

Indurance dai materiâi di costruzion: valutazion de procedure di gjenerazion dai agns umits di riferiment pal clime di Udin

MICHELE LIBRALATO¹, GIOVANNI MURANO²,
ALESSANDRA DE ANGELIS³,
ONORIO SARO⁴, VINCENZO CORRADO⁵

Ristret. La durade de vite di un edifici e podarès jessi aumentade in gracie di une plui juste progettazion che e tegni cont de umiditât, doprant un model avanzât di simulazion de migrazion di calôr e umiditât. I dâts climatics doprâts tant che cundizions al contor no son pensâts pe analisi de umiditât e lis proceduris de normative pe gjenerazion dai agns di riferiment no son indreçadis ae rapresen-tazion des variabilis peadis ae umiditât. In chest lavôr e ven proponude une procedure di progettazion plui adate pai agns di riferiment (par inglês “Moisture Reference Years”, MRY), a tacâ di une modifiche dal metodi descrivût te norma-tive EN ISO 15927-4:2005.

Peraulis clâf. An di riferiment, rivistiment dai edificis, trasferiment di calôr e di umiditât, an di riferiment pe umiditât, simulazions igrotermichis.

1. Introduzion. Une des causis primis di dams ai edificis e je la migrazi-on incontrolade de umiditât. I dams causionâts de umiditât si ju viôt in pôc timp tai edificis che no ur ven fate manutenzion, in forme di maglis scuris di mufe, dams superficiâi produsûts de glace te part di difûr des paradanis o pûr dams strutturâi tai strâts internis dai mûrs (il len al va frait e il metal al inrusinîs).

Chescj dams a puedin ancje verificâsi in edificis li che si è a stâ, cu-ant che no ven fate une progettazion igrotermiche juste des paradanis.

¹ Dipartiment Politecnic di Ingegnerie e Architetture. Universitât dal Friûl. Udin. Italie.
E-mail: michele.libralato@uniud.it

² Dipartiment di Energie. Politecnic di Turin. Turin. Italy.

³ Dipartiment Politecnic di Ingegnerie e Architetture. Universitât dal Friûl. Udin. Italie.

⁴ Dipartiment Politecnic di Ingegnerie e Architetture. Universitât dal Friûl. Udin. Italie.

⁵ Dipartiment di Energie. Politecnic di Turin. Turin. Italy.

La pratiche comun dai progetiscj e je chê di verificà il risi di formazion di mufe e dal ingrumâsi di condense midiant dal metodi Glaser, spiegât te norme UNI EN ISO 13788:2012, che al ven doprât tant che strument di progetazion. Chest metodi si fonde su semplificazions significativis e nol va cjapât a riferiment pe raprezentazion e pe simulazion de migrazion di umiditât. Di resint a son stâts svilupâts struments avanzâts di simulazion e si pues doprâ modei plui precîs pe progetazion cuintri de mufe e pe valutazion dal risi. Lis dôs causis primariis di inesatece a son la mancance di disponibilitât des proprietâts igrotermichis dai materiâi doprâts tal model e i dâts climatics di doprâ come cundizions al contor.

I dâts climatics doprâts tai modei igrotermics avanzâts si fondin su misurazions orariis dal clime che a registrin la temperadure, la velocitât e la direzion dal aiar, la umiditât relative, l'iradiament solâr e la ploie. L'obietîf al è chel di simulâ lis sorzints di umiditât e di calôr che a puedin influençâ il contignût di umiditât dai mûrs dai edificis.

Par solit, par valutâ un risi peât ae umiditât si dore un sôl an climatic di riferiment, che si rigjavilu des misurazions climatichis (in chest lavôr si riferissisi a dâts climatics multi-an) e che al ven ripetût par un periodi plui lunc, fin cuant che si rive a stabilizâ il contignût di umiditât dai mûrs e lis distribuzions di umiditât e di temperadure de ultime ore dal an a son lis stessis di chês de prime ore dal an. Se cheste cundizion no si verifiches, alore i mûrs a riscjin di ingrumâ umiditât.

Daûr de normative EN 15026:2007, i agns di riferiment doprâts par simulazions di migrazion dal vapôr a nivel avanzât a varessin di jessi progetâts stant ae procedure descrivude te norme EN ISO 15927-4:2005. I agns di riferiment gjenerâts in cheste maniere a son une composizion dai mês misurâts, sielzûts intal periodi dal multi-an, doprant la statistiche di Finkelstein-Schafer (1971). Par definizion, i agns cussî costruîts a covenin a rapresentâ l'an tipic medi e no un an critic. Cun di plui, il metodi statistic Finkelstein-Schafer si lu apliche dome su lis variabilis climatichis peadis ai consums di energjie: la ploie no ven cjapade dentri.

