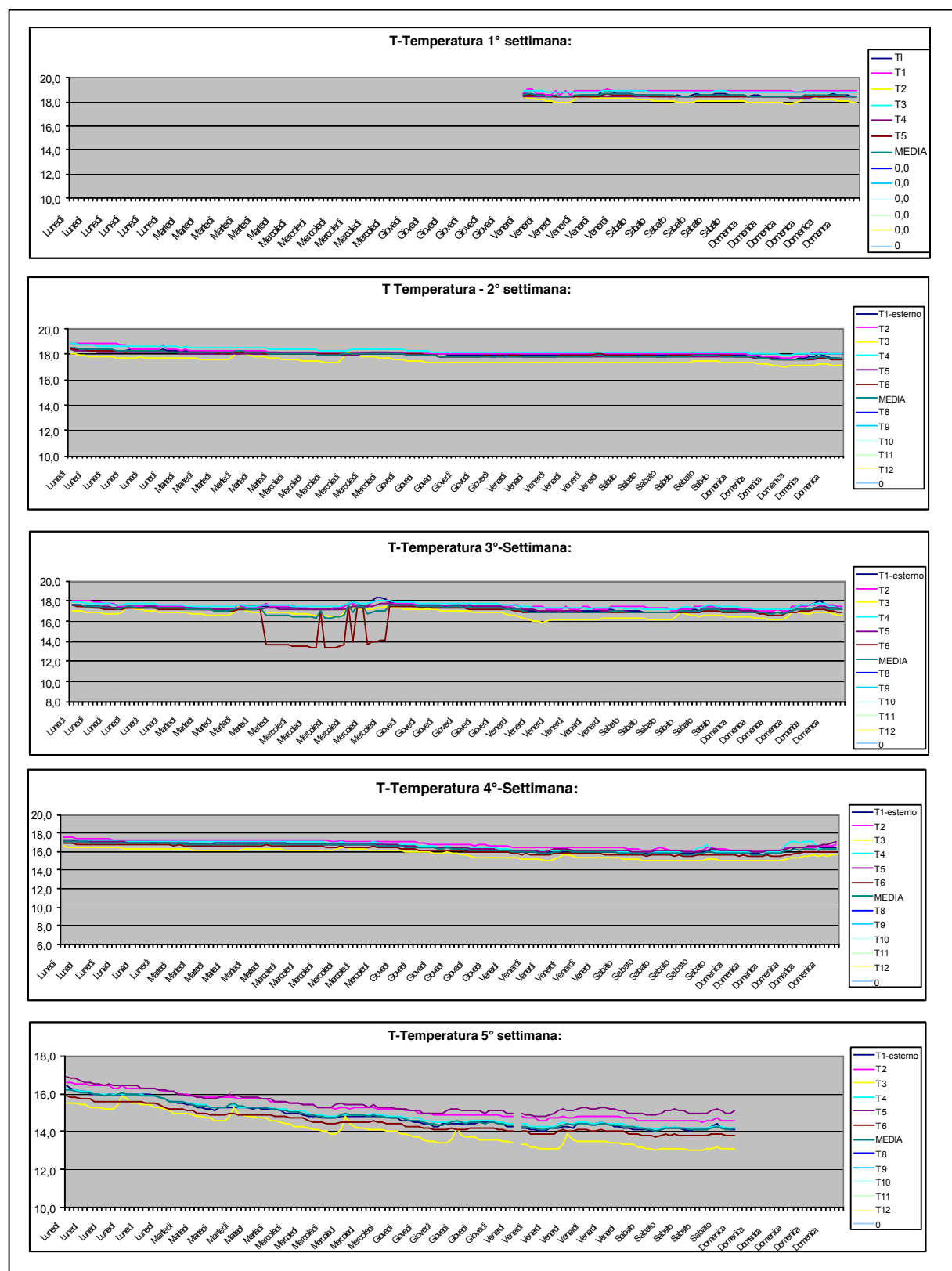


Figura 25 - Riepilogo mensile – Temperatura - mese di novembre 2013

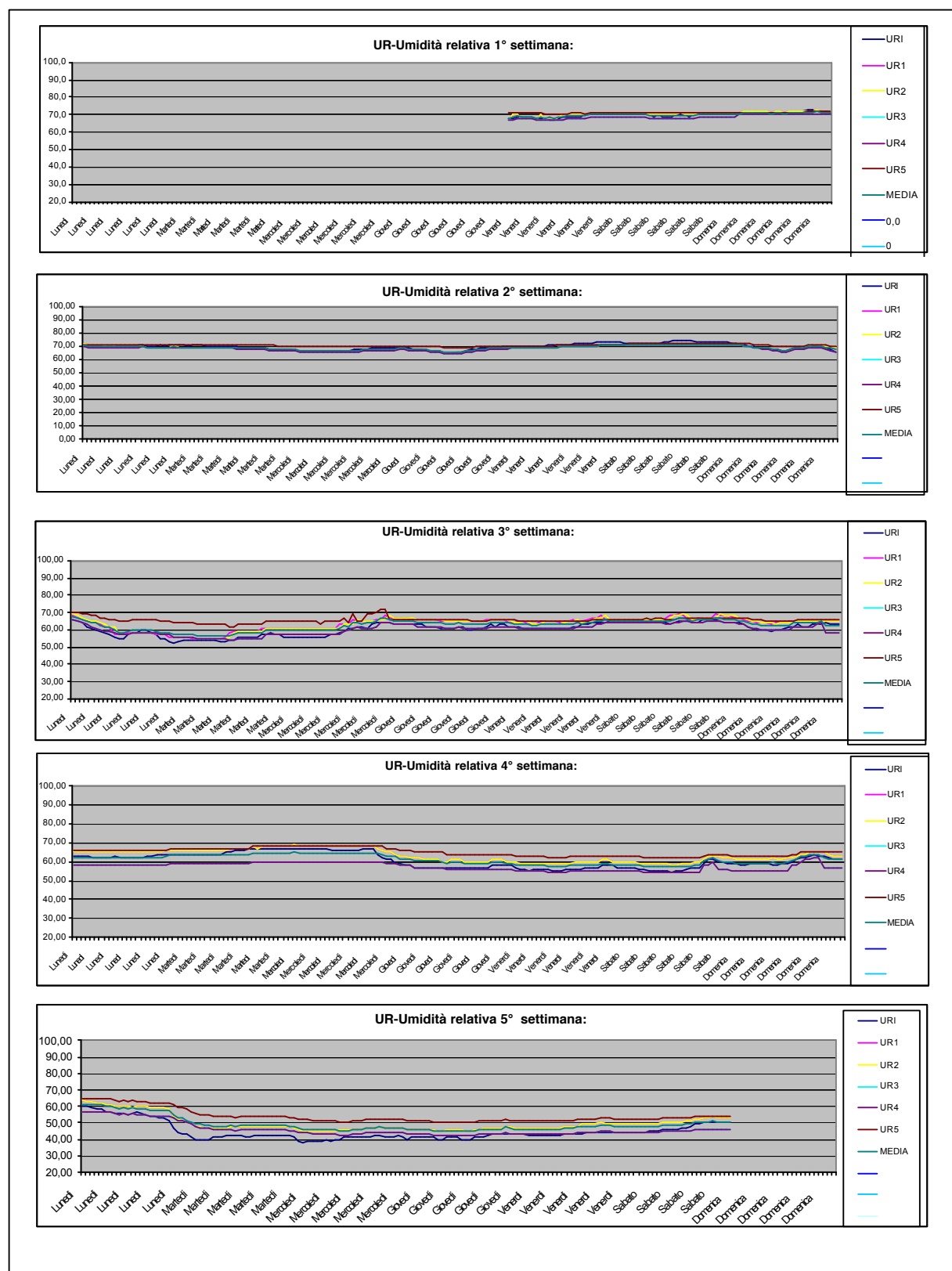


Figura 26 - Riepilogo mensile – Umidità relativa - mese di novembre 2013

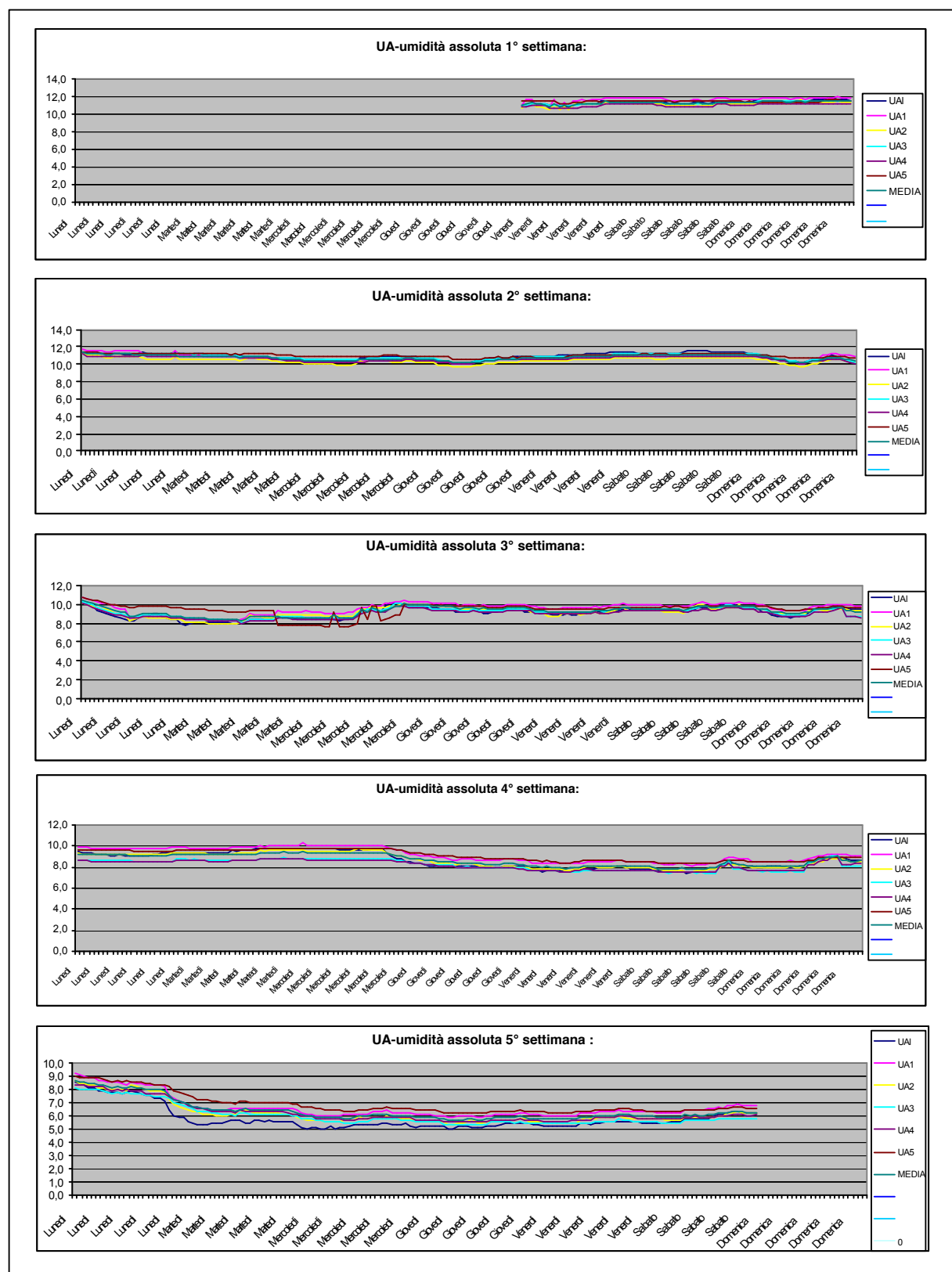


Figura 27 - Riepilogo mensile – Umidità assoluta - mese di novembre 2013

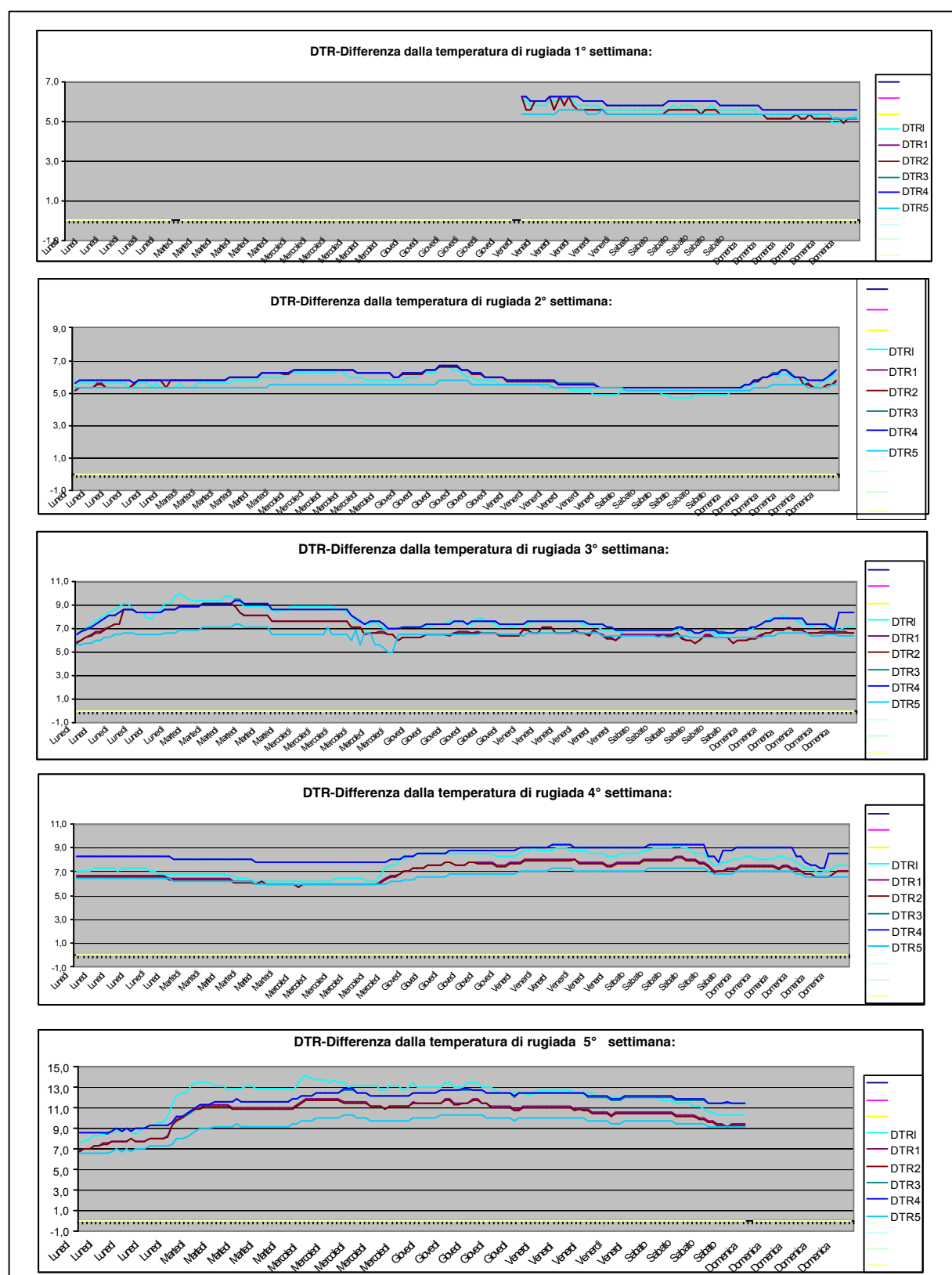


Figura 28 - Riepilogo mensile – Differenza dalla temperatura di rugiada - mese di novembre 2013