Chest model di an di riferiment al pues jessi rapresentatîf cuant che al ven doprât par aplicazions energjetichis, in simulazions di edificis intîrs, ma cuant che si lu dore pe migrazion di umiditât al pues risultâ masse

semplificât, si che duncje, in literature a son stadis fatis tantis alternativis ai agns di riferiment pes simulazions energjetichis.

Si pues sielzi i mêis climatics in dôs manieris. La prime e dipent de costruzion cjapade in considerazion e e ten cont des carateristichis dai mûrs, dai materiài, dal orientament e de posizion. Chê altre e pues jessi indipendente de costruzion e considerâ dome lis carateristichis dal clime. A seconde di ce metodi che al ven doprât, si pues rivâ a risultâts pluî o mancûl precîs. Par esempi, un metodi dipendent de costruzion al pues puartâ a une verifiche conservative dal risi pes paradanis consideradis ma al à bisugne di une analisi dal clime cun simulazions par ogni tipologjie di mûr. Di chê altre bande, une metodologjie indipendente de costruzion e pues creâ un an di riferiment bon par ogni sorte di mûr. Par esempi, in Kalamees and Vinha (2004), il deficit di saturazion al ven doprât tant che parametri independent de costruzion par selezionâ doi agns climatics, un par valutâ l'ingrumâsi de umiditât e un pe valutazion dal risi di formazion di mufe. Un esempi di selezion di un an critic dipendent de costruzion al ven presentât in Zhou et al.. (2016), indulà che l'an critic al ven cjatât in gracie dal confront dai risultâts des simulazions de paradane cun trê agns, sielzût midiant dal criteri dal Climate Index.

In chest lavôr al ven doprât un metodi independent de costruzion par creâ agns di riferiment pe umiditât che a podaressin jessi doprâts dai progjetiscj par simulazions di transmission di umiditât. La struture statistiche de EN ISO 15927-4:2005 e ven slargjate ae ploie e a vegnin fats jentrâ ancje i fatôrs di pêis par valutâ la influence de intensitât e de durade de ploie. Il sisteme dai fatôrs di pêis al è stât doprât in Murano, Dirutigliano and Corrado (2018) e in Kalamees et al. (2012).

2. Metodi

2.1. Gjenerazion dai agns di riferiment pe umiditât. Un an di riferiment pe umiditât al è dât dai mêis pluî rappresentâtifs dal multi-an climatic. Il metodi doprât in chest lavôr al salte fûr di une modifiche di chel descrivût te normative EN ISO 15927-4:2005 e al ven spiegât in Libralato et al. (2018). Par ogni mêis dal multi-an, la rappresentative rispiet a ducj i stes mêis dal multi-an e ven calcolade in maniere separade par ogni

variabile climatiche, midiant dal metodi statistic di Finkelstein-Schafer (1971) (di cumò indenant indicât cun FS); po dopo, cuntune cumbinazion de statistiche FS par un insiemi di variabilis climatichis si sielç il mès pluì representatîf jenfri i mès dal calendari (par esempli il Zenâr pluì representatîf, par temperadure e par umiditât relative, jenfri i Zenârs dal multi-an). L'an che si rigjave al è l'an pluì representatîf e al è il risultât di une selezion di dodis mès, par variabilis climatichis consideradis. In gracie di cheste procedure si pues otignî un an diferent par ogni grup di variabilis climatichis consideradis.

La cumbinazionsdes statistiche FS pes variabilis climatichis dal insiemi cjapât in considerazion e garantîs che i mès selezionâts a sedin representatîfs par chês variabilis. Si pues fâ la sume de statistiche FS di une variabil cun chês altris e dopo multiplicâle par un fatôr di pès.

Il metodi descrivût te normative EN ISO 15927-4:2005 pai agns di riferiment relatîfs ae energie al dopre tant che variabilis la temperadure, la umiditât relative, l'iradiament e tant che variabil par une selezion secondarie, la velocitât dal aiar. In Libralato et al (2018) a vegnin proponûts dai grups di variabilis alternatîfs par gjenerâ i agns di riferiment pe umiditât, che a son stâts valutâts pe citât di Turin. I grups di variabilis consideradis a cjapavin dentri ancje la ploie suntune superficie orizontâl e la ploie fisse su cuatri orientazions diferentis.

In chest lavôr e je stade zontade la durade de ploie dentri des variabilis par gjenerâ i agns di riferiment pe umiditât, di mût di cjapâ i sglavins pluì luncs tant che events ugnui. La durade de ploie si rigjavile come numar di oris consecutivis di ploie e e ven metude dentri dal orari de ultime ore di ploie. Par cheste analisi e je stade considerade dome la ploie suntun plan orizontâl.

2.2. Valutazion dai agns di riferiment pe umiditât. La valutazion dai agns di riferiment pe umiditât e je stade fate confrontant la probabilitât di tocjâ situazions critichis dal mûr par trê criteris di dam, presentâts te Tabele 2 e par sîs tipologjiis tipichis di mûrs dal Friûl, descrivudis in Tabele 1. La composizion dai strâts des paradanis e je ripuartade te Figure 1. Lis proprietâts dai materiâi a son stadis cjapadis dal catalic dal program Delphin e par ogni materiâl si à contât la curve de condutivitât, la curve

Tabele 1. Descrizion dai mûrs dai edificis considerâts te analisi. I mûrs a vegnin descrivûts dal spessôr d , de trasmittance totâl U , de resistance termiche totâl R , e dal strât di aiar ecui-valent pe difusion dal vapôr S_d .

<i>Identificadôr</i>	<i>Descrizion</i>	D (m)	U (W/m²K)	R (m²K/W)	Sd (m)
SW	Mûr di clap	0,38	0,70	1,44	5
SWi	Mûr di clap ben isolât	0,53	0,13	7,76	50
HB	Mûr di modons	0,49	0,39	2,59	7
HBi	Mûr di modons ben isolât	0,58	0,15	6,72	41
TWa	Mûr di len cun bariere interne a vapôr	0,531	0,13	7,45	56
TWb	Mûr di len cun bariere esterne a vapôr	0,531	0,13	7,45	56

Tabele 2. Descrizions des tipologjiis di crisi dai mûrs. I parametris considerâts a son umidità relative ϕ e tempradure di bulbi sut T .

<i>Failure mode</i> (<i>Tipologjie di dam</i>)	<i>Posizion</i>	<i>Cundizion</i>
Formazion di mufe	Superficie interne	$\phi > 80\%$
Ingrumâsi di umidità	Strâts internis	$\phi > 95\%$
Pericul di conzelament	Superficie esterne	$\phi > 98\%$ e $T < 0^\circ\text{C}$

di ritenzion de aghe, la curve de permeabilitât al vapôr e la curve de difusivitât dal licuit in funzion de umidità relative.

2.3. *Simulazions*. La migrazion dal calôr e dal vapôr si lis rigjave cul model dal program DELPHIN 6.0.17 (Sontag et al. 2013), che al è stât doprât par fâ i calcoli. La session mono-dimensionâl dal mûr si le considere fate di materiài porôs e la migrazion di umidità cumbinade cun chê dal calôr e ven valutade midiant di chest model:

$$\left\{ \begin{array}{ll} \frac{\partial \rho^{m_v}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (j_c^{m_v} + j_d^{m_v}) + \sigma_e & \text{belanç di vapôr} \\ \frac{\partial \rho^{m_w}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (j_c^{m_w}) - \sigma_e & \text{belanç di licuit} \\ \frac{\partial \rho^U}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} (j_c^U + j_d^U) & \text{belanç di energjie} \end{array} \right.$$

Tabele 3: Cumbinazion dai fatôrs di pês pe gjenerazion di agns di riferiment. I numars MRY a stâts doprâts par identificâ la cumbinazion.