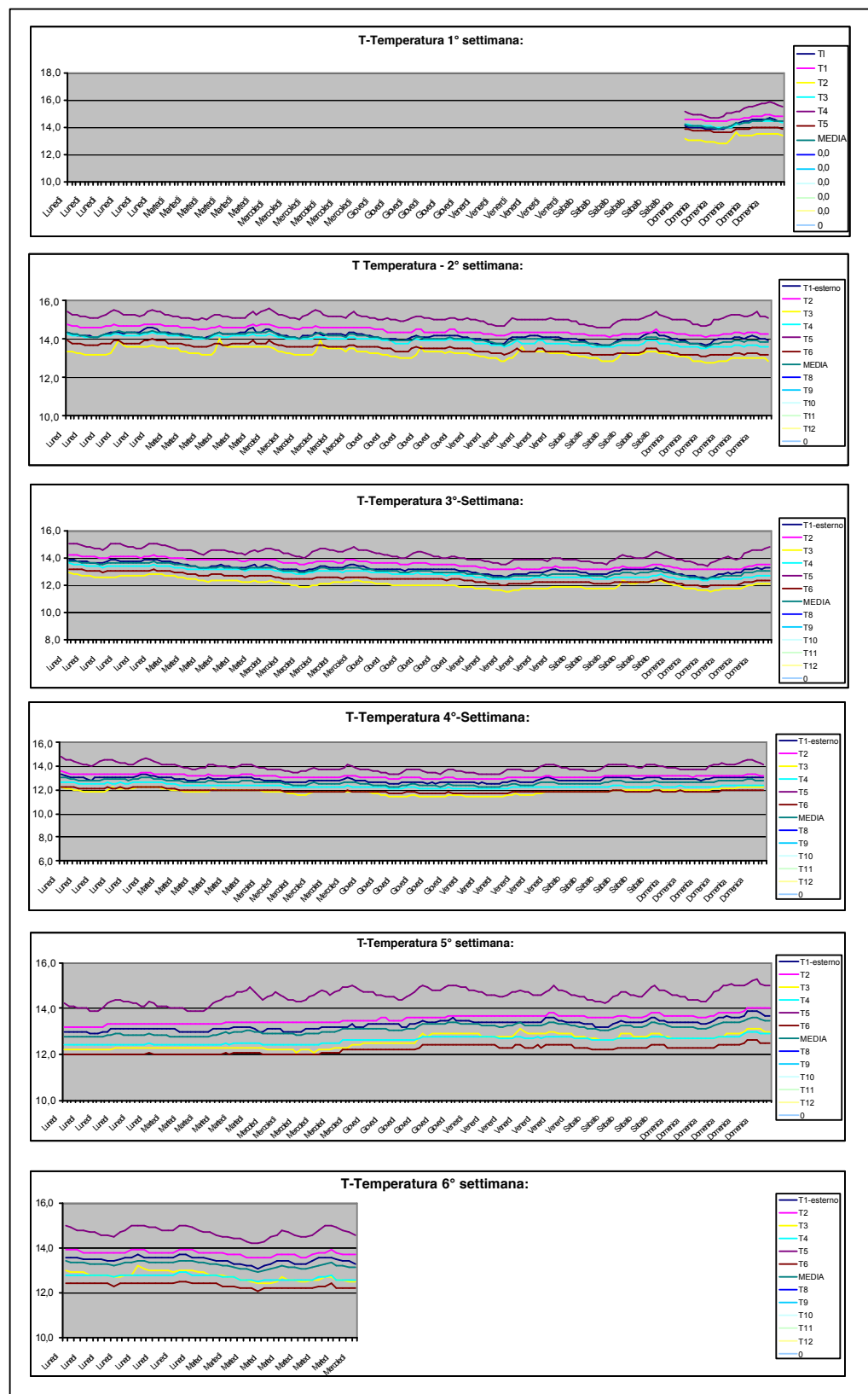


Figura 29 - Riepilogo mensile – Temperatura - mese di dicembre 2013

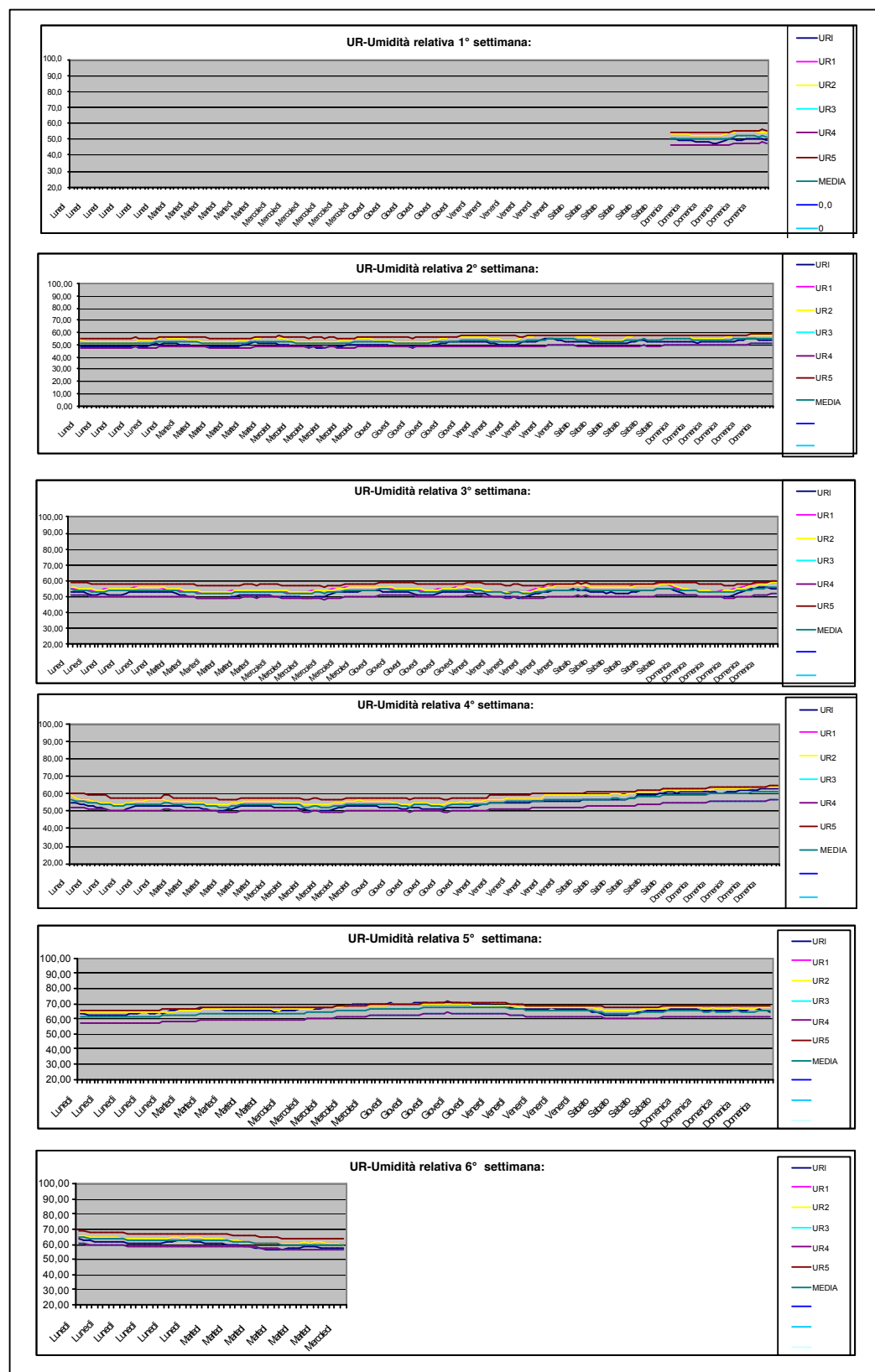


Figura 30 - Riepilogo mensile – Umidità relativa - mese di dicembre 2013

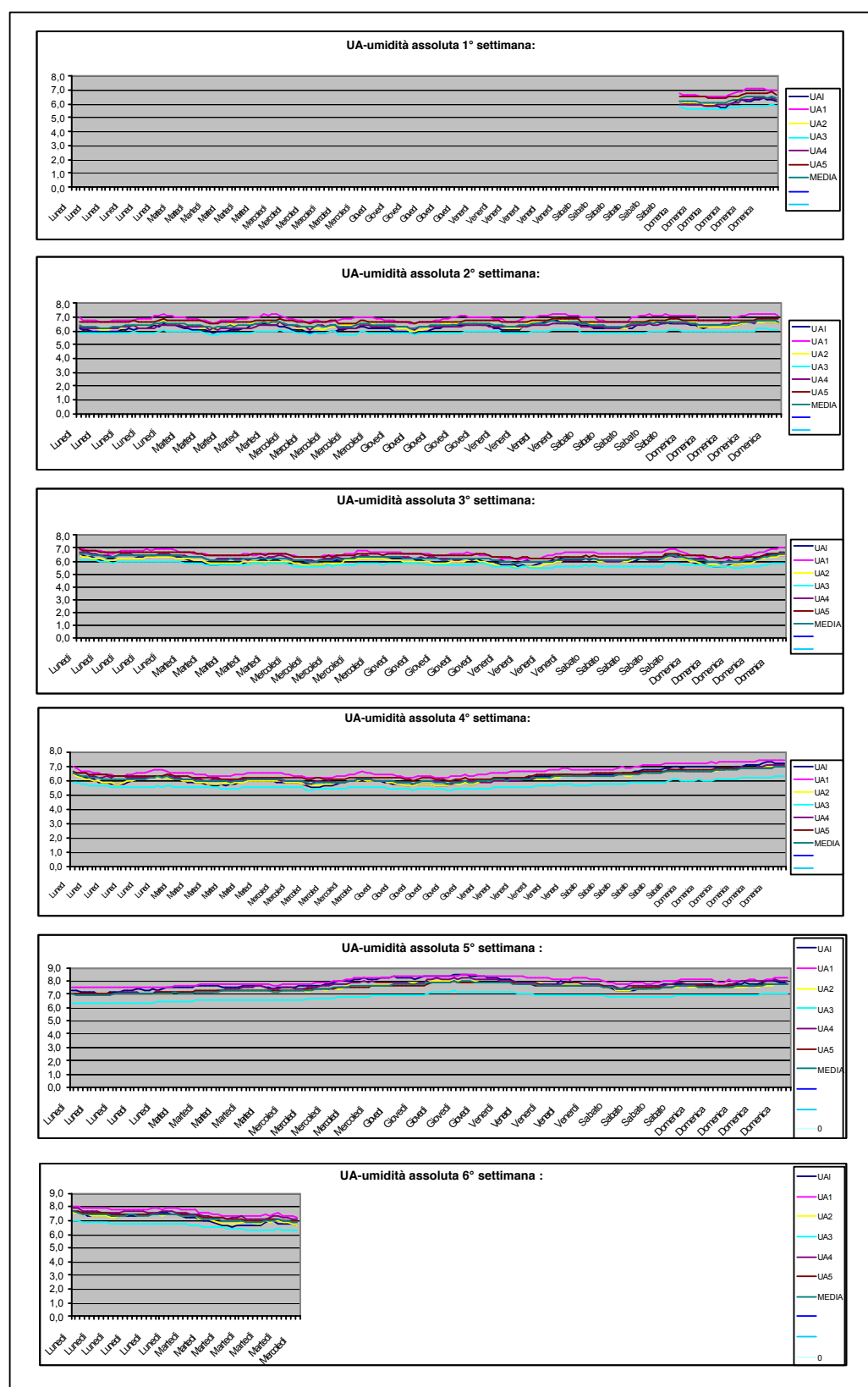


Figura 31 - Riepilogo mensile – Umidità assoluta - mese di dicembre 2013

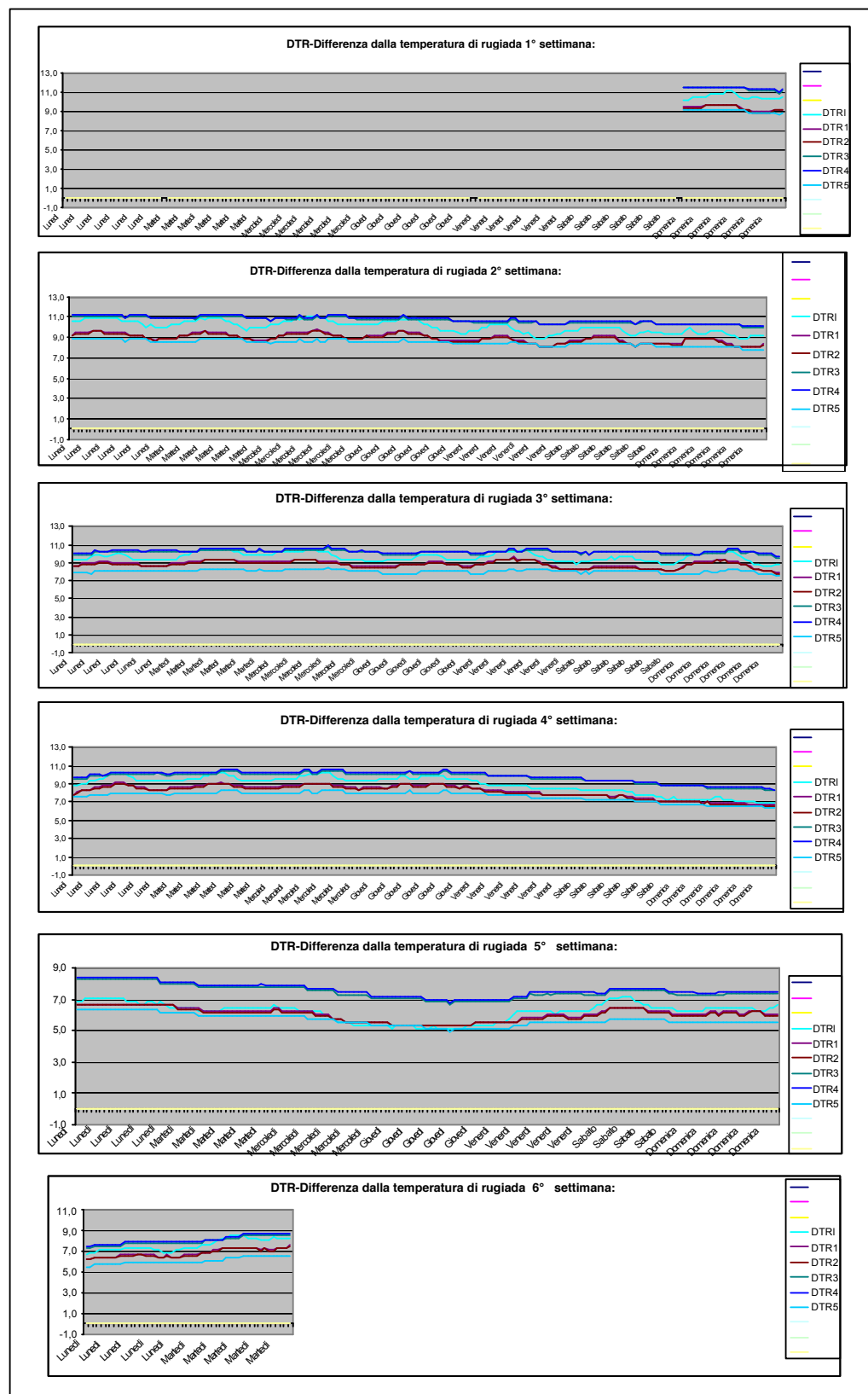


Figura 32 - Riepilogo mensile – Differenza dalla temperatura di rugiada - mese di dicembre 2013

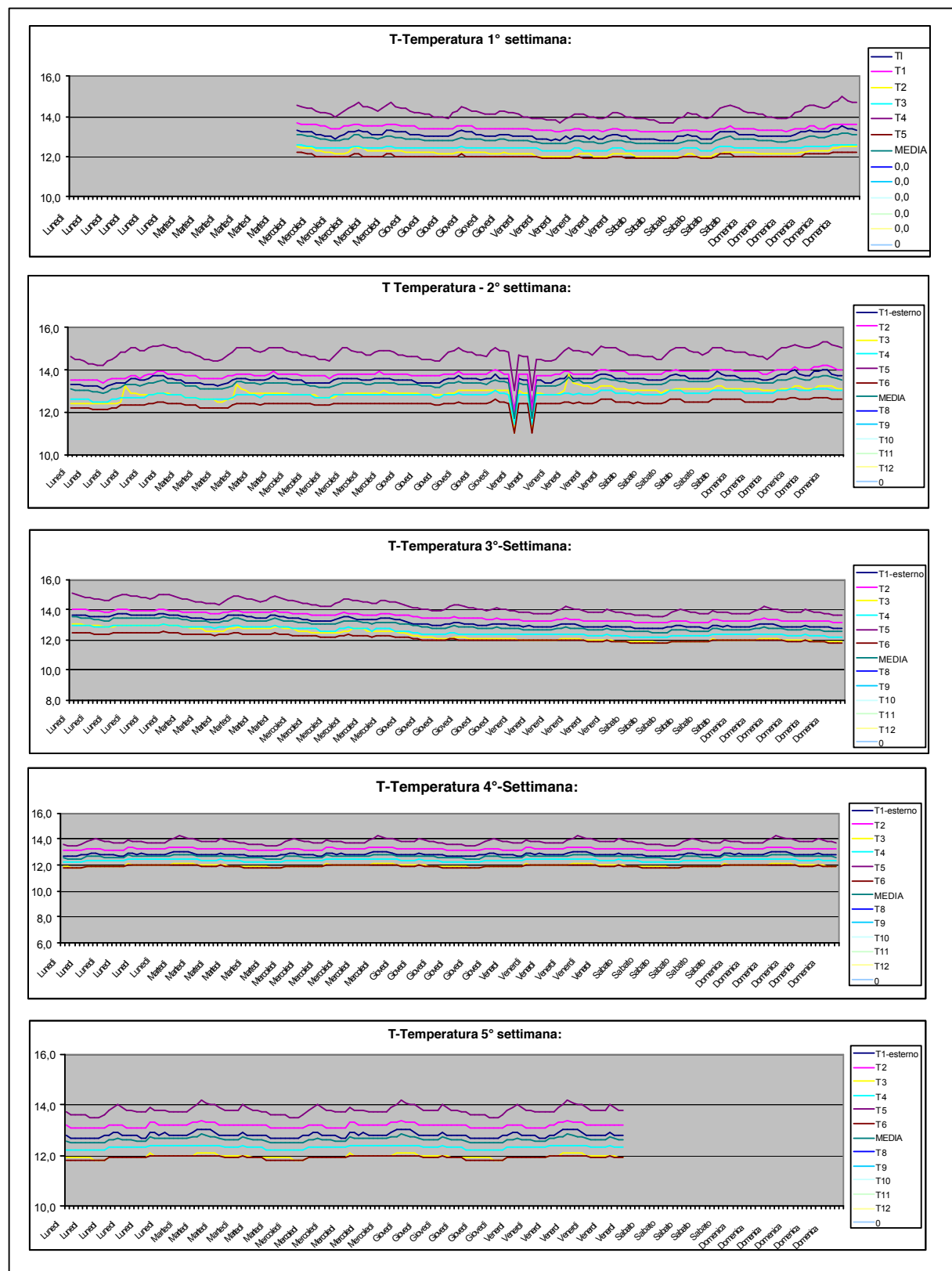


Figura 33 - Riepilogo mensile – Temperatura - mese di gennaio 2014

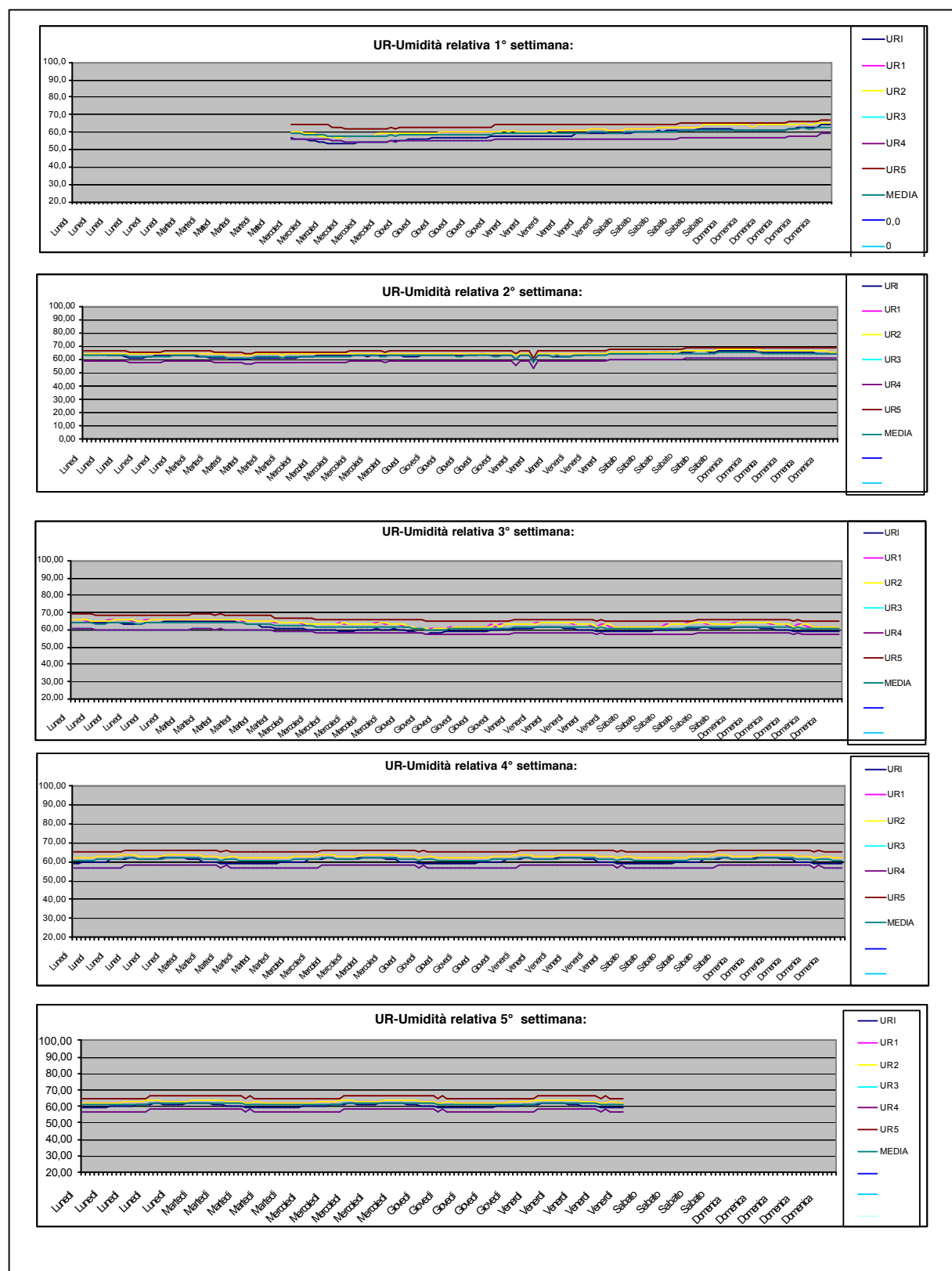


Figura 34 - Riepilogo mensile – Umidità relativa - mese di gennaio 2014

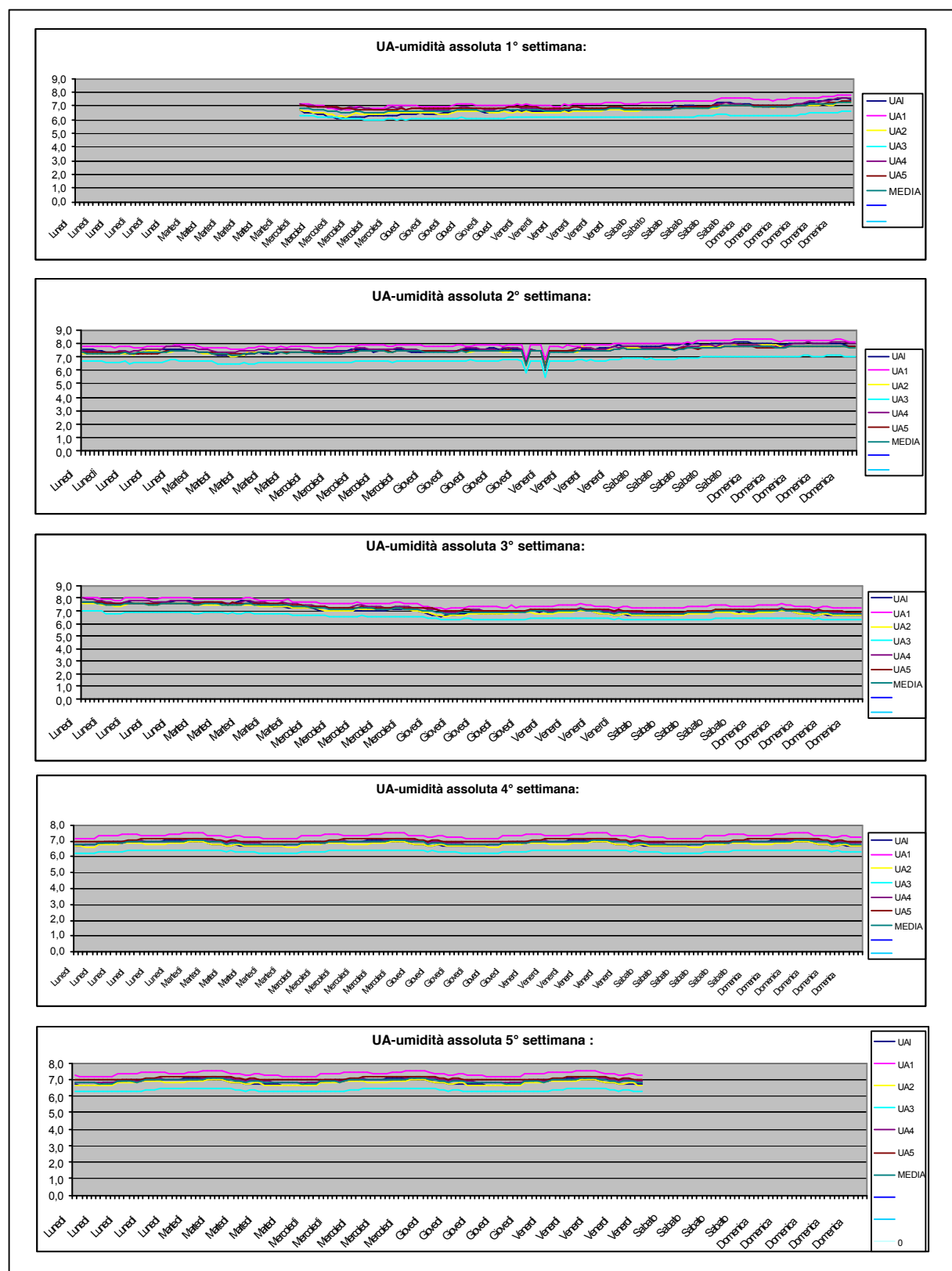


Figura 35 - Riepilogo mensile – Umidità assoluta - mese di gennaio 2014

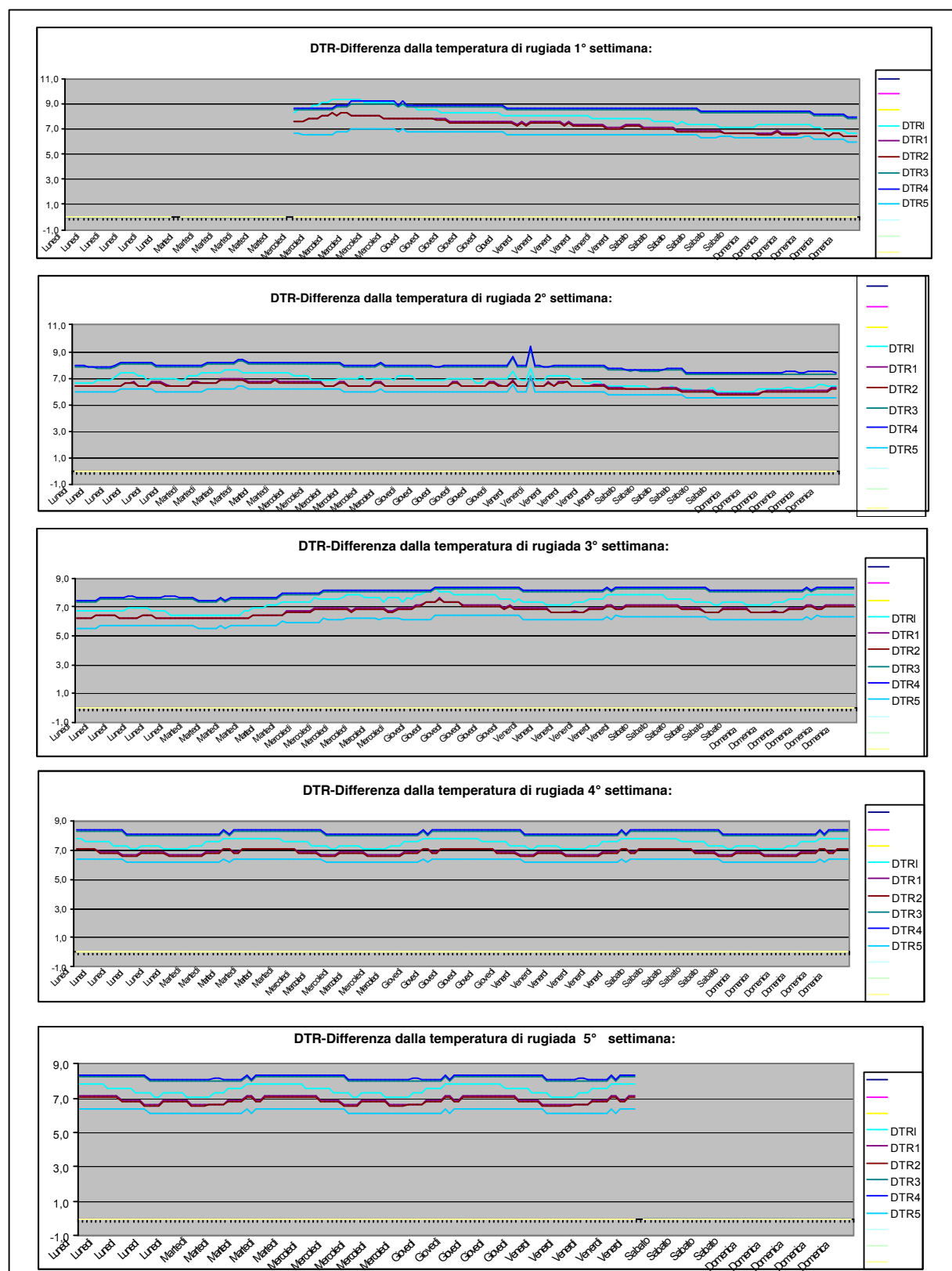


Figura 36 - Riepilogo mensile – Differenza dalla temperatura di rugiada - mese di gennaio 2014