Numar dal MRY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
Temperadure di bulbi sut	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	
Pression di vapôr	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1
Iradiament total	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	
Velocitât dal aiar	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
Intensitât de ploie	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	10,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0	0	0	0	0	0	0
Durade de ploie	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0

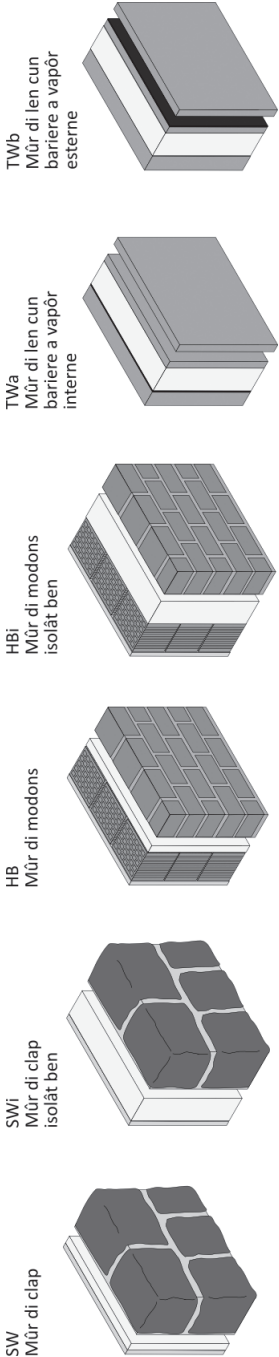


Figure 1. Tipologjiis di mûrs considerâts tal studi. I mûrs a son chei tipics dal Friûl. La superficie interne e je chê a çampe.

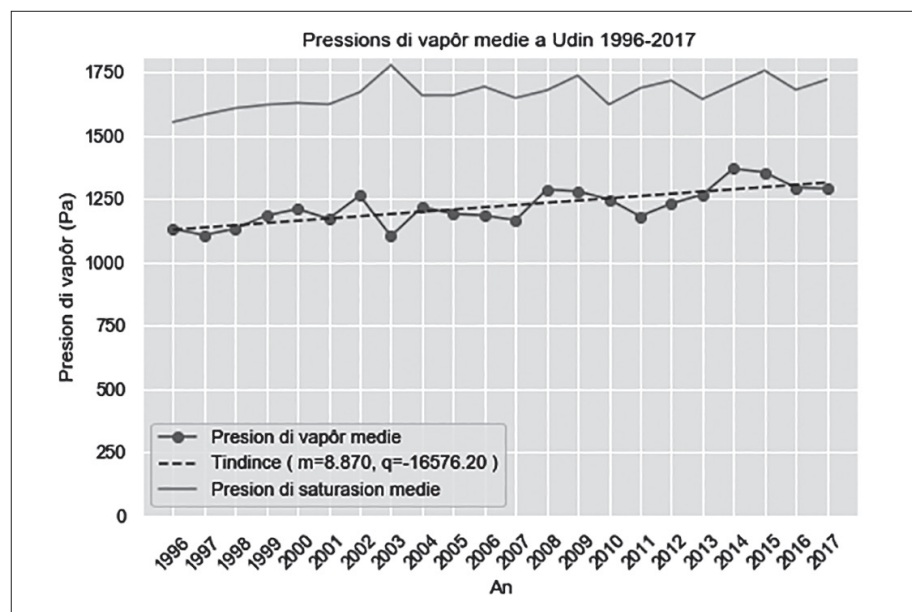
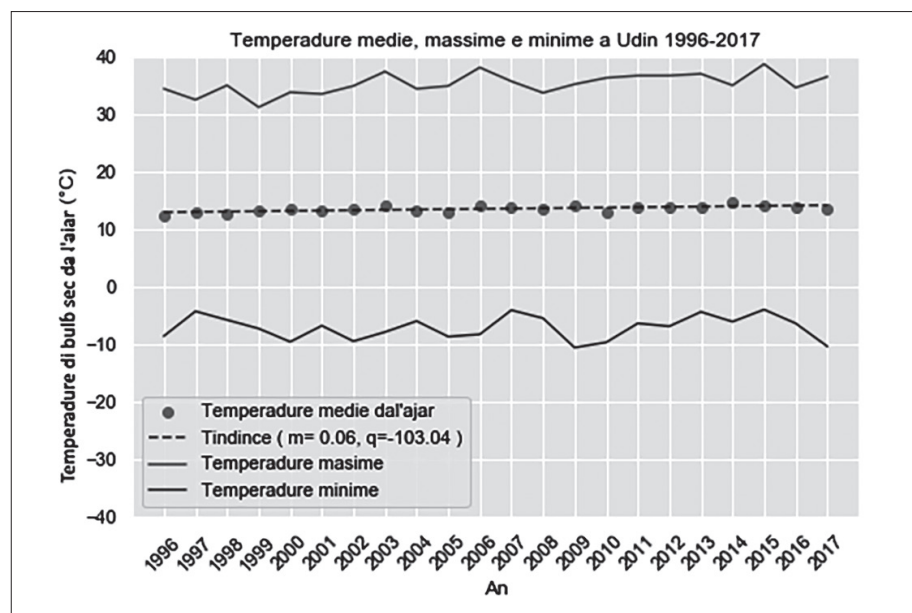
Lis quantitàs a son densitàs e lis a son densitàs di flus. La letare m_v e marche quantitàs di masse di vapôr, la m_w di licuit e U di energjie. La letare v e je la velocitât di evaporazion. Il mecanisim di traspuart al è dividût in difusion e convezion, clamâts cu lis letaris d e c .

Il risi di faliment al è calculât midiant di simulazions mono-dimensionâls, transitoriis e orariis, cjapant l'an di riferiment gjenerât tant che cundizion al contor. Lis cundizions internis a vegnin impostadis come "a caric normâl di umiditât" definît te normative EN 15026:2007. Lis cundizions iniziâls dai mûrs a vegnin impostadis tant che valôrs costants te strutture, cun temperadure di bulbi sut a 20°C e umiditât relative al 80%. Il mûr al è orientât in orizontâl, cun esposizion totâl a la ploie.

2.4. Criteri di crisi. La valutazion dal risi e ven fate pe mufe, pe condense tes fressuris e pe glace. Par fâ un confront dai agns di riferiment a son stâts doprâts criteris di risi semplificâts. Il risi al è stât calculât tant che la frazion di dîs cun cundizion di risi verificade. Lis cundizions di risi si viodilis te Tabele 2.

2.5. Misurazions climatichis multi-an. Il multi-an climatic doprât tant che font des variabilis climatichis al è stât misurât de stazion di Udin di San Svualt (Lat: 46.035212 - Lon: 13.226672, a 91 metris parsore dal mâr). Lis misurazions a son stadis dadis par concession zentîl de ARPA FVJ. I dâts di partence a àn massime 1,5% di oris cence informazions, tal câs de direzion dal aiar. Pes altris variabilis i dâts che a mancjavin a jerin mancul dal 1%. I dâts a son stâts integrâts cuntune interpolazion lineâr, cuant che a restavin fûr mancul di 5 oris, e cuntune medie jenfri la di prime ae lacune e la di dopo de lacune. Par lacunis pluî lungjis di siet mês, ven a stâi chês par ploie e aiar, a son stâts doprâts i dâts dai stes dîs, ma dal an prime. Il clime si cjatilu te Figure 2.

3. Risultâts. La analisi dal risi e ven fate su lis distribuzions di umiditât relative e temperadure di bulbi sut. Par esempli, in Figure 3 e ven mostrade la distribuzion de umiditât relative dal mûr TWa tal an 2000 dal multi-an. Par ogni mûr, il calcul dal risi par ogni an di riferiment al ven confrontât cun chel calculât cul risi dal multi-an. La cressite superficial