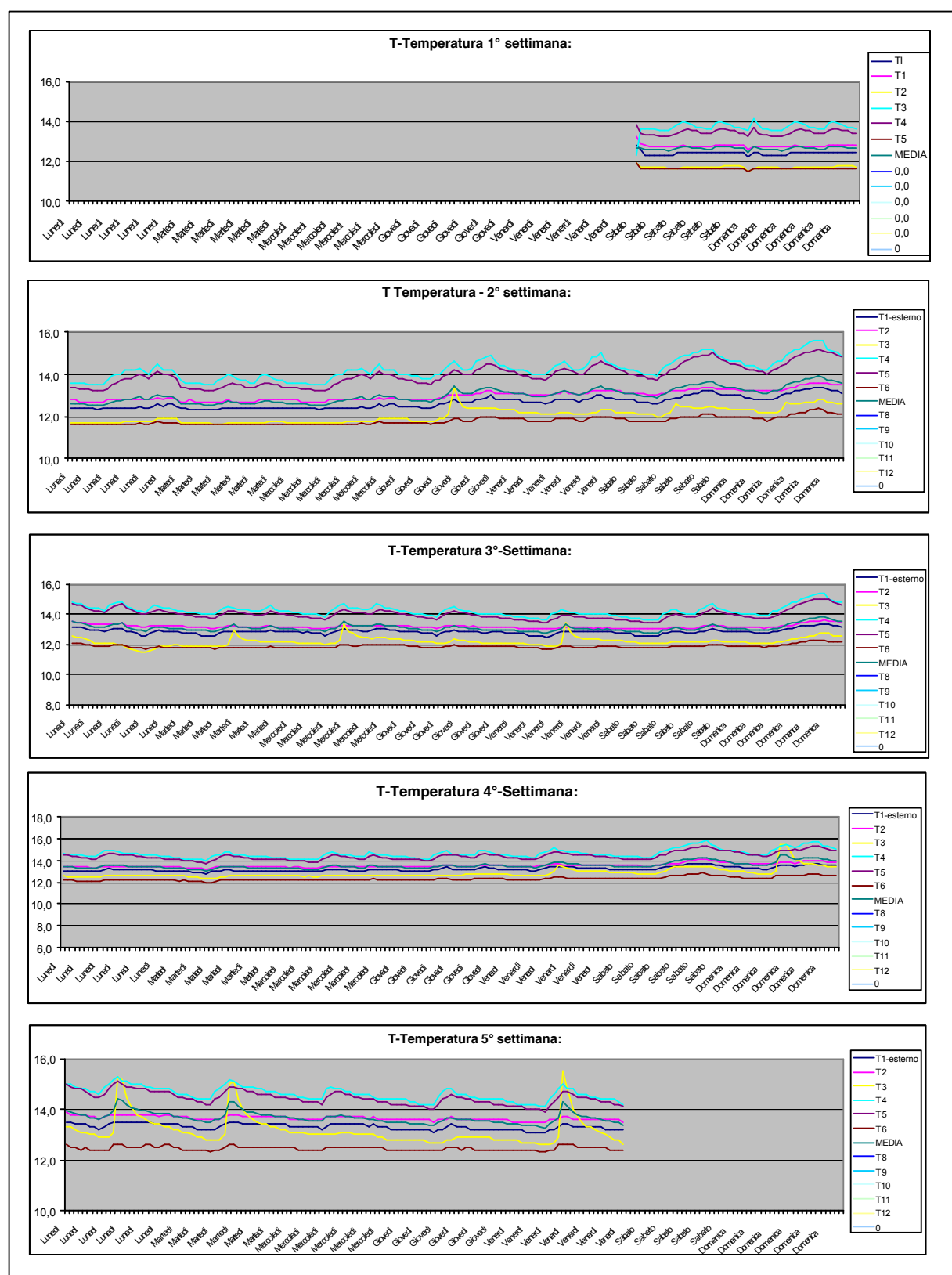


Figura 37 - Riepilogo mensile – Temperatura - mese di febbraio 2014

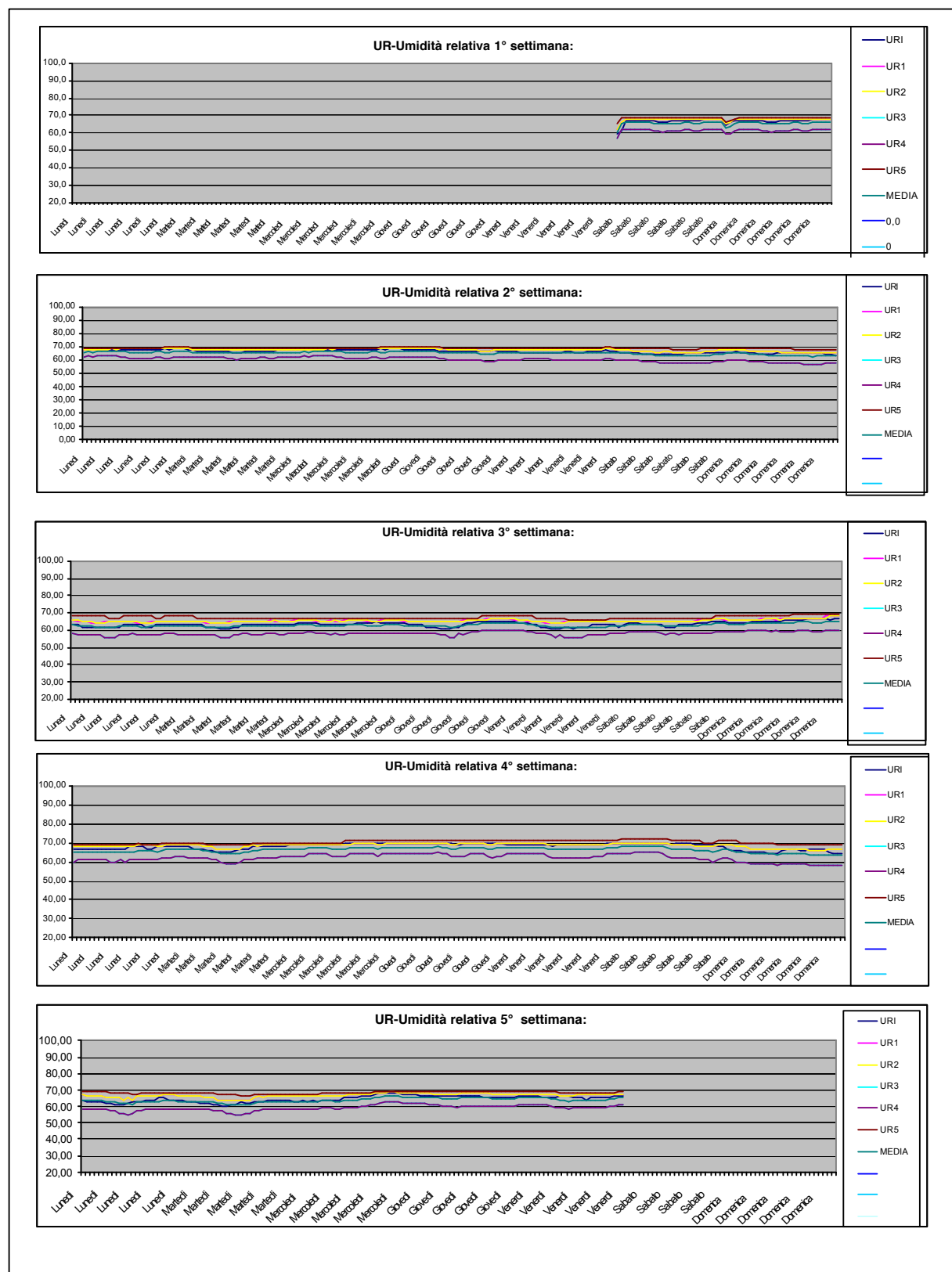


Figura 38 - Riepilogo mensile – Umidità relativa - mese di febbraio 2014

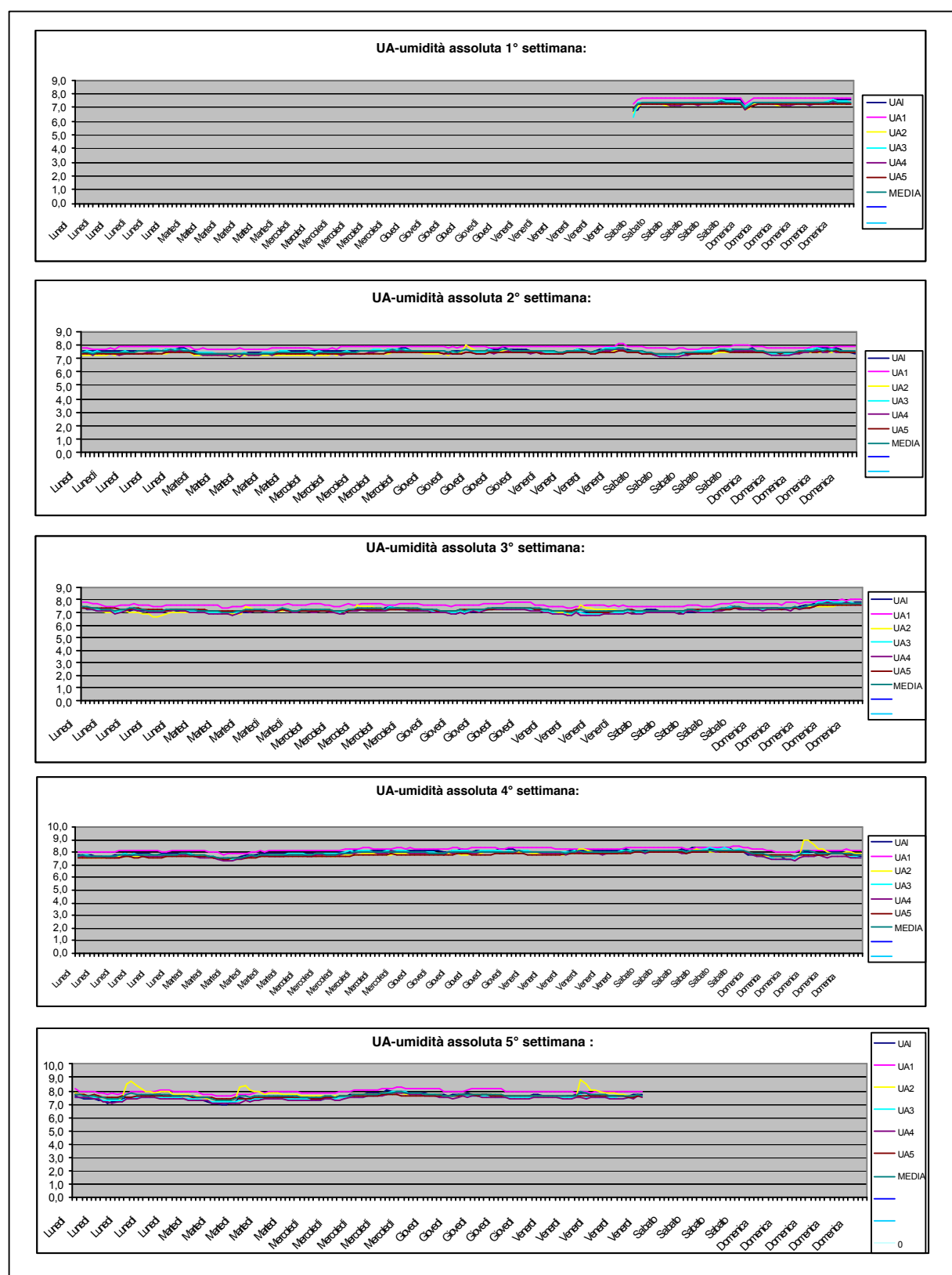


Figura 39 - Riepilogo mensile – Umidità assoluta - mese di febbraio 2014

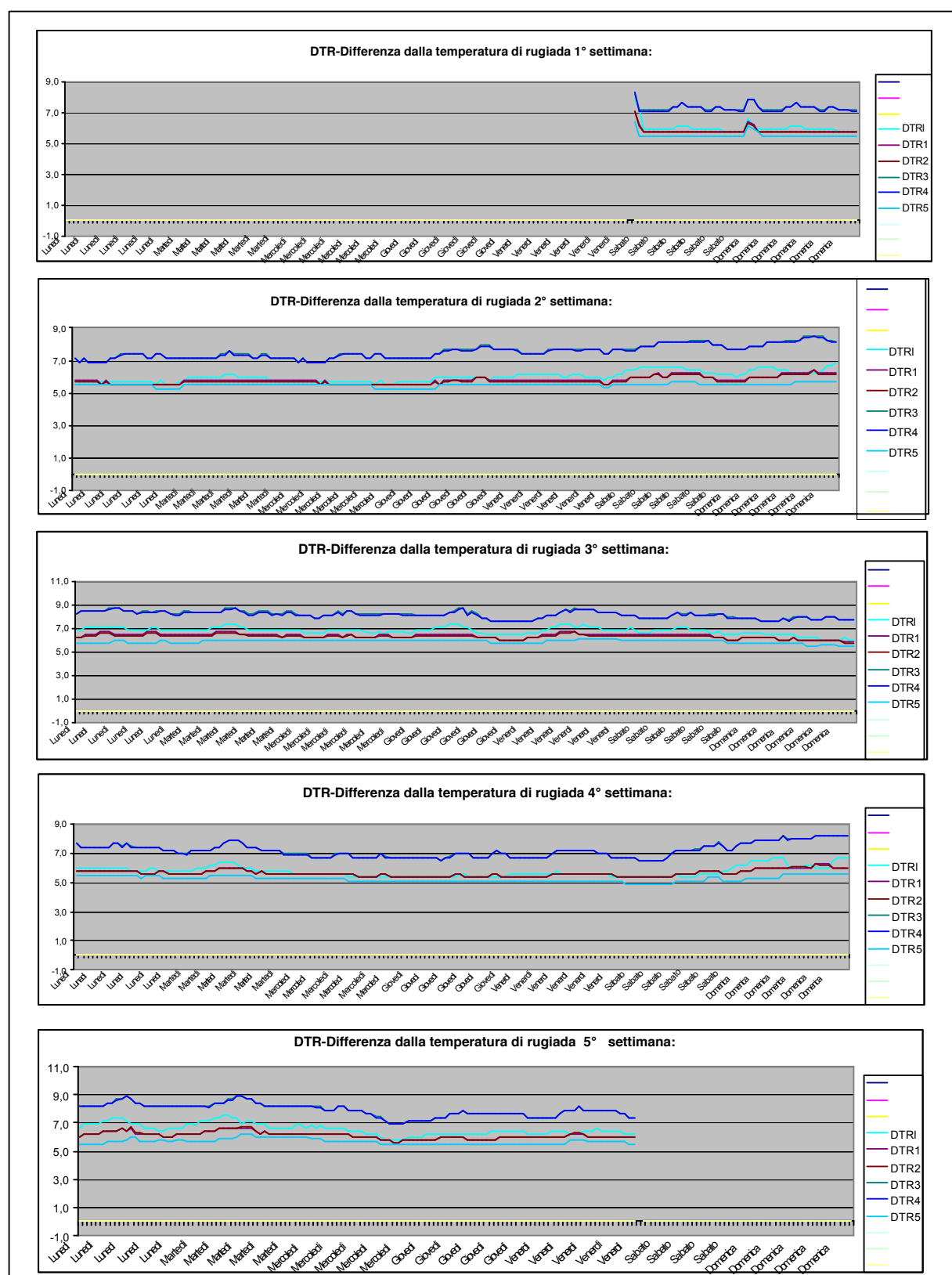


Figura 40 - Riepilogo mensile – Differenza dalla temperatura di rugiada - mese di febbraio 2014

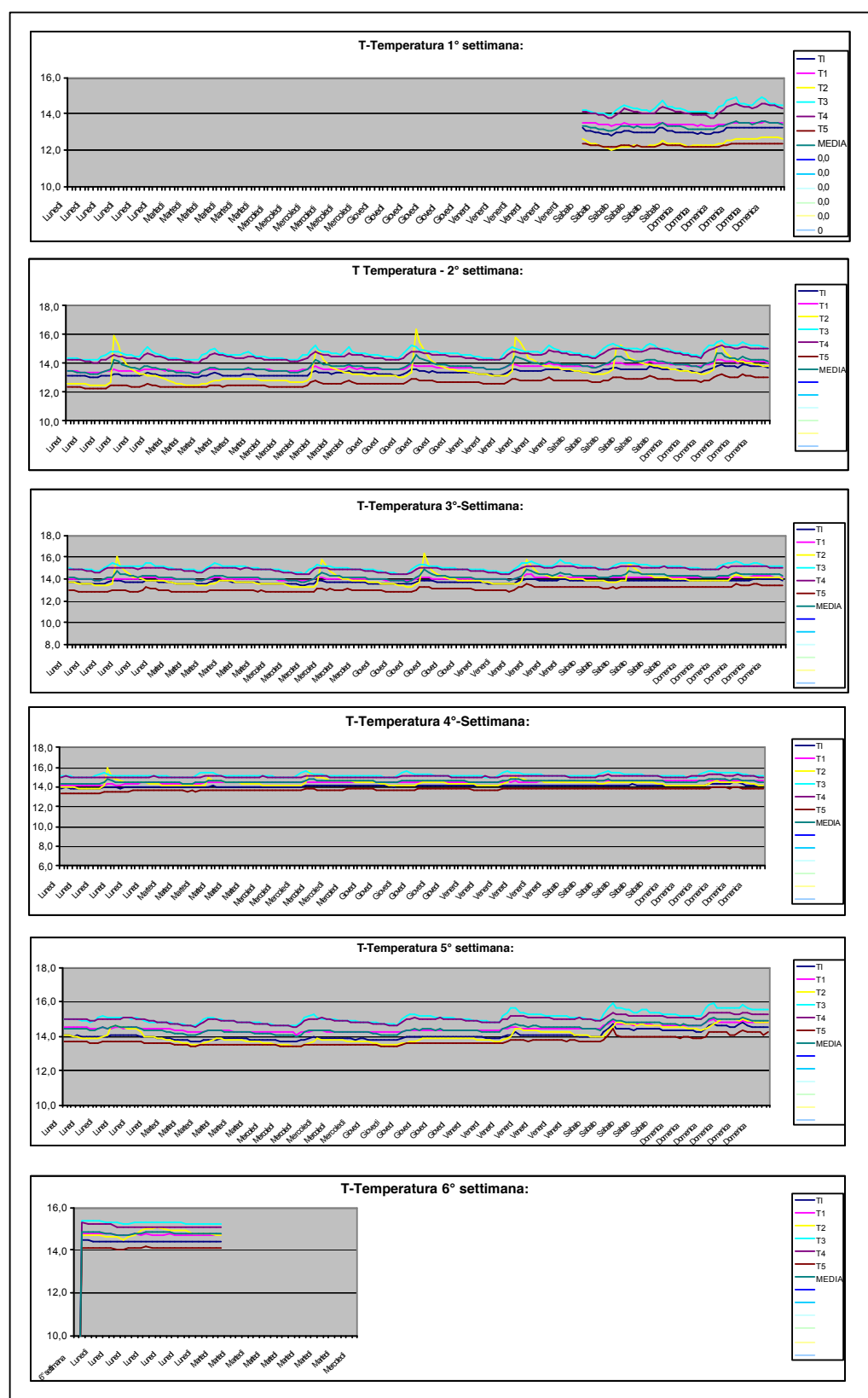


Figura 41 - Riepilogo mensile – Temperatura - mese di marzo 2014

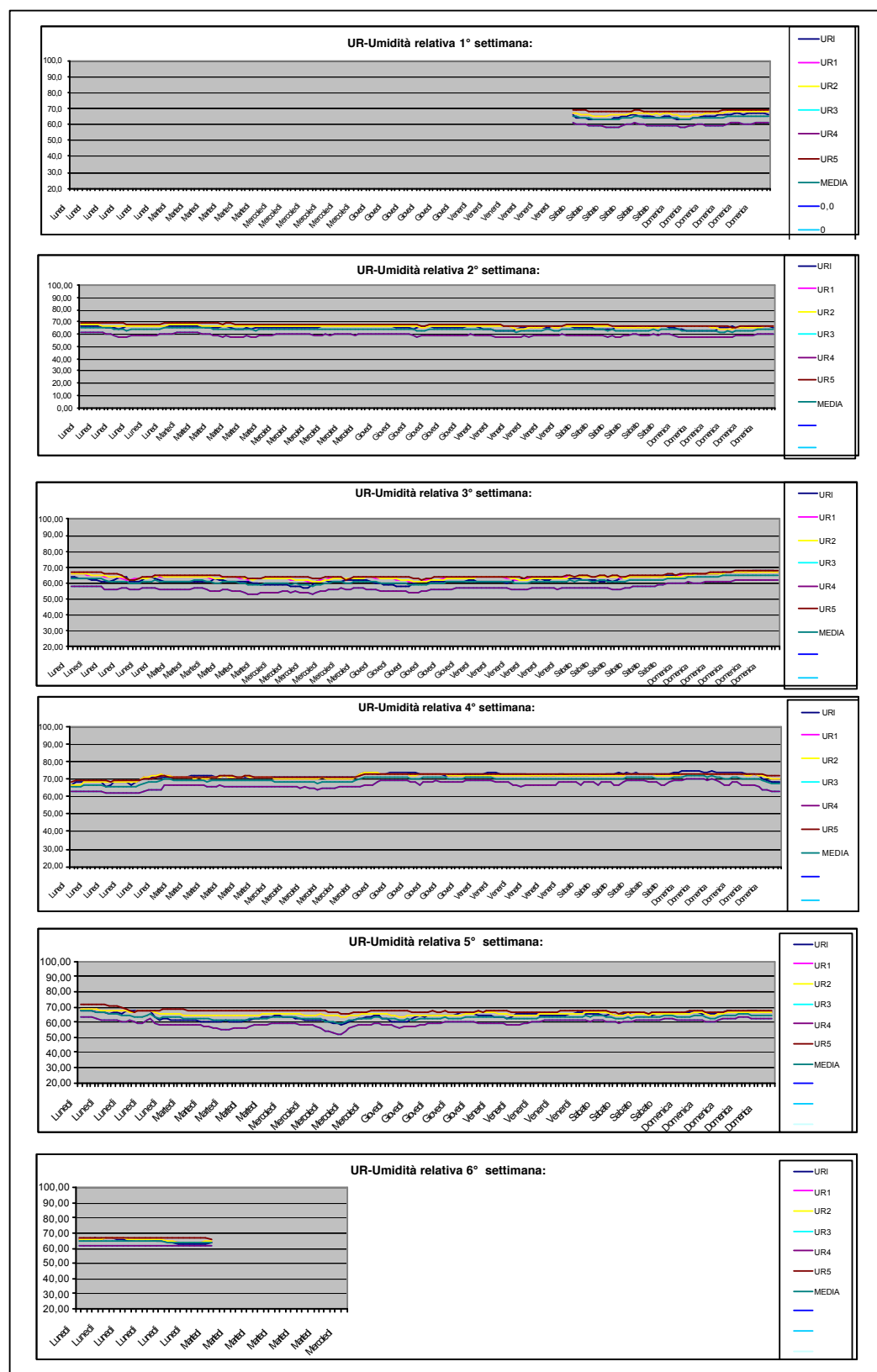


Figura 42 - Riepilogo mensile – Umidità relativa - mese di marzo 2014

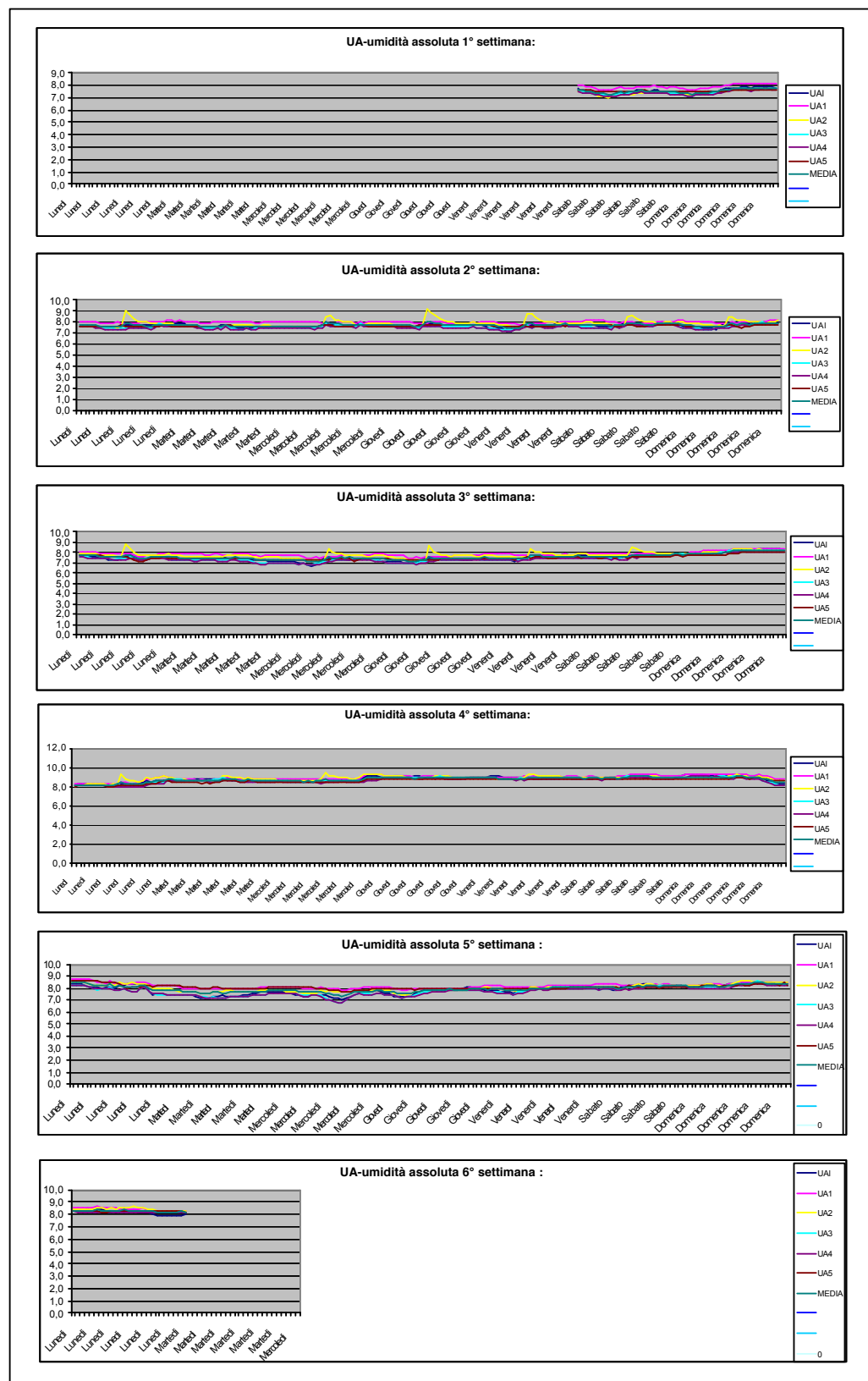


Figura 43 - Riepilogo mensile – Umidità assoluta - mese di marzo 2014

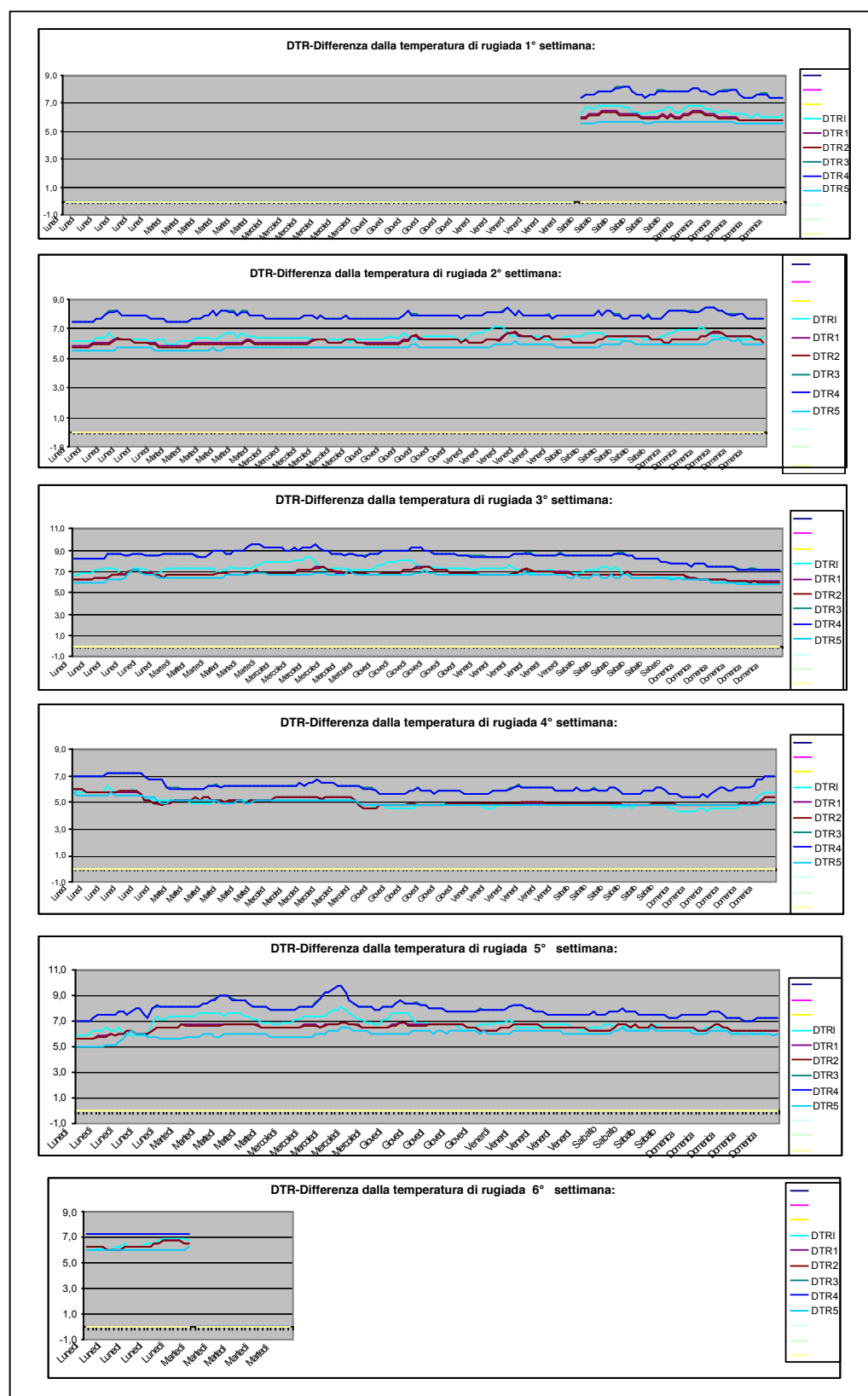


Figura 44 - Riepilogo mensile – Differenza dalla temperatura di rugiada - mese di marzo 2014