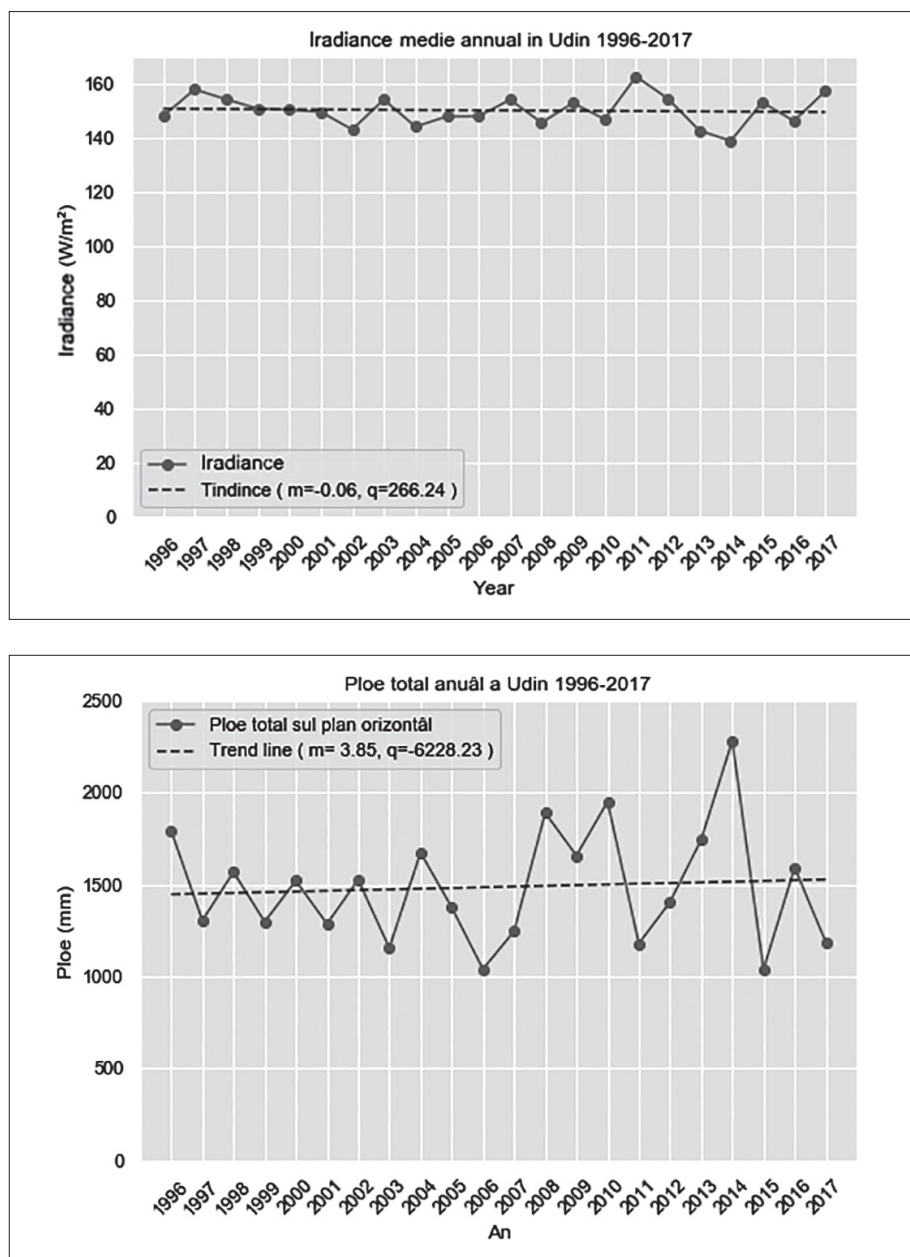


Figure 2. Descrizion dal clime misurât dal 1996 al 2017 a Udin, Italie. Si ripuartin lis mediis anuâls e lis tindincis de temperaturade dal aiar, de pression di vapôr, dal irradient solâr totâl e de ploe totâl suntun plan orizontâl.

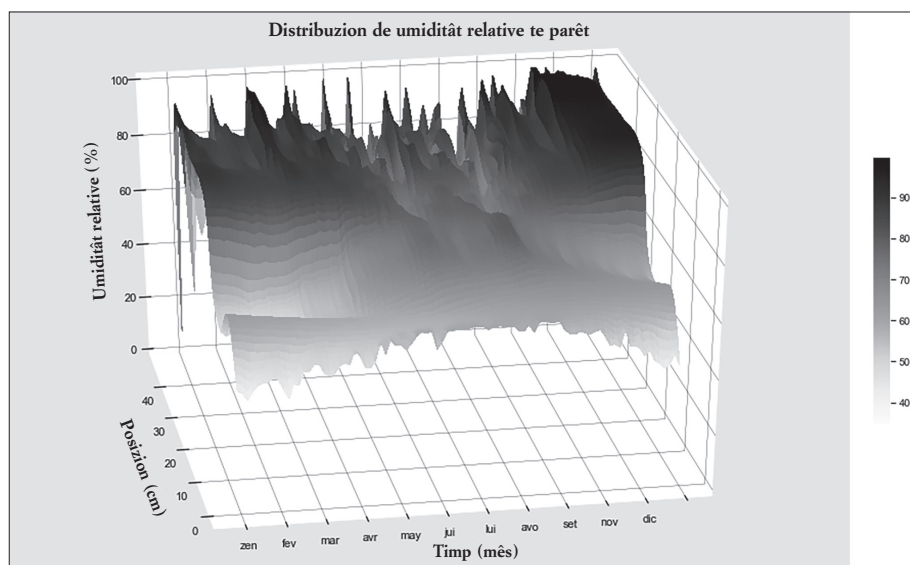


Figure 3. Distribuzion de umidità relative tal mûr di len TWA, stampade rispjet al timp, pal an 2000 dal multi-an. La superficie interne e je a 0 cm, chê externe a 53 cm.

di mufe e ven valutade al 0% par ogni simulazion dai agns di riferiment, in acuardi cu la simulazion dal multi-an. Cemût che e mostre la Figure 3, la umidità relative e je mancual dal 80% par dut l'an te superficie interne (0 cm). Pal risi dal ingrumâsi di umidità, i strâts esternis de parêt, esponûts ae ploie, no vegnin considerâts.