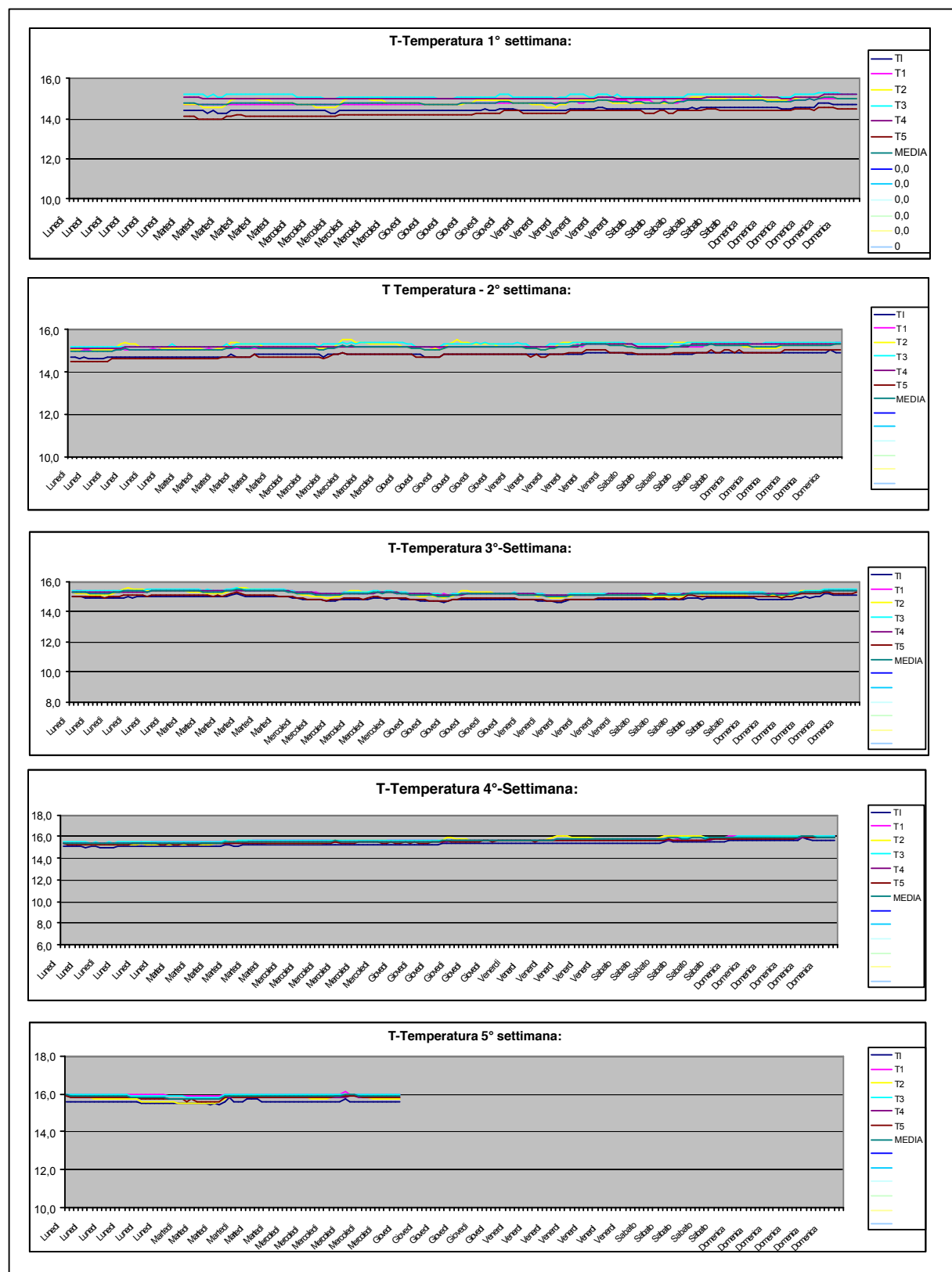


Figura 45 - Riepilogo mensile – Temperatura - mese di aprile 2014

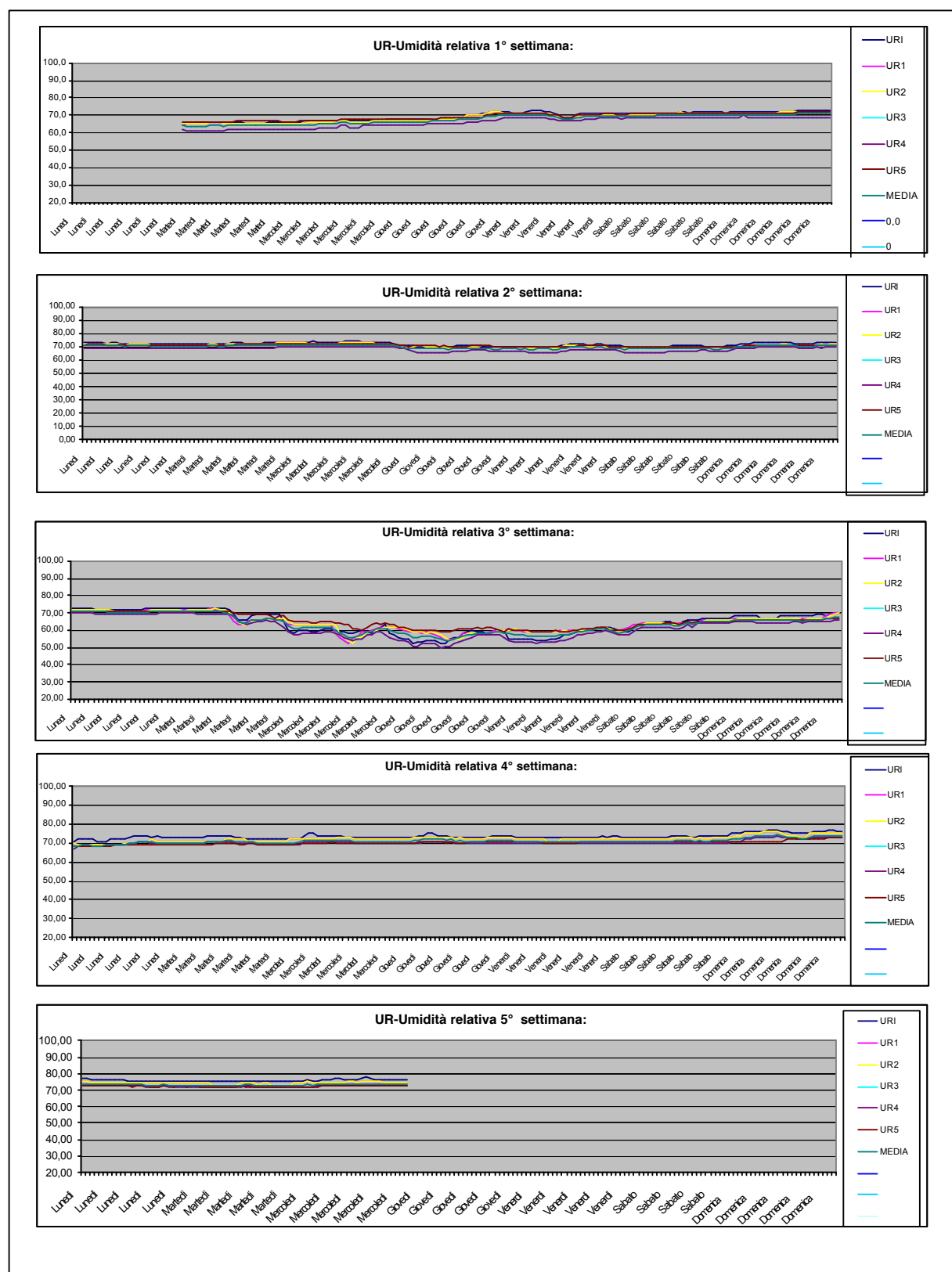


Figura 46 - Riepilogo mensile – Umidità relativa - mese di aprile 2014

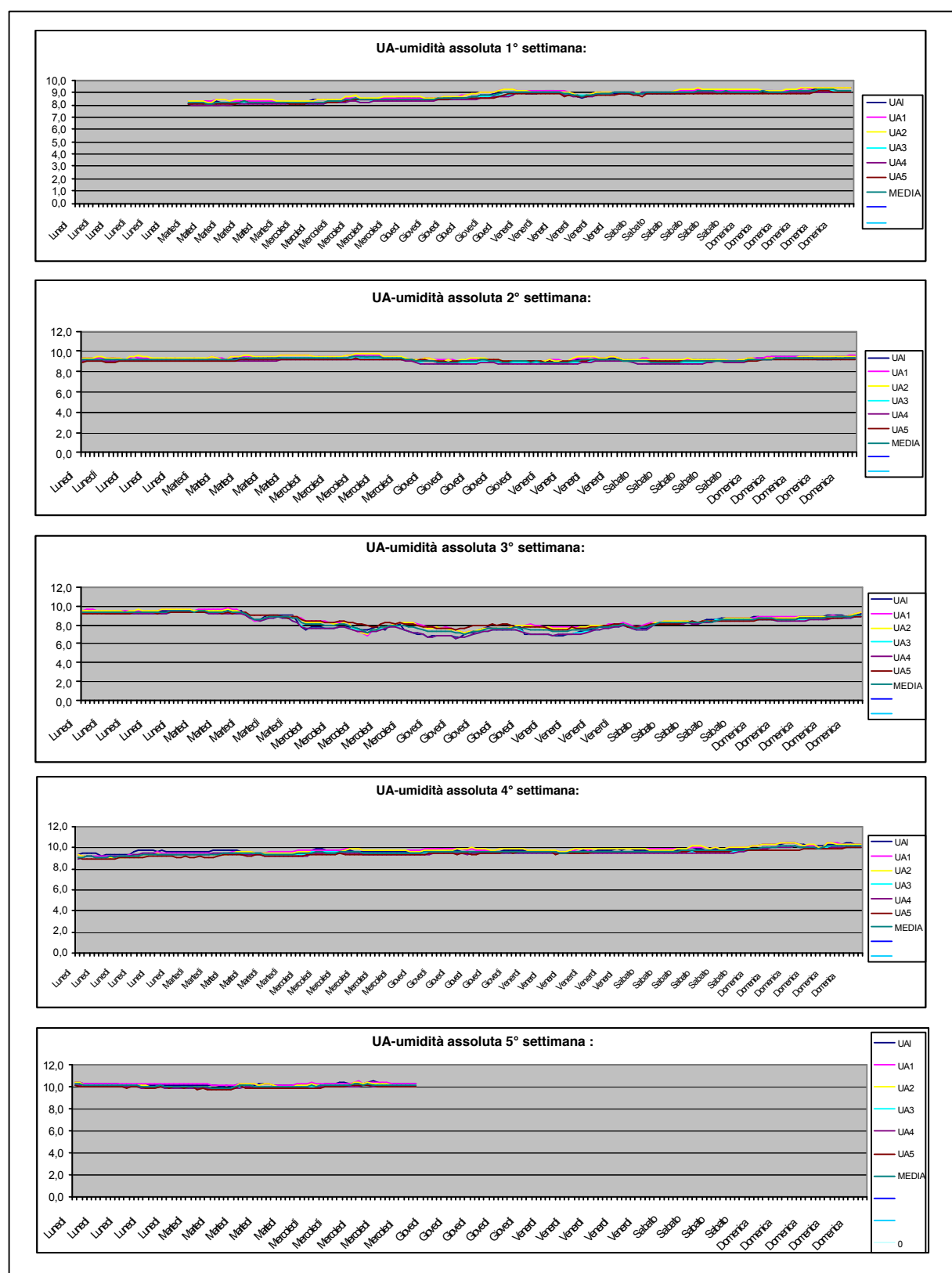


Figura 47- Riepilogo mensile – Umidità assoluta - mese di aprile 2014

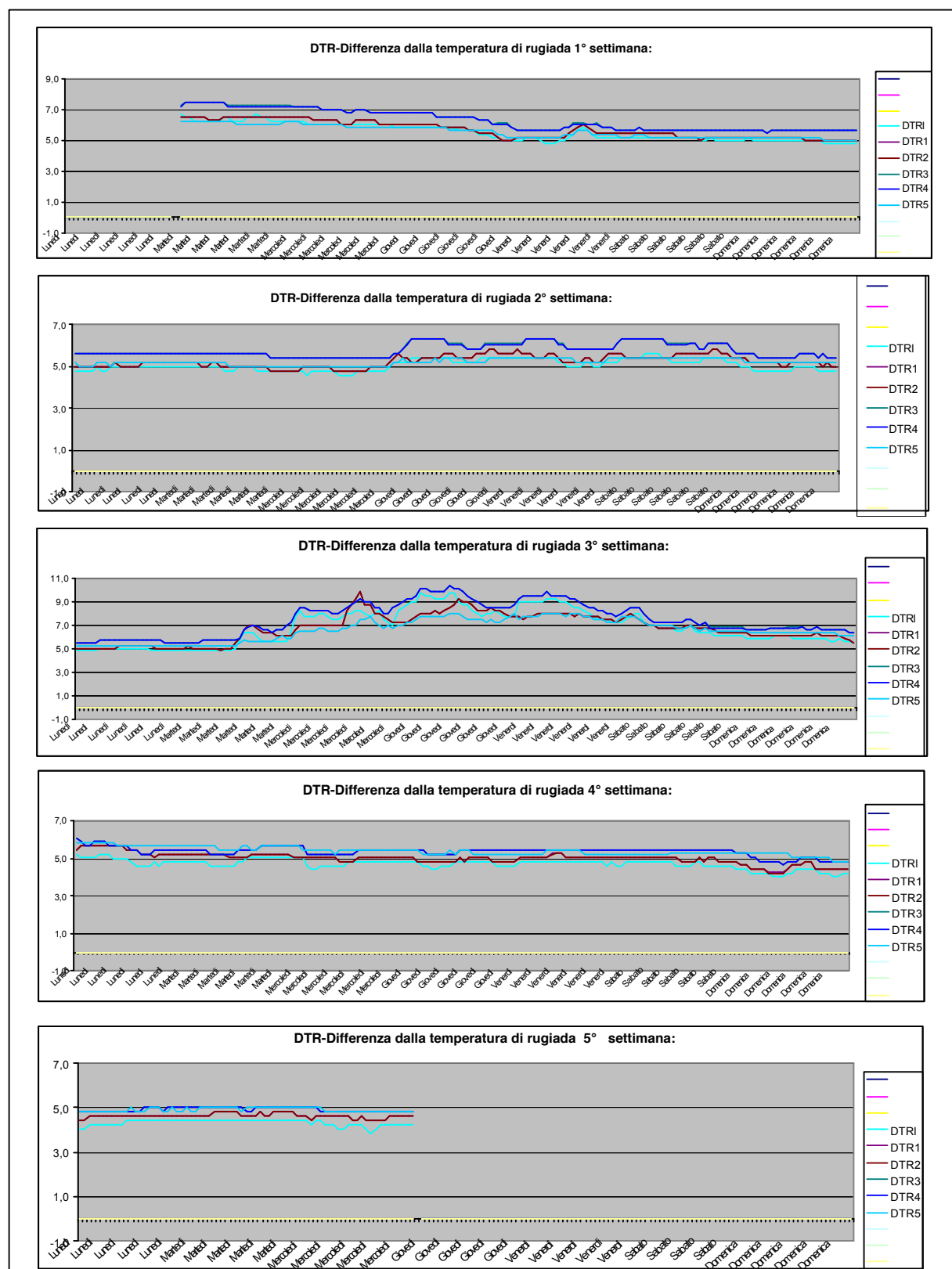


Figura 48 - Riepilogo mensile – Differenza dalla temperatura di rugiada - mese di aprile 2014

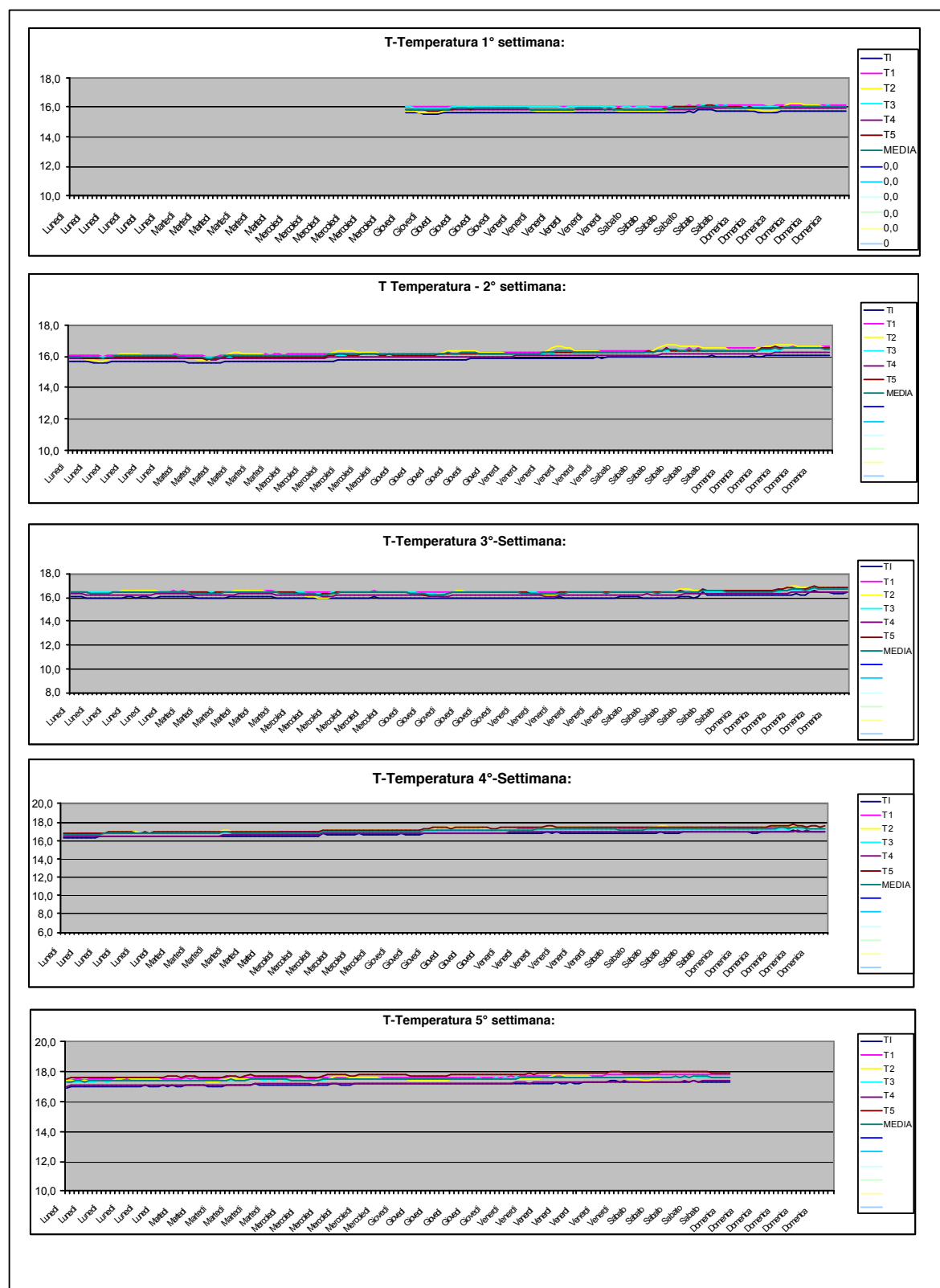


Figura 49 - Riepilogo mensile – Temperatura - mese di maggio 2014

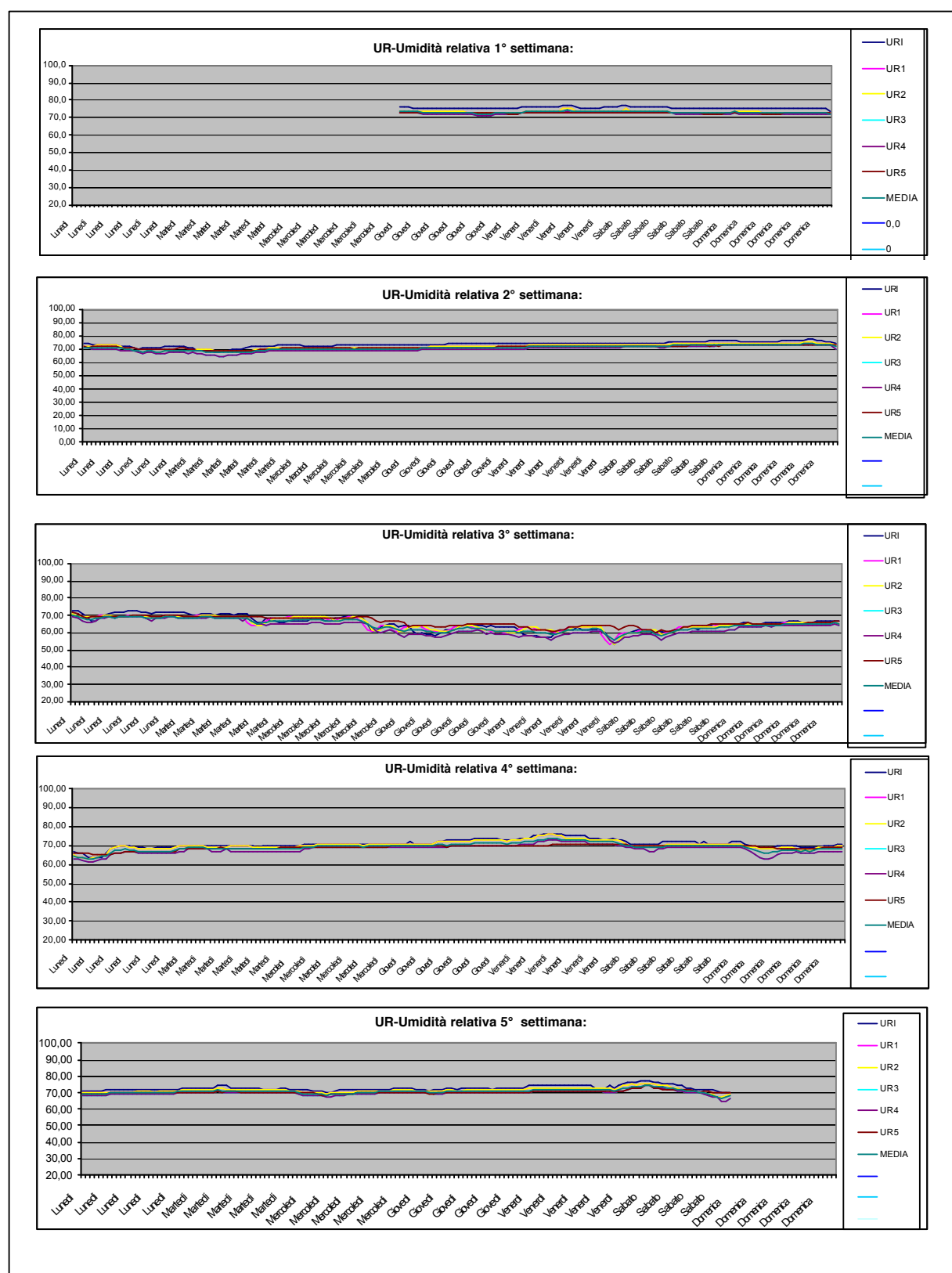


Figura 50 - Riepilogo mensile – Umidità relativa - mese di maggio 2014

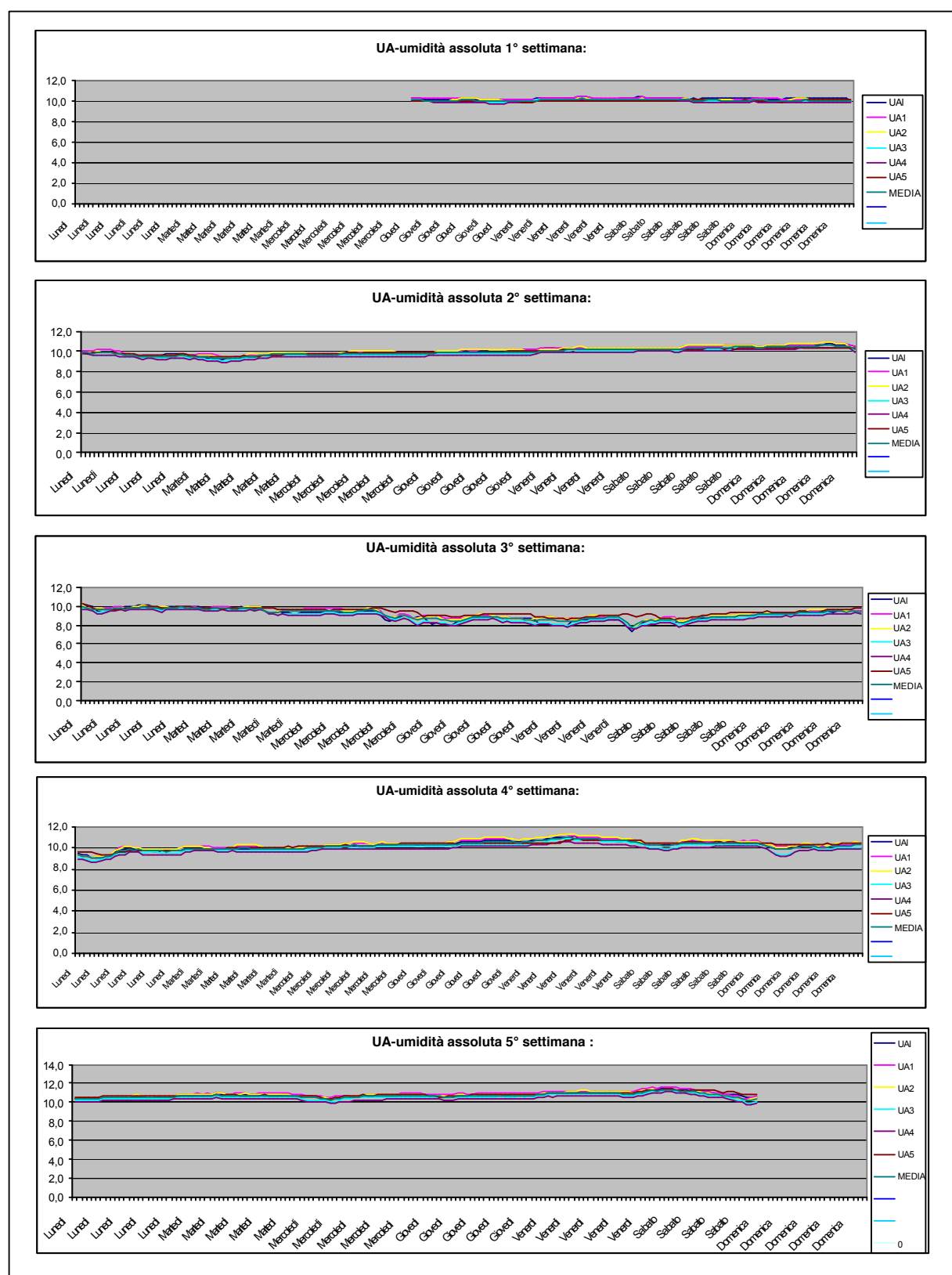


Figura 51 - Riepilogo mensile – Umidità assoluta - mese di maggio 2014

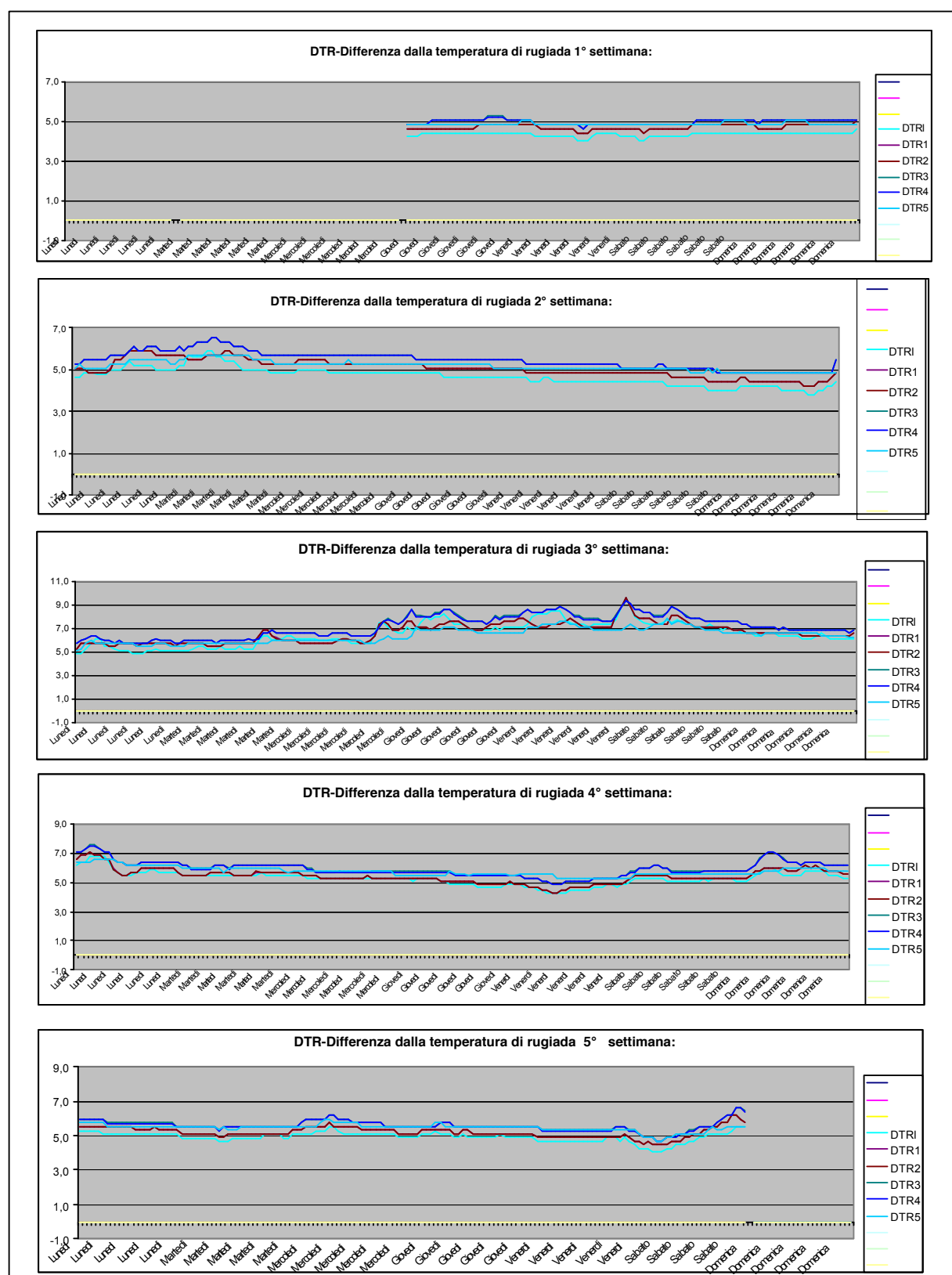


Figura 52 - Riepilogo mensile – Differenza dalla temperatura di rugiada - mese di maggio 2014