I risi di cumulament di umidità pai sîs mûrs, par ogni an di riferiment e pal multi-an a vegnin doprâts par confrontâ i grups di variabilis considerâts tai metodis di gjenerazion dai agns di riferiment. Pal confront, si calcole la difference jenfri il risi di ogni an di riferiment e il multi-an, par ogni mûr si considere la difference tra il risi dal multi-an e chel dal mê di riferiment. Lis diferencis mediis a son stampadis te Figure 5.

Il risi dal ingrumâsi di umidità dal multi-an al ven rapresentât miôr dai agns di riferiment 2, 8, 14, 20, 26 gjenerâts midiant des cumbinazions di temperadure dal aiar, pression dal vapôr, iradiament solâr totâl e midiant di une cumbinazion de intensitât e de durade de ploie. Tra lis cumbinazions de durade e de intensitât, chê cu la difference plui basse di

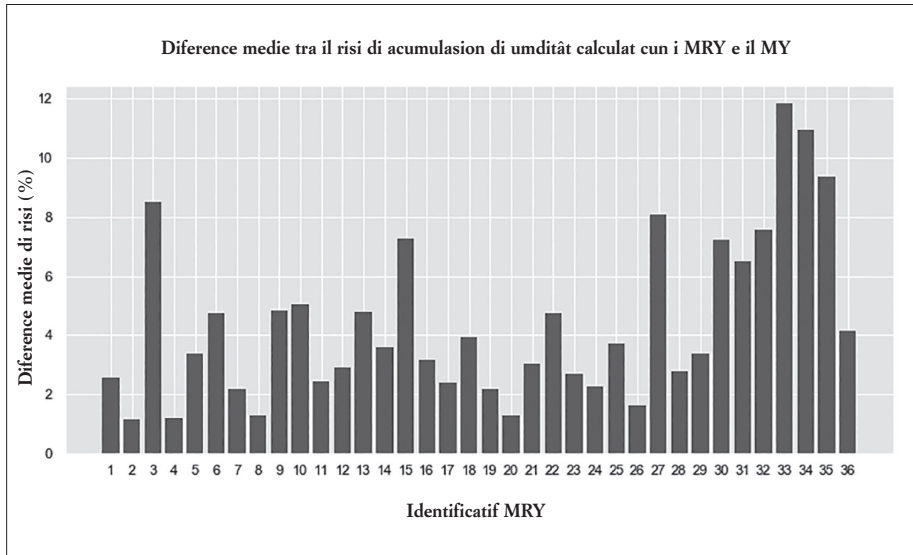


Figure 4. Medie des diferencis tra il risi di cumulament calculât cul an di riferiment e chel calculât cul multi-an pai sîs mûrs considerâts (mostrâts in Fig. 1).

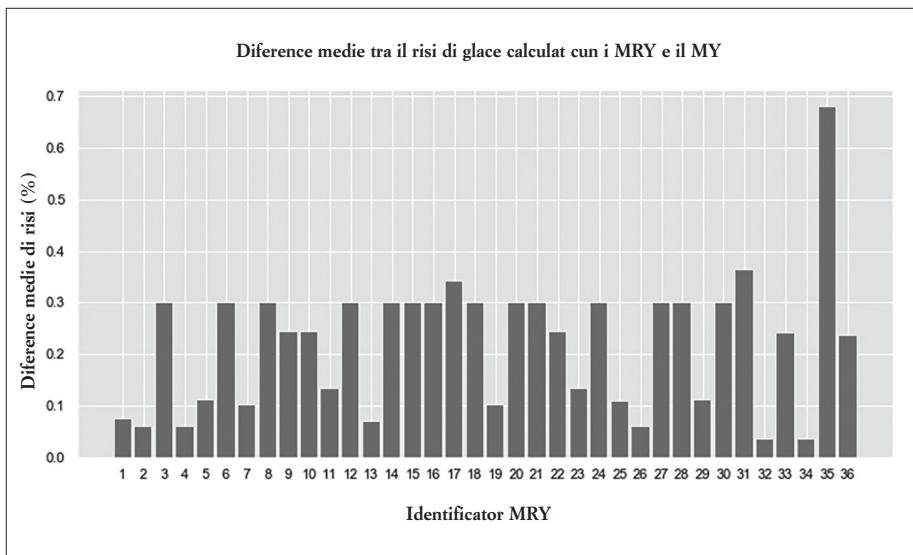


Figure 5. Medie des diferencis tra il risi di glace calculât cul an di riferiment e chel calculât cul multi-an pai sîs mûrs considerâts (mostrât in Fig. 1).

risi e je chê che si rigjave cui coefficients 0,8 pe durade e 0,2 pe intensitât (agns di riferiment jenfri il 19 e il 24).

Al salte fûr che i agns di riferiment che a rapresentin miôr il multi-an pal risi di glace a son i numars 1, 7, 13, 19, 25 e 3, che si fondin su la cumbinazion di temperaturade dal aiar, pression di vapôr, iradiament solâr totâl, velocitât dal aiar e une cumbinazion di intensitât e di durade de ploie. La cumbinazion di durade e di intensitât di ploie che e je risultade pluî representative e je chê dai agns jenfri il 1n e il 6, cun intensitât de ploie moltiplicade par 1 e la durade par 0.

4. Conclusions. Pal clime di Udin a son stâts gjenerâts 36 agns climatics di riferiment (o MRY, daûr de definizion inglese *Moisture Reference Year*), doprant une modifiche de normative EN ISO 15927-4:2005 par jessi bogns ancje pe valutazion dal risi pe cressite de mufe, pal cumulant de umiditât e pal risi di glace. Il calcul dal risi al è stât fat pai trê tips di risi, su sîs diviersis tipologjiis di mûr e e je stade calcolade la percentuâl di dîs di crisi par ogni an di riferiment, che dopo e je stade metude a confront cul multi-an. Il risi di cressite di mufe al è simpri 0%, par ogni mûr e par ogni an di riferiment, come pal multi-an.

Il risi di cumulant de umiditât al è stât rapresentât cetant ben pai agns di riferiment rigjavâts midiant de cumbinazion di temperaturade dal aiar, pression di vapôr, iradiament solâr totâl e cuntune cumbinazion di intensitât e durade de ploie. La cumbinazion pluî representative e je chê cul coefficient 0,8 pe durade de ploie e 0,2 pe intensitât de ploie (MRY dal numar 19 al numar 24). Ancje se il risi pluî rappresentatîf al e chel dal dal an rappresentatîf numar 2, bisugne cjapâ a riferiment il numar 20, viodût che al è chel che al salte fûr de intersezion dai doi grups di agns di riferiment pluî rappresentatîfs. Il risi calcolât al è dongje dal numar 2. L'an di riferiment numar 20 al è pensât par jessi pluî rappresentatîf pe durade de ploie rispîet ae intensitât de ploie, che e je secondarie pal cumulant de umiditât (une ploie pluî lizere ma lungje e pues influî di pluî di une curte ma fuarte, viodût che e pues jemplâ subite i pôrs dal materiâl superficiâl).

Il stes confront al ven fat pal risi di glace superficiâl: la difference minime medie dal risi si cjatile tal an di riferiment numar 32, ma il grup di

agns plui representatîfs a son chei otignûts midiant de cumbinazion di temperature dal aiar, pression di vapôr, iradiment solâr totâl, velocitât dal aiar e midiant di une cumbinazion di intensitât e durade de ploie (1, 7, 13, 19, 25, 31), ma la cumbinazion di intensitât e durade de ploie cu la difference di risi medie plui basse e je chê cun coeficient de durade nule de ploie e intensitât 1. La intersezion tra i doi grups di agns al è l'an di riferiment numar 1. Pal risi di glace, il contignût di umiditât tal mûr no je la uniche variabil impuartante, ma bisugne considerâ ancje la temperadure. Cun di plui, il risi al ven valutât dome pe superficie esterne, e no ven cjapade in considerazion la penetrazion de ploie tal mûr, cemût che al salte fûr ancje tai risultâts.

Ringraciaments. Si ringracie la ARPA FVJ par vê furnît i dâts climatics par chest studi. Cheste ricercje e je stade pussibile in grazie dai fonts pal dotorât de Provincie di Udin.