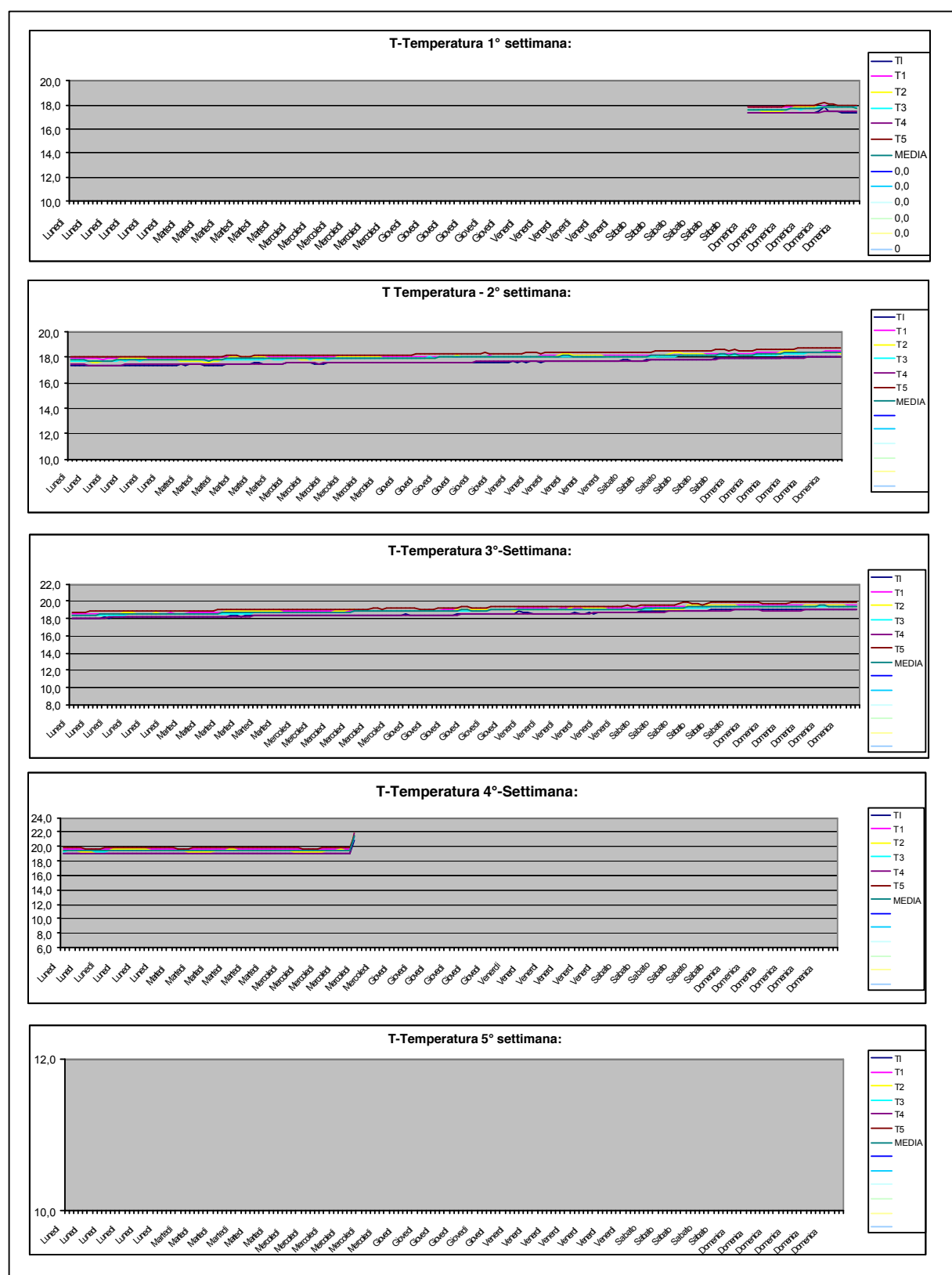


Figura 53 - Riepilogo mensile – Temperatura - mese di giugno 2014

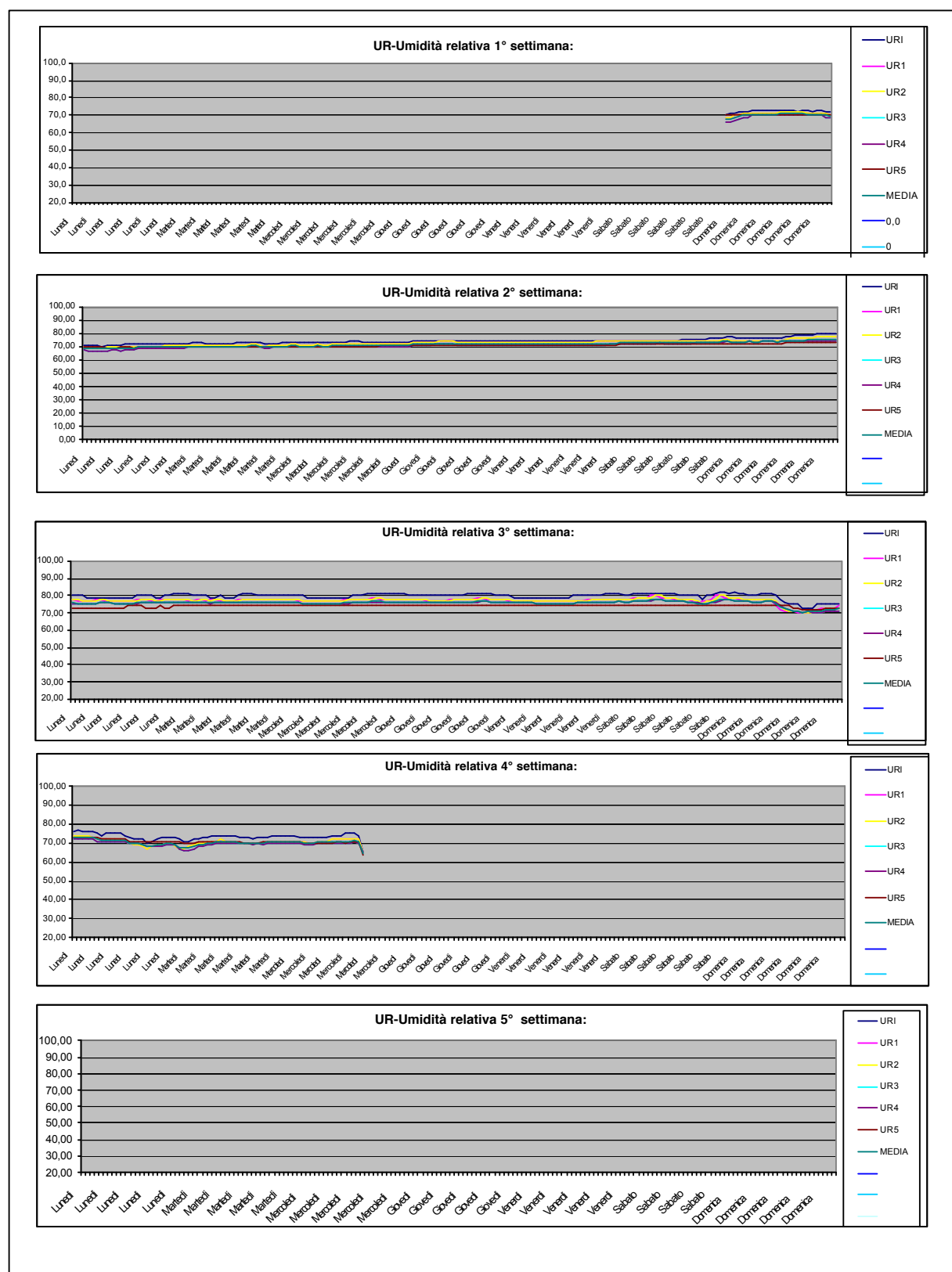


Figura 54 - Riepilogo mensile – Umidità relativa - mese di giugno 2014

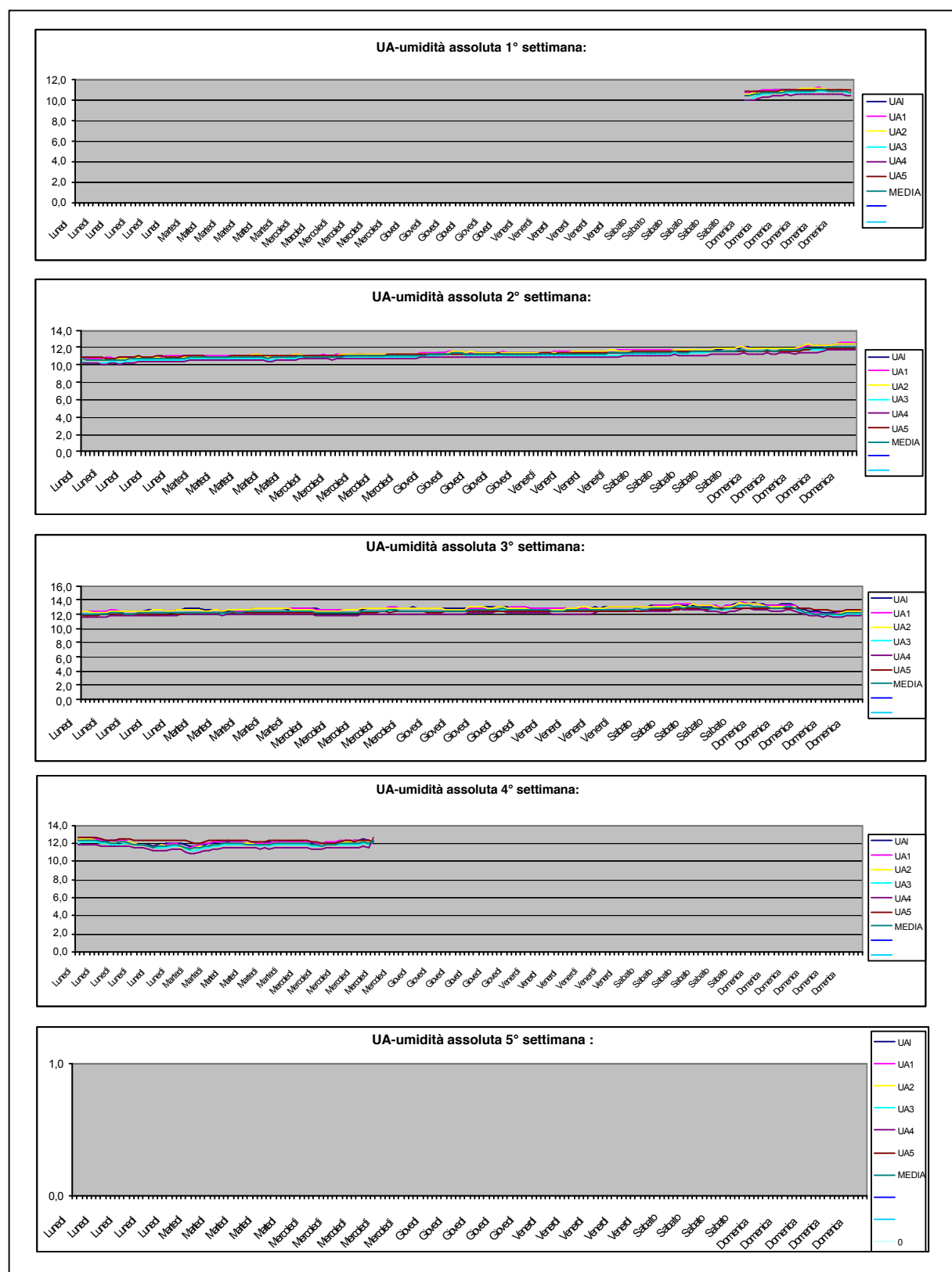


Figura 55 - Riepilogo mensile – Umidità assoluta - mese di giugno 2014

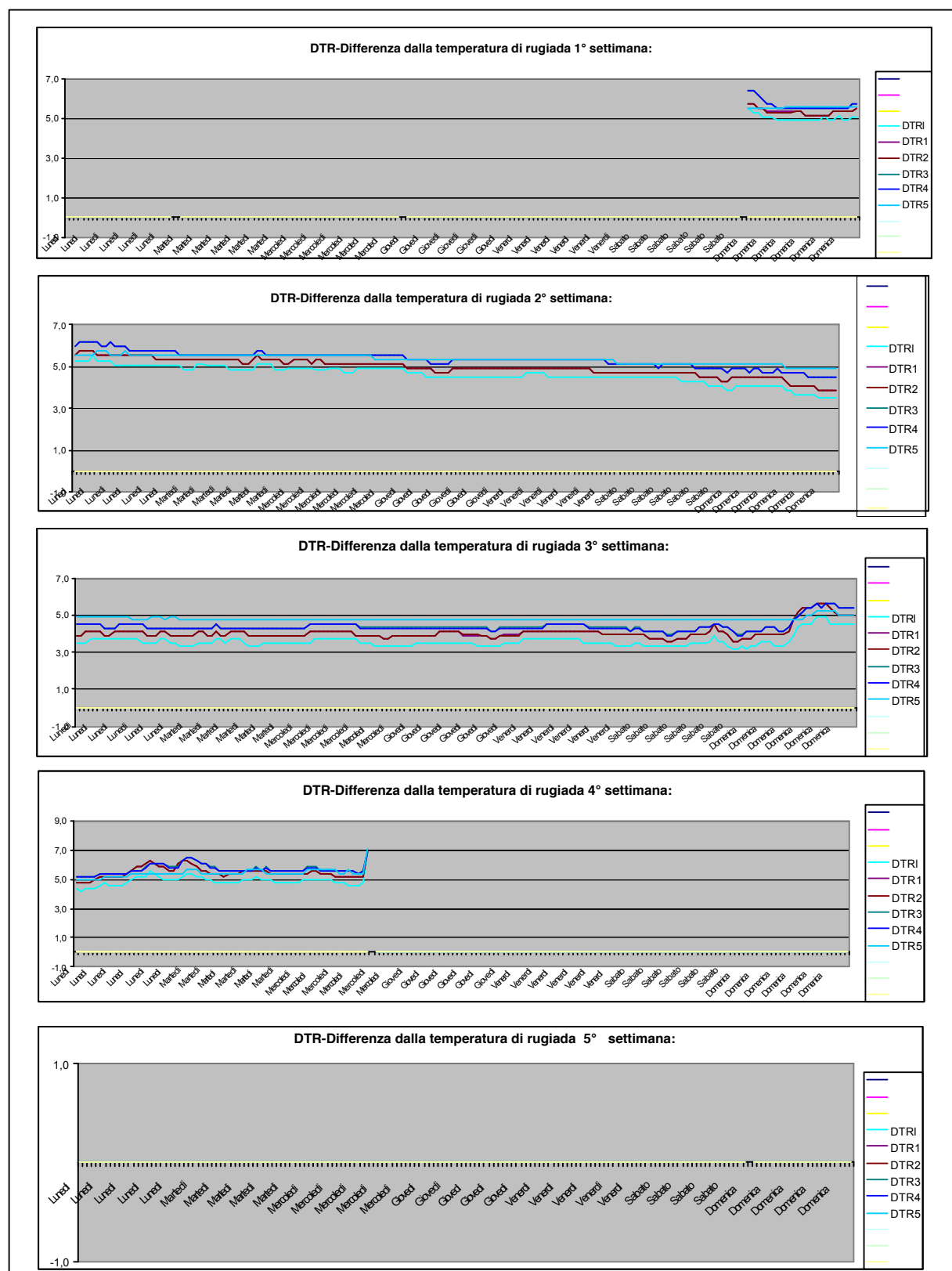


Figura 56 - Riepilogo mensile – Differenza dalla temperatura di rugiada - mese di giugno 2014